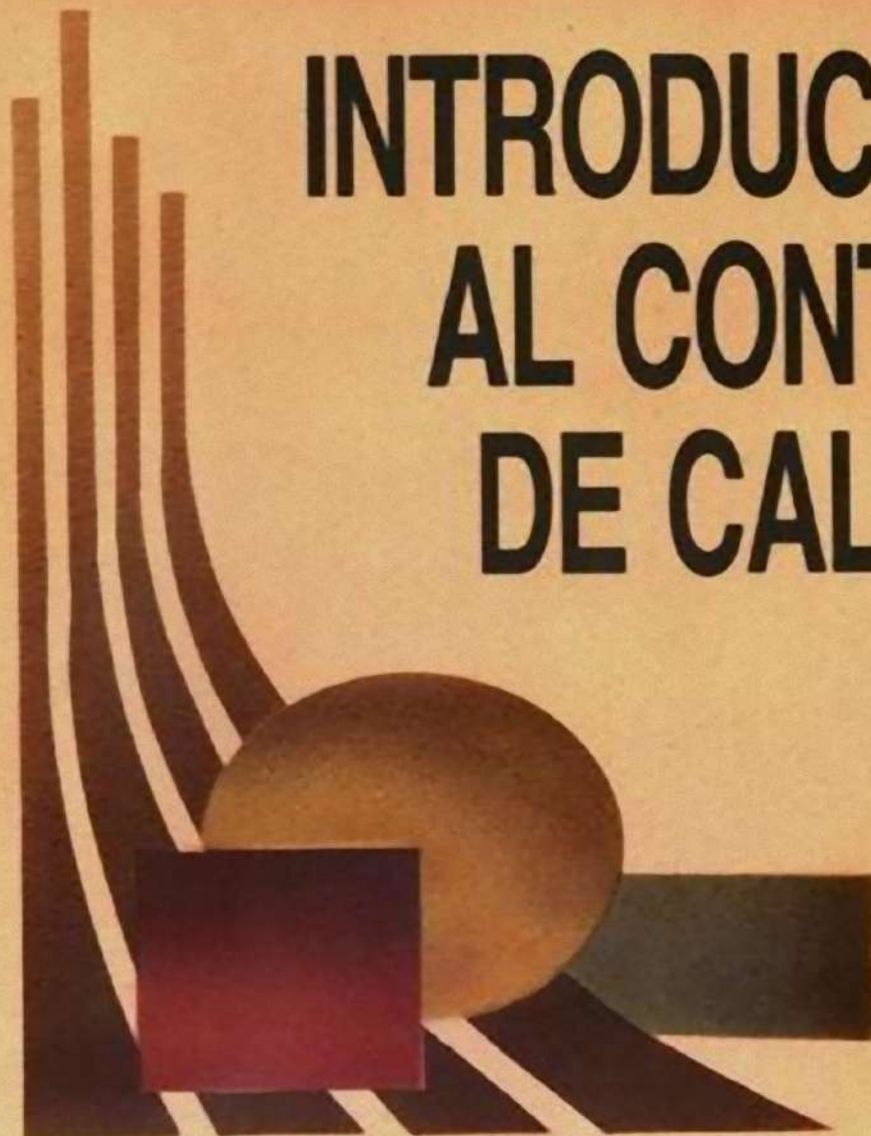


**KAORU  
ISHIKAWA**

**INTRODUCCION  
AL CONTROL  
DE CALIDAD**



KAORU ISHIKAWA

**Introducción  
al  
Control de Calidad**

Este libro no contiene Derechos de Autor

Título original: Introduction to Quality Control

© Kaoru Ishikawa, 1989

«Está permitida la reproducción total o parcial de este libro,  
En cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico,  
mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos.

---

# Contenido

|  |            |
|--|------------|
| <b>Prefacio</b> .....  | <b>XIX</b> |
| <b>Agradecimientos</b> .....   | <b>XXI</b> |
| <b>CAPÍTULO 1. ¿QUÉ ES EL CONTROL DE CALIDAD?</b> .....  | <b>1</b>   |
| <b>1.1 ¿Qué es el Control de Calidad?</b> .....  | <b>1</b>   |
| 1.1.1 La definición de Control de Calidad .....  | 2          |
| 1.1.2 Algunos malentendidos sobre el Control de Calidad y el Control de<br>Calidad Total .....                     | 5          |
| 1.1.3 Las ventajas del Control de Calidad por toda la empresa .....  | 5          |
| <b>1.2 La historia y el estado actual del Control de Calidad</b> .....   | <b>7</b>   |
| <b>1.3 Los avances en la Garantía de Calidad</b> .....   | <b>15</b>  |
| <b>1.4 ¿Qué es la calidad?</b> .....   | <b>17</b>  |
| 1.4.1 La calidad que satisface al cliente .....  | 18         |
| 1.4.2 Características verdaderas de calidad y características sustitutas; in-<br>vestigación de los productos..... | 25         |
| 1.4.3 El análisis de la calidad y la investigación de los productos .....  | 27         |
| 1.4.4 Aclaración de las definiciones concernientes a la calidad .....  | 28         |
| 1.4.5 ¿Qué son productos de buena calidad y qué son productos buenos?  | 38         |
| <b>1.5 ¿Qué es el control?</b> .....   | <b>40</b>  |
| 1.5.1 El enfoque anticuado del control .....   | 40         |
| 1.5.2 Los métodos y la filosofía del control .....   | 41         |
| 1.5.3 Las acciones para prevenir la reaparición de problemas ("arreglo<br>permanente").....                        | 60         |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| <b>1.6</b>  | <b>Controlar la calidad.....</b>   | <b>61</b>  |
| 1.6.1   | Los fundamentos del Control de Calidad y de la Garantía de Calidad                             | 62         |
| 1.6.2   | El sistema de la Garantía de Calidad .....   | 62         |
| 1.6.3   | El control de las materias primas y de los subcontratos (materiales).                          | 72         |
| 1.6.4   | El control de los equipos (máquinas) .....   | 72         |
| 1.6.5   | Los métodos de trabajo y la normalización (métodos) .....                                      | 73         |
| 1.6.6   | El control de las medidas (mediciones) .....   | 73         |
| 1.6.7   | El personal (hombres) y la educación .....   | 74         |
| <b>1.7</b>  | <b>La calidad y la mejora de los procesos .....</b>  | <b>76</b>  |
| 1.7.1   | Filosofía y condiciones básicas para el control y la mejora.....                               | 76         |
| 1.7.2   | Los pasos para mejorar .....   | 79         |
| 1.7.3   | Investigaciones y análisis para poner de manifiesto los problemas                              | 79         |
| 1.7.4   | Decidir qué problemas hay que abordar, las metas y las fechas tope                             | 80         |
| <b>1.8</b>  | <b>El Control Estadístico de la Calidad, el Control de Calidad Total y la tecnología .....</b> | <b>81</b>  |
| <b>1.9</b>  | <b>Los fines y los medios de la dirección empresarial .....</b>                                | <b>84</b>  |
| <b>1.10</b>   | <b>Actividades de los círculos de CC .....</b>   | <b>86</b>  |
| <b>1.11</b>   | <b>La introducción y la promoción del CCT .....</b>  | <b>89</b>  |
| <b>1.12</b>   | <b>Métodos para promover el CCT en los departamentos .....</b>                                 | <b>90</b>  |
| <b>1.13</b>   | <b>Diagnóstico de la calidad y diagnóstico del CCT.....</b>                                    | <b>91</b>  |
| <b>1.14</b>   | <b>El papel de los ejecutivos en el CCT. Algunas máximas del Control de Calidad.....</b>       | <b>93</b>  |
| <br><b>CAPÍTULO 2. EL ENFOQUE ESTADÍSTICO Y ALGUNAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS SENCILLAS .....</b> |  | <b>109</b> |
| <b>2.1</b>  | <b>Métodos estadísticos utilizados en el Control de Calidad.....</b>                           | <b>109</b> |
| <b>2.2</b>  | <b>El enfoque estadístico .....</b>  | <b>112</b> |
| 2.2.1   | El enfoque estadístico .....   | 113        |
| 2.2.2   | Precauciones desde el punto de vista del control .....   | 127        |
| <b>2.3</b>  | <b>Los diferentes tipos de datos .....</b>   | <b>129</b> |
| <b>2.4</b>  | <b>Expresión cuantitativa de las distribuciones .....</b>                                      | <b>130</b> |
| <b>2.5</b>  | <b>Interpretación y uso de las distribuciones de frecuencias.....</b>                          | <b>132</b> |
| <b>2.6</b>  | <b>Diagramas de Pareto y curvas de Pareto .....</b>  | <b>139</b> |
| <b>2.7</b>  | <b>Hojas de comprobación .....</b>   | <b>142</b> |
| <b>2.8</b>  | <b>Diagramas de la capacidad de los procesos .....</b>   | <b>144</b> |
| <b>2.9</b>  | <b>Diagramas de dispersión (diagramas de correlación).....</b>                                 | <b>145</b> |
| <b>2.10</b>   | <b>¿Qué es el error? .....</b>   | <b>150</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>2A.1 Preparación de las distribuciones de frecuencias .....</b>   | <b>153</b> |
| <b>2A.2 Métodos para calcular los estadísticos .....</b>   | <b>156</b> |
| <b>2A.3 Distribuciones de los estadísticos .....</b>   | <b>160</b> |
| <b>CAPÍTULO 3. PREPARACIÓN Y USO DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL.....</b>   | <b>163</b> |
| <b>3.1 ¿Qué son los gráficos de control? .....</b>   | <b>163</b> |
| <b>3.2 Tipos de gráficos de control .....</b>  | <b>163</b> |
| <b>3.3 Preparación de los gráficos de control de la media y el recorrido (<math>\bar{x}</math>-<math>R</math>) .....</b> | <b>166</b> |
| <b>3.4 Preparación de los gráficos de control para la fracción de unidades defectuosas (<math>p</math>) .....</b>        | <b>177</b> |
| <b>3.5 Preparación de los gráficos de control para el número de unidades defectuosas (<math>pn</math>) .....</b>         | <b>181</b> |
| <b>3.6 Preparación de los gráficos de control para el número de defectos por unidad (<math>U</math>).....</b>            | <b>182</b> |
| <b>3.7 Preparación de los gráficos de control para el número de defectos (<math>c</math>) .....</b>                      | <b>184</b> |
| <b>3.8 Interpretación de los gráficos de control .....</b>   | <b>186</b> |
| <b>3.9 Uso de los gráficos de control .....</b>  | <b>188</b> |
| 3.9.1 Aplicaciones .....   | 188        |
| 3.9.2 Uso de los gráficos de control para el análisis .....  | 190        |
| 3.9.3 Uso de los gráficos de control para el control .....   | 196        |
| <b>3A.1 El gráfico de control de la mediana y el recorrido.....</b>  | <b>200</b> |
| <b>3A.2 Gráficos de control para puntos de datos individuales.....</b>   | <b>202</b> |
| 3A.2.1 Preparación del gráfico de control $\bar{x}$ .....  | 202        |
| 3A.2.2 El uso del gráfico de control $\bar{x}$ .....   | 206        |
| <b>3A.3 La interpretación estadística de los gráficos de control .....</b>   | <b>208</b> |
| <b>3A.4 Métodos para contrastar las diferencias entre los promedios a partir de los gráficos de control.....</b>         | <b>216</b> |
| <b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y MEJORA DE LOS PROCESOS.....</b>  | <b>221</b> |
| <b>4.1 Mejora y control de los procesos .....</b>  | <b>221</b> |
| <b>4.2 Tipos y procedimientos de mejora.....</b>   | <b>222</b> |
| 4.2.1 Tipos de mejoras .....   | 222        |
| 4.2.2 Obstáculos a la mejora .....   | 225        |
| 4.2.3 Las condiciones básicas para mejorar.....  | 227        |
| 4.2.4 Procedimientos de análisis y mejora de los procesos.....   | 228        |
| <b>4.3 Investigaciones para descubrir los problemas.....</b>   | <b>229</b> |
| 4.3.1 Ideas generales .....  | 229        |

---

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 4.3.2       | Cómo hacer la estratificación .....  | 232        |
| 4.3.3       | Gráficos .....   | 233        |
| 4.3.4       | Poner de manifiesto las unidades defectuosas ocultas y las reclamaciones latentes .....            | 234        |
| <b>4.4</b>  | <b>Decidir qué problemas acometer .....</b>  | <b>236</b> |
| <b>4.5</b>  | <b>Organización para el análisis y mejora de los procesos .....</b>                                | <b>238</b> |
| 4.5.1       | Análisis y mejora de los procesos a través de la organización permanente .....                     | 239        |
| 4.5.2       | Análisis y mejora de los procesos a través de las actividades de los círculos de CC.....           | 240        |
| 4.5.3       | Actividades de los equipos de CC .....   | 241        |
| 4.5.4       | Sistemas del técnico responsable y del director responsable . . . .                                | 243        |
| <b>4.6</b>  | <b>Análisis de los problemas y preparación de los planes de mejora ...</b>                         | <b>244</b> |
| 4.6.1       | Actitud básica de ataque .....   | 244        |
| 4.6.2       | Puntos que se han de especificar en los planes de mejora; normalización y métodos de control ..... | 246        |
| <b>4.7</b>  | <b>Examen del análisis de los procesos y los métodos de mejora .....</b>                           | <b>247</b> |
| 4.7.1       | Análisis y mejora por medio del uso de la tecnología patentada ..                                  | 247        |
| 4.7.2       | Análisis y mejora por medio del uso de los conocimientos puestos en común.....                     | 249        |
| 4.7.3       | Creatividad y sistemas de sugerencias .....  | 250        |
| 4.7.4       | Diagramas de causa y efecto.....   | 252        |
| 4.7.5       | Gráficos de los procesos de CC .....   | 255        |
| 4.7.6       | Análisis y mejora por medio del uso simultáneo de los métodos estadísticos .....                   | 256        |
| 4.7.7       | Estudios de la capacidad de los procesos.....  | 259        |
| <b>4.8</b>  | <b>Algunas ideas generales sobre el análisis .....</b>   | <b>263</b> |
| <b>4.9</b>  | <b>Procedimientos generales para el análisis estadístico .....</b>                                 | <b>264</b> |
| <b>4.10</b> | <b>Realización de experimentos en fábrica .....</b>  | <b>272</b> |
| <b>4.11</b> | <b>Análisis de los procesos con pocos datos .....</b>  | <b>275</b> |
| <b>4.12</b> | <b>Preparación y puesta en práctica de los planes de mejora .....</b>                              | <b>275</b> |
| <b>4.13</b> | <b>Comprobación de los resultados: controlar y seguir mejorando.....</b>                           | <b>276</b> |
| <b>4.14</b> | <b>Preparación de informes.....</b>  | <b>278</b> |
| <b>4A.1</b> | <b>Investigación de los métodos de medida .....</b>  | <b>280</b> |
| <b>4A.2</b> | <b>Investigación de los métodos de muestreo .....</b>  | <b>284</b> |
| <b>4A.3</b> | <b>El concepto de las pruebas estadísticas.....</b>  | <b>292</b> |
| <b>4A.4</b> | <b>El concepto de la estimación estadística .....</b>  | <b>296</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>4A.5 Diferencia entre las medias de dos conjuntos de datos correspondientes continuos - método simple .....</b>                             | <b>297</b> |
| <b>4A.6 Diferencia entre las fracciones de unidades defectuosas de dos conjuntos de datos - método del papel probabilístico binomial .....</b> | <b>300</b> |
| <b>4A.7 Diferencia entre las medias de dos conjuntos de datos (variables) cuando no hay correspondencia .....</b>                              | <b>302</b> |
| <b>4A.8 Relación entre conjuntos de datos correspondientes - correlación ..</b>  | <b>305</b> |
| <b>4A.9 Aditividad de las varianzas .....</b>  | <b>309</b> |
| <br>   |            |
| <b>CAPÍTULO 5. EL CONTROL DE LOS PROCESOS .....</b>  | <b>311</b> |
| <br>   |            |
| <b>5.1 ¿Qué es el control de los procesos? .....</b>   | <b>311</b> |
| <b>5.2 Diseño de la calidad y diseño del proceso .....</b>   | <b>313</b> |
| 5.2.1 Normas de calidad.....   | 314        |
| 5.2.2 Diseño de los procesos, análisis de los procesos y preparación de los gráficos de procesos de control de calidad.....                    | 317        |
| <b>5.3 Acciones .....</b>  | <b>319</b> |
| 5.3.1 Tipos de acciones .....  | 319        |
| 5.3.2 Gráficos de ajuste .....   | 320        |
| 5.3.3 Gráficos de control encaminados principalmente a entrar en acción de forma inmediata .....   | 321        |
| 5.3.4 Gráficos de control que se centran en la prevención de la reaparición de los problemas .....   | 322        |
| 5.3.5 Informes de las anomalías de un proceso .....  | 323        |
| <b>5.4 Normas de trabajo y normas técnicas.....</b>  | <b>326</b> |
| 5.4.1 ¿Qué son las normas de trabajo y las normas técnicas?.....   | 326        |
| 5.4.2 Características de calidad, características de control y normas de trabajo .....   | 327        |
| 5.4.3 Propósitos y tipos de normas de trabajo .....  | 328        |
| 5.4.4 Condiciones que se han de incluir en las normas de trabajo .....   | 331        |
| 5.4.5 Preparación de las normas de trabajo .....   | 333        |
| 5.4.6 Puesta en práctica y control de las normas de trabajo .....  | 336        |
| <b>5.5 Niveles de control.....</b>   | <b>339</b> |
| 5.5.1 Selección de los elementos de control .....  | 339        |
| 5.5.2 Establecimiento de los niveles de control.....   | 345        |
| 5.5.3 Control y revisión de los niveles de control .....   | 348        |



|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>5.6</b>  | <b>Causas de las anomalías y normas de control.....</b>  | <b>349</b> |
| 5.6.1       | Causas de las anomalías .....  | 349        |
| 5.6.2       | Normas de control .....  | 351        |
| <b>5.7</b>  | <b>Cómo comprobar si se está poniendo en práctica un buen control de los procesos.....</b>   | <b>353</b> |
| <b>5.8</b>  | <b>Las ventajas de los gráficos de control y del estado controlado.....</b>  | <b>359</b> |
| <b>5.9</b>  | <b>Establecimiento de criterios para hacer los ajustes.....</b>  | <b>361</b> |
|             | <b>CAPÍTULO 6. LA GARANTÍA DE CALIDAD Y LA INSPECCIÓN . . .</b>  | <b>365</b> |
| <b>6.1</b>  | <b>¿Qué es la Garantía de Calidad?.....</b>  | <b>365</b> |
| <b>6.2</b>  | <b>Los principios de la Garantía de Calidad.....</b>   | <b>367</b> |
| <b>6.3</b>  | <b>Los métodos y sistemas de la Garantía de Calidad .....</b>  | <b>369</b> |
| <b>6.4</b>  | <b>¿Por qué se producen unidades defectuosas? Algunas modificaciones convenientes.....</b>   | <b>375</b> |
| <b>6.5</b>  | <b>Fiabilidad .....</b>  | <b>382</b> |
| <b>6.6</b>  | <b>La Garantía de Calidad y la responsabilidad social (responsabilidad civil por el producto, y daños ambientales ocasionados por el producto) .....</b> | <b>388</b> |
| <b>6.7</b>  | <b>¿Qué es la inspección?.....</b>   | <b>394</b> |
| <b>6.8</b>  | <b>Tipos de inspección .....</b>   | <b>395</b> |
| <b>6.9</b>  | <b>¿Qué es la inspección por muestreo? .....</b>   | <b>399</b> |
| 6.9.1       | Errores de muestreo.....   | 399        |
| 6.9.2       | Curvas características de los planes de muestreo .....   | 401        |
| 6.9.3       | Calidad media de salida .....  | 402        |
| 6.9.4       | Tipos de inspección por muestreo .....   | 405        |
| 6.9.5       | Nivel de la calidad y disposición de los lotes después de la inspección .....  | 409        |
| <b>6.10</b> | <b>¿Inspección del 100% o inspección por muestreo? .....</b>   | <b>412</b> |
| <b>6.11</b> | <b>¿Control de los procesos o inspección?.....</b>   | <b>415</b> |
| <b>6.12</b> | <b>El Departamento de Inspección.....</b>  | <b>416</b> |
| 6.12.1      | Las obligaciones del Departamento de Inspección.....   | 416        |
| 6.12.2      | Errores a los que son susceptibles las inspecciones y el Departamento de Inspección .....  | 419        |
| <b>6.13</b> | <b>Las normas de inspección y cómo establecerlas.....</b>  | <b>421</b> |
| <b>6.14</b> | <b>El tratamiento de las reclamaciones y la aceptación especial de un producto .....</b>   | <b>425</b> |
| 6.14.1      | ¿Qué son las reclamaciones?.....   | 425        |

---

|  |            |
|--|------------|
| 6.14.2 Tratamiento de las reclamaciones .....  | 427        |
| 6.14.3 Aceptación especial de un producto .....  | 428        |
| <b>6.15 Conclusiones .....</b>   | <b>430</b> |
| <b>CAPÍTULO 7. LA PUESTA EN PRÁCTICA SISTEMÁTICA DEL<br/>CONTROL DE CALIDAD TOTAL .....</b>                                | <b>431</b> |
| <b>7.1 El Control de Calidad Total.....</b>  | <b>431</b> |
| <b>7.2 La organización del CCT .....</b>   | <b>432</b> |
| <b>7.3 Programas de fomento del CCT.....</b>   | <b>437</b> |
| <b>7.4 Control de los diseños .....</b>  | <b>442</b> |
| <b>7.5 El control de las materias primas, de subcontratistas, y el CCT para<br/>las pequeñas y medianas empresas .....</b> | <b>443</b> |
| <b>7.6 Control de los equipos, control de calibres y herramientas, y control<br/>de las medidas.....</b>                   | <b>449</b> |
| <b>7.7 El CCT en marketing, ventas y servicio post-venta .....</b>   | <b>450</b> |
| <b>7.8 El CCT y la organización distribuidora .....</b>  | <b>453</b> |
| <b>7.9 Control de la Investigación y el Desarrollo .....</b>   | <b>454</b> |
| <b>7.10 Auditorías de la calidad .....</b>   | <b>456</b> |
| <b>7.11 Auditorías de Control de Calidad y auditorías de CCT .....</b>   | <b>457</b> |
| <b>7.12 Gestión de la política .....</b>   | <b>463</b> |
| <b>7.13 Conclusión .....</b>   | <b>466</b> |
| <b>Índice .....</b>  | <b>469</b> |



---

# Figuras y tablas

|                     |   |     |
|---------------------|---|-----|
| <b>Figura 1.1.</b>  | ¿Qué es el CCT? .....   | 3   |
| <b>Tabla 1.1.</b>   | Algunas diferencias culturales entre Japón y Occidente .....  | 13  |
| <b>Figura 1.2.</b>  | La filosofía del Control de Calidad: el ciclo de Deming .....   | 20  |
| <b>Figura 1.3.</b>  | La relación entre las características verdaderas de la calidad y las características sustituías: análisis de la calidad ..... | 25  |
| <b>Figura 1.4.</b>  | Clasificación de las características de la calidad por orden de prioridades .....   | 31  |
| <b>Figura 1.5.</b>  | Productos con y sin argumentos de venta; gráfico de radar de la calidad.....  | 32  |
| <b>Figura 1.6.</b>  | Los cuatro tipos diferentes de niveles de la calidad.....   | 37  |
| <b>Figura 1.7.</b>  | Relación entre la calidad, el coste y la productividad .....  | 38  |
| <b>Figura 1.8.</b>  | El ciclo de control (con cuatro pasos) .....  | 42  |
| <b>Figura 1.9.</b>  | Los seis pasos del control.....   | 43  |
| <b>Figura 1.10.</b> | Diagrama de causa y efecto .....  | 46  |
| <b>Figura 1.11.</b> | Un modelo de control.....   | 51  |
| <b>Figura 1.12.</b> | Un gráfico de control .....   | 56  |
| <b>Figura 1.13.</b> | ¿Qué es el control? .....   | 59  |
| <b>Figura 1.14.</b> | El control al estilo del CCT y el control anticuado .....   | 61  |
| <b>Figura 1.15.</b> | Las cinco "emes" para crear productos y calidad .....   | 62  |
| <b>Tabla 1.2.</b>   | Un método para clasificar los nuevos productos .....  | 64  |
| <b>Figura 1.16.</b> | Un sistema de Garantía de Calidad .....   | 66  |
| <b>Figura 1.17.</b> | PHCA para el sistema de Garantía de Calidad .....   | 67  |
| <b>Figura 1.18.</b> | La filosofía del control y la mejora .....  | 77  |
| <b>Tabla 1.3.</b>   | Fines y medios de la dirección .....  | 85  |
| <b>Figura 1.19.</b> | Relación entre el CCT y las actividades de los círculos de CC.  | 87  |
| <b>Figura 2.1.</b>  | Poblaciones y muestras .....  | 115 |

|                     |  |     |
|---------------------|--|-----|
| <b>Tabla 2.1.</b>   | Espesor de las planchas de acero .....   | 118 |
| <b>Tabla 2.2.</b>   | Tabla de la distribución de frecuencias .....  | 118 |
| <b>Figura 2.2.</b>  | Histograma del espesor de las planchas de acero .....  | 119 |
| <b>Figura 2.3.</b>  | Dos tipos de dispersión en los productos producidos por un proceso .....   | 121 |
| <b>Figura 2.4.</b>  | La distribución normal con sus probabilidades .....  | 123 |
| <b>Figura 2.5.</b>  | Se juzgó que hay dos distribuciones .....  | 124 |
| <b>Figura 2.6.</b>  | Comparación entre la especificación y el histograma (en un caso en que se cumplen las especificaciones) .....  | 135 |
| <b>Figura 2.7.</b>  | Comparación entre la especificación y el histograma (en un caso en que no se cumplen las especificaciones).....  | 136 |
| <b>Figura 2.8.</b>  | Varias formas de histogramas .....   | 137 |
| <b>Figura 2.9.</b>  | Histogramas estratificados .....   | 138 |
| <b>Figura 2.10.</b> | Distribuciones de frecuencias ordenadas en secuencia temporal, que indican claramente las tendencias de la media y la dispersión .....                             | 138 |
| <b>Figura 2.11.</b> | Diagrama de Pareto .....   | 140 |
| <b>Figura 2.12.</b> | Gráfico de la capacidad de un proceso (1) para mostrar los cambios temporales .....  | 144 |
| <b>Figura 2.13.</b> | Gráfico de la capacidad de un proceso (2) para mostrar los cambios temporales .....  | 145 |
| <b>Tabla 2.3.</b>   | Ingrediente de la materia prima (en porcentaje) frente a la dureza del producto .....  | 147 |
| <b>Figura 2.14.</b> | Ejemplo de diagrama de dispersión (diagrama de correlación): relación entre el porcentaje del ingrediente en la materia prima y la dureza media del producto ..... | 147 |
| <b>Tabla 2.4.</b>   | Ejemplo de tabla de correlación. Porcentaje del ingrediente ( $x$ ) .....  | 148 |
| <b>Figura 2.15.</b> | Diagramas de dispersión de diversas formas.....  | 149 |
| <b>Figura 2.16.</b> | Tipos de errores.....  | 153 |
| <b>Tabla 2A.1.</b>  | Número recomendado de celdas para las distribuciones de frecuencias .....  | 154 |
| <b>Tabla 2A.2.</b>  | Cálculo de $x$ y $s$ a partir de la tabla de distribución de frecuencias .....   | 156 |
| <b>Tabla 2A.3.</b>  | Distribuciones de los estadísticos (para variables) .....  | 161 |
| <b>Tabla 2A.4.</b>  | Distribuciones de los estadísticos (para enumerables).....   | 161 |
| <b>Tabla 2A.5.</b>  | Coefficientes para la distribución de la desviación estándar . . .   | 162 |
| <b>Tabla 3.1.</b>   | Espesor de las planchas (en mm) .....  | 168 |
| <b>Tabla 3.2.</b>   | Ejemplo de hoja de datos para el gráfico de control $\bar{x} - R$ . . .  | 169 |
| <b>Tabla 3.3.</b>   | Coefficientes para los gráficos de control $\bar{x} - R$ .....   | 172 |
| <b>Figura 3.1.</b>  | Gráfico de control $\bar{x} - R$ .....   | 173 |

|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| <b>Tabla 3.4.</b>    | Ejemplo de hoja de datos para los gráficos de control de las fracciones de unidades defectuosas y del número de unidades defectuosas ..... | 179 |
| <b>Figura 3.2.</b>   | Gráfico de control $pn$ .....  | 181 |
| <b>Tabla 3.5.</b>    | Ejemplo de hoja de datos para el gráfico de control del número de defectos .....   | 185 |
| <b>Figura 3.3.</b>   | Gráfico de control $c$ .....   | 186 |
| <b>Tabla 3A.1.</b>   | Coefficientes para los gráficos de control $\tilde{x} - R$ .....   | 201 |
| <b>Figura 3A.1.</b>  | Gráfico de control $\tilde{x} - R$ .....   | 202 |
| <b>Figura 3A.2.</b>  | Gráfico de control $\bar{x} - R - x$ .....   | 203 |
| <b>Tabla 3A.2.</b>   | Valores de $E_2$ .....   | 204 |
| <b>Figura 3A.3.</b>  | Gráfico de control $x - R_s$ .....   | 204 |
| <b>Figura 3A.4.</b>  | Estado totalmente controlado.....  | 208 |
| <b>Figura 3A.5.</b>  | Fluctuación grande y repentina del promedio de un proceso . .  | 209 |
| <b>Figura 3A.6.</b>  | Fluctuación grande y repentina de la dispersión (dentro de los subgrupos).....   | 209 |
| <b>Figura 3A.7.</b>  | Aumento gradual del promedio de un proceso.....  | 209 |
| <b>Figura 3A.8.</b>  | Cambio sostenido del promedio de un proceso .....  | 210 |
| <b>Figura 3A.9.</b>  | Cambio aleatorio leve del promedio de un proceso.....  | 211 |
| <b>Figura 3A.10.</b> | Cambio grande y aleatorio del promedio de un proceso .....   | 212 |
| <b>Figura 3A.11.</b> | Aumento de la dispersión de un proceso .....   | 215 |
| <b>Figura 3A.12.</b> | Disminución de la dispersión de un proceso .....   | 215 |
| <b>Figura 3A.13.</b> | Gráficos de control estratificados para las zonas A y B <sub>2</sub> .....   | 216 |
| <b>Figura 3A.14.</b> | Combinación de datos procedentes de poblaciones con tres distribuciones muy diferentes.....  | 217 |
| <b>Tabla 3A.3.</b>   | Tabla complementaria para la prueba de hipótesis cuando se utiliza el recorrido .....  | 218 |
| <b>Figura 4.1.</b>   | Gráficos que muestran la aparición de unidades defectuosas .   | 235 |
| <b>Figura 4.2.</b>   | Actualización de las reclamaciones latentes.....   | 236 |
| <b>Tabla 4.1.</b>    | Diferencias entre las actividades de los círculos de CC y las de los equipos de CC.....  | 242 |
| <b>Figura 4.3.</b>   | Diagrama de causa y efecto .....   | 252 |
| <b>Figura 4.4.</b>   | Las cinco "emes" para controlar los procesos .....   | 253 |
| <b>Figura 4.5.</b>   | Gráfico de un proceso de control de calidad .....  | 257 |
| <b>Figura 4.6.</b>   | Ejemplo de plan de control de los procesos para un proceso de mecanizado .....   | 258 |
| <b>Tabla 4.2.</b>    | Gráfico de causa y característica .....  | 269 |
| <b>Figura 4A.1.</b>  | Métodos de muestreo .....  | 288 |
| <b>Tabla 4A.1.</b>   | Niveles de significación estándar .....  | 293 |
| <b>Tabla 4A.2.</b>   | Diferencias entre los rendimientos de las materias primas A y B.....   | 296 |

|                     |   |         |
|---------------------|---|---------|
| <b>Tabla 4A.3.</b>  | Datos del rendimiento (%) .....   | 298     |
| <b>Tabla 4A.4.</b>  | Tabla de la prueba de los signos .....  | 299     |
| <b>Tabla 4A.5.</b>  | Número de unidades defectuosas producidas por las máquinas 1 y 2.....   | 300     |
| <b>Figura 4A.2.</b> | Papel probabilístico binomial .....   | 301     |
| <b>Tabla 4A.6.</b>  | Tabla de contingencia 2 x 2 .....   | 303     |
| <b>Figura 4A.3.</b> | Gráfico de una característica ( $n=50$ ) .....  | 304     |
| <b>Figura 4A.4.</b> | Papel probabilístico binomial .....   | 304     |
| <b>Figura 4A.5.</b> | Relación entre la humedad atmosférica y el contenido de humedad de un producto textil .....   | 306     |
| <b>Figura 4A.6.</b> | Papel probabilístico binomial .....   | 308     |
| <b>Tabla 5.1.</b>   | Informe de anomalías de un proceso .....  | 325     |
| <b>Figura 5.1.</b>  | Discriminación de causas y efectos .....  | 340     |
| <b>Figura 5.2.</b>  | Cambios en el número de gráficos de control .....   | 355     |
| <b>Tabla 5.2.</b>   | Informe del diagnóstico de los gráficos de control .....  | 356     |
| <b>Figura 5.3.</b>  | Cambios a largo plazo en un proceso (visión a largo plazo de los gráficos de control) .....   | 358     |
| <b>Figura 6.1.</b>  | Los pasos de la Garantía de Calidad.....  | 371     |
| <b>Figura 6.2.</b>  | Tendencias del número de cambios en un diseño .....   | 373     |
| <b>Figura 6.3.</b>  | Diagrama de causa y efecto para la fiabilidad .....   | 384-385 |
| <b>Figura 6.4.</b>  | Los fallos y su terminología .....  | 387     |
| <b>Tabla 6.1.</b>   | Probabilidad de que aparezcan unidades defectuosas en una muestra ( $N=1.000$ , $P=10\%$ , $n=10$ ) .....                                   | 400     |
| <b>Tabla 6.2.</b>   | Probabilidad de que aparezcan unidades defectuosas en una muestra ( $N=1.000$ , $P=5\%$ , $n=10$ ) .....                                    | 400     |
| <b>Figura 6.5.</b>  | Ejemplos de curvas características .....  | 403     |
| <b>Tabla 6.3.</b>   | Método para calcular la CMS. (Inspección por muestreo con cribado; $N=100$ , $n=5$ , $a=0$ ).....   | 404     |
| <b>Figura 6.6.</b>  | Fracción de unidades defectuosas en los lotes antes de la inspección, y la CMS. (Inspección por muestreo con cribado; $n=5$ , $a=0$ ) ..... | 404     |
| <b>Tabla 6.4.</b>   | Planes de muestreo .....  | 407     |
| <b>Figura 6.7.</b>  | Ejemplo de inspección por muestreo basada en el PTUD . . . .  | 411     |
| <b>Figura 6.8.</b>  | Inspección por muestreo basada en el LCMS .....   | 411     |
| <b>Figura 6.9.</b>  | Ejemplo de inspección $P_0$ , $\alpha$ ; $P_1$ , $\beta$ .....  | 411     |
| <b>Tabla 7.1.</b>   | Relación de Garantía de Calidad entre el proveedor y el comprador .....   | 445     |
| <b>Tabla 7.2.</b>   | Lista de comprobación de las auditorías de Control de Calidad (para el Premio Deming).....  | 460-461 |

---

# Prefacio

Han pasado cuarenta años desde que mis colegas y yo introdujimos formalmente el movimiento del control de calidad (CC) en Japón en 1949. Desde entonces los métodos japoneses del CC han cambiado mucho. El CC empezó con el control estadístico de calidad (CEC) y el control estadístico de proceso (CEP) y siguió con el CC de los proveedores (1960), el CC en el desarrollo de nuevos productos (1961) y el CC en el departamento de ventas y las redes de distribución, hasta el CC en las industrias de la construcción y de servicios. Durante este proceso, ha evolucionado desde el CEC al CCT (Control de Calidad Total) y al CCTE (Control de Calidad por Toda la Empresa), y recientemente al CCTG (Control de Calidad por Todo el Grupo, i.e., control de calidad que abarca a todo un grupo corporativo incluyendo a sus proveedores y organizaciones de distribución).

La primera edición de este libro se publicó en 1954, y la segunda en 1964; se ha publicado un total de unas cien impresiones de estas ediciones. Por supuesto que se hicieron unas pequeñas correcciones en estas ediciones, pero las planchas empiezan a desgastarse y el CC y sus métodos han cambiado. Por tanto, he decidido publicar esta edición revisada. Los principios básicos descritos en las ediciones originales siguen igual pero se han añadido nuevos desarrollos y sugerencias. El resultado es una introducción al CC con más de 460 páginas.

Para comprender el CC tenemos que saber no sólo lo que es el propio CC sino también lo que son el CEC, el CEP, el CCT, el CCTE y el CCTG. Toda persona de una empresa debe conocer esto, desde el presidente hasta el último trabajador. Para adquirir esta comprensión debemos captar primero lo que es el CC y seguir luego para aprender los métodos tales como los de garantía de



calidad, el enfoque estadístico, los métodos de control y los métodos de mejora. En este libro he tratado de explicar estas cuestiones en un lenguaje sencillo y fácilmente comprensible. Aunque se están extendiendo los métodos estadísticos computarizados, no los he tratado aquí. Me he centrado en los métodos de lápiz y papel porque el análisis y control que utiliza estos métodos todavía es esencial en los puestos de trabajo, particularmente en las industrias de servicios. También he visto que todos los que estudian los métodos de CC tienen que tener experiencia con la representación gráfica y el análisis manual de los datos antes de pasar a utilizar los ordenadores.

Los altos directivos, los directores de departamento, el personal administrativo y los supervisores deben estudiar los Capítulos 1 y 2 y discutir concienzudamente su contenido durante un periodo de dos días, mientras que los directores más jóvenes de departamento, los directores de sección, los subdirectores y el personal técnico deben tomarse de seis a ocho días para estudiarlo. Cuando el libro se utilice en cursos para estudiantes universitarios también deben incluirse casos para estudio, ya que estos no tienen experiencia en el trabajo. Si se da una conferencia a la semana, el libro debe terminarse en un año.

Recomiendo encarecidamente a los lectores que aprendan el CC con este libro que lo pongan en práctica. La teoría y la erudición son necesarias para el CC, pero sólo produce resultados tangibles si se practica en la realidad. Puede que algunos lectores piensen que lo que dice el libro es obvio. Tienen razón. Antes del CC, lo que obviamente debería haber estado haciéndose dentro y fuera de las empresas o no se hacía en absoluto o se hacía poco a poco. De hecho, una definición alternativa de CC podría ser "Todo el mundo hace lo que debe hacerse, de forma organizada y sistemática". La industria de maquinarias tardó en adoptar el CC, y algunas personas de las industrias de la construcción y de servicios alegaban al principio que no lo podían aplicar porque eran diferentes del resto de las industrias. Sin embargo, cuando se intentó realmente, se vio que casi todos los principios básicos eran los mismos. Decir que "El CC no funcionará en nuestra industria porque somos diferentes de los demás" no es más que una excusa para la falta de motivación.

Espero que los lectores estudien este libro con detenimiento línea por línea, digieran bien su contenido y lo utilicen para hacer posible que sus empresas sobrevivan en la economía libre y competitiva actual.

El CC empieza y termina con la educación.

En conclusión, deseo expresar mi más afectuoso agradecimiento a todas las personas de JUSE (la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses) que me han ayudado a preparar la publicación de este libro desde la primera edición.

*Octubre, 1988*

KAORU ISHIKAWA

---

# Agradecimientos

Este libro es la traducción al inglés del libro clásico del fallecido Dr. Kaoru Ishikawa "*Dai-3-pan Hinshitsu Kanri Nyūmon*" (Introducción al Control de Calidad, 3ª edición), publicado originalmente en japonés por JUSE Press Ltd., la sección de publicaciones de la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses. La publicación de esta traducción al inglés se planificó con el consentimiento del Dr. Ishikawa antes de su muerte. Desgraciadamente, cayó enfermo en ese momento y murió finalmente en abril de 1989. No puedo evitar sentir una enorme pena por su pérdida.

Durante muchos años, el Dr. Ishikawa, en su cargo de Conferenciante Principal y Director de la Asociación para la Educación Técnica de Ultramar, la organización matriz de 3A Corporation, dio conferencias y orientó a directivos e ingenieros de ultramar. Muchas de las personas que han recibido su orientación desempeñan ahora papeles clave en las empresas y círculos industriales de sus respectivos países.

"*Hinshitsu Kanri Nyūmon*" tuvo un gran éxito cuando se publicó en 1954 y desde entonces se ha revisado y reimpresso muchas veces. Después de una redacción y ampliación particularmente extensa para abarcar el uso de ordenadores y otros progresos modernos, esta tercera edición se publicó con el título "*Dai-3-pan Hinshitsu Kanri Nyūmon*" en 1988, constituyendo el legado postumo del Dr. Ishikawa a todos los estudiantes y profesionales del control de calidad.

Al traducir y publicar este libro, recibimos una orientación y asistencia editorial excepcionalmente generosa del Dr. Hitoshi Kume, catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Tokio, del Dr. Noriaki Kano, catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciencias de Tokio, y

del Dr. Yoshinori Iizuka, profesor adjunto de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Tokio. La publicación de este libro hubiera sido difícilísima sin su ayuda y les estoy profundamente agradecido.

También les estoy agradecido por haberse puesto en contacto con el pionero del control de calidad en Norteamérica, el Dr. J. M. Juran, para pedirle que escribiera unas palabras de recomendación para este libro. Fue muy amable en responder a esta petición y deseo darle las gracias sinceramente por añadir el toque final.

Finalmente, deseo dar las gracias a todas las personas de JUSE Press Ltd. por su valiosa cooperación durante el largo periodo desde la etapa de planificación hasta la publicación final.

*Octubre, 1990*

EL EDITOR

---

El control de calidad moderno constituye una revolución en el pensamiento directivo, y su puesta en práctica en toda una empresa puede mejorar espectacularmente su cultura corporativa.

El control de calidad se hace cada vez más importante conforme avanza una industria y se moderniza la sociedad.

Espero sinceramente que el control de calidad alcance los siguientes objetivos:

Fortalecer la base económica de un país y permitir la exportación de grandes cantidades de productos de alta calidad y a unos precios razonables.

Establecer una tecnología industrial fiable y permitir la transferencia de tecnología a otros países para que prosperen.

Asegurar un cimiento económico sólido para el futuro.

Finalmente, permitir que las empresas compartan sus beneficios equitativamente con los consumidores, los empleados y los inversores, y eleven el nivel de vida de su nación.

Si todas las naciones desempeñan su papel en el fomento del control de calidad, el mundo hallará la paz y sus habitantes podrán vivir juntos felices y armoniosamente.

Todos debemos empeñarnos en crear una atmósfera animada y alegre dentro de nuestras empresas, y en crear unas vidas felices para nuestros países y para el mundo.

---



---

# ¿Qué es el Control de Calidad?

## 1.1 ¿Qué es el Control de Calidad?

Claro está que la alta dirección de una empresa es totalmente responsable de los productos y servicios de esa empresa, pero los directores de fábrica, los de departamento, los de sección, los supervisores y los encargados son todos ellos responsables de la calidad de los productos y servicios producidos en sus respectivas fábricas, departamentos, secciones, grupos y equipos. Mientras tanto, el deber de los ingenieros y de los técnicos especialistas es preparar, revisar y mejorar sistemática y metódicamente las normas<sup>1</sup> que harán que sus empresas puedan suministrar productos a la sociedad lo más baratos posible.

Controlar la calidad no quiere decir simplemente estudiar estadística o preparar gráficos de control. Creo que los fines del control de calidad deben ser: primero, fortalecer la economía de un país capacitándolo para exportar grandes cantidades de productos de alta calidad y a un precio razonable; segundo, asegurar un cimiento económico firme para el futuro estableciendo y exportando activamente la tecnología industrial. Los fines últimos del control de calidad deben ser: permitir que las empresas compartan sus beneficios sensata y equitativamente entre los consumidores, los empleados y los accionistas, ele-

---

1

La palabra *standard* se ha traducido por "norma" y por "estándar", según el contexto. El término "estándar" se ha utilizado cuando indica los valores que ha de cumplir una característica, tanto de un producto intermedio o final. Se ha utilizado el término "norma" cuando indica un estándar de proceso dentro de una empresa, en cuyo caso es equivalente a "procedimiento" (documento formal que describe metódicamente un proceso); igualmente, cuando se trata del resultado final de una actividad de normalización en general (por ejemplo, una norma de trabajo); también en sentido más restrictivo, cuando, por ejemplo, la actividad normalizadora la realiza un organismo nacional, regional o internacional con autoridad para ello (AENOR en España), como norma ISO, EN, UNE, JIS, etc. (N. de los T.)

var el nivel de vida del país, y hacer que la vida sea mejor para todo el mundo en general.

### **1.1.1 La definición de Control de Calidad**

En la norma JIS (Normas Industriales Japonesas) sobre terminología Z8101-1981, el control de calidad se define de la siguiente forma:

"Sistema de métodos para la provisión coste-eficaz de bienes o servicios cuya calidad es adecuada a los requisitos del comprador.

A menudo se utiliza la abreviatura CC.

Debido a que el control de calidad moderno hace uso de métodos estadísticos, a veces se le denomina control estadístico de calidad (abreviado, CEC). La puesta en práctica eficaz del control de calidad requiere la participación y la cooperación de todos los empleados de una empresa, desde la alta dirección, pasando por los directivos medios y los supervisores, hasta los trabajadores de base de todas las etapas de las actividades de la empresa, desde la investigación de mercado, investigación y desarrollo, planificación de productos, diseño, preparación de la producción, compras y subcontratos, producción, inspección, ventas y servicio post-venta, hasta las funciones financiera, de personal y de educación. El control de calidad así desempeñado se conoce como control de calidad por toda la empresa (abreviado, CTE) o control de calidad total (abreviado, CCT)."

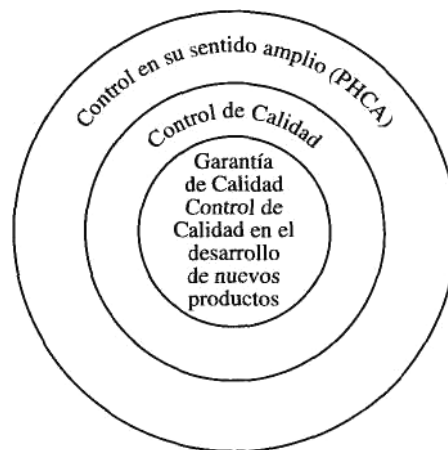
El control de calidad es una nueva manera de pensar en la dirección y de considerarla. Mi definición personal es la siguiente:

"El control de calidad consiste en el desarrollo, diseño, producción, comercialización y prestación del servicio de productos y servicios con una eficacia del coste y una utilidad óptimas, y que los clientes comprarán con satisfacción. Para alcanzar estos fines, todas las partes de una empresa (alta dirección, oficina central, fábricas y departamentos individuales tales como producción, diseño, técnico, investigación, planificación, investigación de mercado, administración, contabilidad, materiales, almacenes, ventas, servicio, personal, relaciones laborales y asuntos generales) tienen que trabajar juntos. Todos los departamentos de la empresa tienen que empeñarse en crear sistemas que faciliten la cooperación y en preparar y poner en práctica fielmente las normas internas. Esto sólo puede alcanzarse por medio del uso masivo de diversas técnicas tales como los métodos estadísticos y técnicos, las normas y reglamentos, los métodos computarizados, el control automático, el control de

instalaciones, el control de medidas, la investigación operativa, la ingeniería industrial y la investigación de mercado."

Ya que el verdadero control de calidad sólo puede alcanzarse organizando todos los puntos fuertes de una empresa, a esta clase de control de calidad se le llama control de calidad por toda la empresa (CCTE) o control de calidad total (CCT). Para poner en práctica el CCTE/CCT hace falta lo siguiente:

1. Tienen que participar todos los departamentos, yendo a la cabeza el jefe de cada departamento. Cada departamento tiene que tomar la iniciativa para establecer enlaces con otros departamentos relacionados.
2. Todos los empleados tienen que estar implicados; en otras palabras, todos los miembros de la empresa, desde el Presidente del Consejo de Administración pasando por el Director General, los altos ejecutivos, directivos, directores de departamento y de sección, y el personal técnico y administrativo, hasta los miembros de los círculos de CC (i.e., encargados de taller, trabajadores con dedicación exclusiva, personal de ventas, y trabajadores a tiempo parcial) tienen que participar en la puesta en práctica del control de calidad.
3. El control de calidad se tiene que poner en práctica en conjunto. Para fabricar productos que los consumidores y la sociedad vayan a comprar con alegría, la calidad tiene que ir delante, pero al mismo tiempo, los costes (i.e., precio de venta y beneficio), la entrega (i.e., volumen de producción, volumen de ventas e inventarios), y la seguridad (incluyendo los factores sociales y ambientales) tienen que controlarse en conjunto. Por eso se utiliza el término "control de calidad total" (CCT).



**Figura 1.1: ¿Qué es el CCT?**



El control de calidad por todo el grupo (CCTG) quiere decir control de calidad y control de calidad total puesto en práctica en todo un grupo empresarial, i.e., no sólo dentro de una empresa sino dentro de toda una organización, incluyendo los proveedores y subcontratistas, las organizaciones distribuidoras y las filiales de la empresa.

El control de calidad está relacionado con la garantía de calidad porque el CC consiste en actividades que tratan de garantizar la calidad a los clientes y usuarios finales; en otras palabras, la garantía de calidad es el fin y la esencia del control de calidad.

Actualmente los términos "control de calidad por toda la empresa" y "control de calidad total" se utilizan indistintamente y se definen de idéntica forma en las Normas Industriales Japonesas. En este libro utilizaremos fundamentalmente el término "control de calidad total".

Nota: ¿Qué es el CCT en sentido amplio? (Consultar la Figura 1.1):

Como se explicó anteriormente, el control de calidad total consiste esencialmente en desarrollar, controlar y garantizar la calidad de los productos y servicios. Esto viene indicado en el anillo interno de la Figura. Sin embargo, cuando comprendemos lo que quiere decir buena calidad en términos de productos y servicios, podemos ampliar la definición del CCT y que signifique mejorar la calidad de todo, i.e., crear una empresa de alta calidad, ejecutivos y directores de departamento de alta calidad, departamentos de ventas y de personal de alta calidad, fábricas y laboratorios de alta calidad, personal y supervisores de ventas de alta calidad, proveedores de alta calidad, distribuidores de alta calidad, etc. Esto está representado en el segundo anillo de la Figura. Algunas empresas utilizan el CCT en un sentido más amplio todavía, que significa aplicar rigurosamente los métodos del control de calidad a todo su trabajo (el anillo más externo del diagrama) y seguir el ciclo PHCA<sup>2</sup> (planificar-hacer-comprobar-actuar) (sección 1.5).

Cuando se pone en práctica el CCT, las empresas tienen libertad para elegir el punto de vista desde el que lo vayan a definir, con arreglo a la naturaleza de la empresa y la política de la alta dirección. Esto quiere decir que cuando una empresa introduce el CCT, su alta dirección tiene que anunciar claramente sus fines y su particular definición del mismo cuando lo introduzca. Sin embargo, no se tiene que olvidar la esencia del CCT: el principio de "la calidad es lo primero", la garantía de calidad, y el control de calidad en el desarrollo de nuevos productos. Las actividades de los círculos de CC también comenzaron en 1962 como uno de los aspectos del CCT; en la sección 1.10 se ofrece una explicación más detallada de esto (Figura 1.19).

---

<sup>2</sup>

En inglés, PDCA (Plan-Do-Check-Act). (*N. de los T.*)

### 1.1.2 Algunos malentendidos sobre el Control de Calidad y el Control de Calidad Total

Algunas ideas falsas sobre el CC y el CCT son:

- El CC consiste en hacer más rigurosa la inspección.
- El CC quiere decir elaborar normas.
- El CC consiste en preparar gráficos de control.
- El CC es estadística.
- El CC quiere decir estudiar una cosa difícil.
- El CC se puede dejar en manos de la sección de inspección.
- El CC es una cosa que hace la sección de CC.
- El CC se puede dejar en manos de la fábrica.
- El CC se puede dejar en manos del puesto de trabajo.
- El CC no tiene nada que ver con el departamento de administración.
- El CC cuesta dinero.
- En este momento estamos ganando dinero, así que no necesitamos nada parecido al CC.
- Estamos realizando actividades de los círculos de CC, así que tenemos que estar haciendo el CCT.
- Una campaña de CC consiste en las actividades de los círculos de CC.
- Mientras realicemos actividades de los círculos de CC, lo estamos haciendo bien.
- Nuestra empresa no necesita actividades de los círculos de CC.
- El CC no tiene nada que ver conmigo.

### 1.1.3 Las ventajas del Control de Calidad por toda la empresa

¿Qué ventajas se obtienen cuando una empresa pone en práctica en serio el control de calidad en toda su organización? Las siguientes son algunas de las que ya han sido demostradas en las empresas japonesas:

- Aumenta la calidad (en su sentido estricto) y disminuye el número de productos defectuosos.
- La calidad se hace más uniforme y disminuye el número de reclamaciones.
- La fiabilidad aumenta, mejora la confianza en los productos, y se logra la confianza de los clientes.
- Disminuyen los costes.
- Los productos se pueden vender a precios más altos.

- Se establece un sistema de garantía de calidad y se consigue la confianza de los consumidores y los clientes.
- Se atienden más rápidamente las reclamaciones y se adoptan medidas eficaces para evitar su reaparición.
- Mejoran los costes unitarios y aumenta la productividad y el valor añadido.
- Aumentan los volúmenes de producción y es posible preparar planes de producción racionales.
- Desaparece el trabajo desperdiciado, disminuyen los reprocesos y mejora la eficiencia.
- Se establece la tecnología, se puede emplear la capacidad verdadera de los técnicos y mejora la tecnología. Las formas de emplear a la gente, especialmente a los técnicos, se hacen más racionales.
- Disminuyen los costes de inspección y ensayos.
- Se pueden racionalizar los contratos con los proveedores, subcontratistas y consumidores.
- Se amplían las rutas de ventas.
- Las relaciones y el flujo de información dentro de la organización empresarial se hacen más fluidas.
- Se acelera la investigación y el desarrollo, y éstas se hacen más eficaces.
- Las inversiones en investigación se hacen más racionales.
- Se respeta la naturaleza humana de los empleados, es posible el desarrollo del personal, y los lugares de trabajo se vuelven más alegres.
- Es posible localizar los talentos y las personas pueden ejercer todas sus capacidades.
- Mejoran las relaciones humanas y se derriban las barreras entre departamentos.
- Las personas empiezan a hablar un lenguaje común y a comprenderse mejor unas a otras.
- Se puede racionalizar toda la organización empresarial, y los directores de departamento, los directores de sección, los supervisores y encargados pueden trabajar más eficazmente.
- Se recibe más rápidamente una buena información del mercado.
- Se acelera y mejora el desarrollo de nuevos productos. Se pueden hacer productos de calidad superior.
- Las personas pueden hablar franca y abiertamente.

- Las reuniones son más fluidas.
- La reparación y expansión de la planta y del equipo se pueden hacer racionalmente según prioridades.
- Toda la empresa trabaja junta y se establece un sistema de cooperación.
- Se acelera la toma de decisiones y mejoran el despliegue de la política y la dirección por objetivos.
- Mejora la cultura de la corporación.
- Se confía en la empresa.
- Todos los departamentos comprenden la idea de la dispersión y son capaces de utilizar las técnicas del CC.
- La empresa y sus fábricas dejan de emitir datos falsos.

Además, la introducción del control de calidad total ayuda a racionalizar todos los aspectos de la dirección de la empresa; y se benefician todos, los consumidores, los empleados (incluyendo la alta dirección) y los accionistas.

Como ocurre en muchas otras cosas, hay muchos prejuicios contra el control de calidad, pero la prueba del pudín sigue siendo comérselo. El control de calidad sólo tiene éxito cuando la alta dirección se siente responsable de la calidad de los productos de su empresa y adopta el control de calidad dentro de su política, y todo el mundo -no sólo los directores medios y el personal técnico sino también el personal administrativo y los trabajadores de primera línea, y aún más, los subcontratistas, las organizaciones distribuidoras, las subsidiarias y filiales- se une para ponerlo en práctica. Usualmente, no tendrá éxito si consiste meramente en un puñado de técnicos que estudian estadística en un rincón de la fábrica. Por ello es por lo que la comprensión, el entusiasmo y el liderazgo de la alta dirección, y las acciones que los acompañan, son todos tan importantes.

El requisito previo para que una empresa actúe como una sola unidad en la promoción del control de calidad es mejorar las relaciones humanas, i.e., construir un sistema de cooperación que abarque toda la empresa.

## 1.2 La historia y el estado actual del Control de Calidad

Después del fin de la Segunda Guerra Mundial, el control de calidad moderno sopló como un aire fresco por las asoladas industrias de Japón. Fue una fuerza importante para ayudar a racionalizar la fabricación en el país, y revolucionó las políticas de dirección y las estructuras organizativas de las empresas japonesas.

Las ventajas son obvias. Algunas empresas, en Japón y en el extranjero, ya han obtenido enormes beneficios por medio del control de calidad total y las actividades de los círculos de CC, mientras que innumerables otras han tenido éxito en la reducción de costes y el ahorro de energía. Incluso las empresas de tamaño medio y las pequeñas empresas, con tan sólo quince empleados, están utilizando estos métodos para producir productos de alta calidad a precios incomparables. Ya se ha indicado que los métodos pueden producir buenos resultados en cualquier clase de industria.

Los ejecutivos y técnicos de una empresa afirman a menudo que siempre se han preocupado mucho de la calidad de sus productos y que sus productos son buenos sin tener que molestarse en practicar el CC o el CCT. Sin embargo, es casi seguro que las empresas que sostienen tales afirmaciones serán destruidas por la competencia si sus competidores empiezan a poner en práctica los métodos descritos en las páginas siguientes. La industria japonesa es particularmente vulnerable a los cambios de clima económico y su base directiva es débil. Las empresas que no adopten estos métodos y no racionalicen su dirección probablemente desaparezcan de la escena industrial como resultado del aumento de los costes y de la falta de confianza en sus productos. Espero que todo el mundo preste atención a la siguiente advertencia: *Cualquier empresa que no practique el control de calidad no durará mucho.*

## **(1) Control estadístico de calidad**

Los métodos estadísticos son muy valiosos y se utilizan a menudo en control de calidad. Por esta razón, con frecuencia se llama al control de calidad "control estadístico de calidad" (CEC).

Aunque la estadística es muy útil en el control de calidad, muchas personas que la ven por primera vez -particularmente los directivos y el personal administrativo- sienten aprensión. Sin embargo, si uno comprende las ideas que hay detrás de los métodos estadísticos, su utilización en la práctica es muy sencilla; todo lo que uno necesita es unos conocimientos a nivel de primera enseñanza de la aritmética -sumar, restar, multiplicar y dividir. Aunque la ciencia estadística está avanzando rápidamente y algunos de sus métodos son extremadamente complejos, las "siete herramientas del CC" se utilizan ampliamente en la actualidad en todas las industrias por parte de los supervisores y los trabajadores normales, hombres y mujeres, fijos o a tiempo parcial.

Además de utilizarse para hacer los gráficos de control de procesos, diseñar experimentos y para la inspección por muestreo, la estadística moderna tiene una amplia variedad de usos sociales tales como las encuestas de opinión, los estudios del coste de la vida, los estudios de la producción agrícola, estudios de impuestos, investigación de mercado e investigación operativa,

planificación de la producción, planificación del transporte, control de almacén, control de equipos e investigación de la gestión.

Sin embargo, aunque la estadística es importante, es más importante comprender el enfoque del control de calidad y seguirlo fielmente.

El control de calidad moderno comenzó en Norteamérica en los años treinta como resultado de los avances de la tecnología de las medidas y la aplicación a la industria de los gráficos de control (inventados en 1924 por el Dr. W. A. Shewhart de Bell Telephone Laboratories) y otros métodos estadísticos. El libro clásico de Shewhart *Economic Control of Quality of Manufactured Product* (Control Económico de la Calidad de los Productos Manufacturados) se publicó en 1931, y a continuación se adoptó el control de calidad en el Reino Unido. Siguió desarrollándose en los Estados Unidos y en el Reino Unido, pero sólo se aplicó en serio en todas las industrias cuando era inminente la Segunda Guerra Mundial. Cuando planificaban una mayor producción industrial para prepararse para la guerra, los Estados Unidos se propusieron la producción de productos de buena calidad, baratos y en grandes cantidades. Esto contrastaba mucho con el enfoque acientífico de las autoridades militares y gubernamentales japonesas durante la guerra, quienes dijeron a la industria que aumentara la producción aunque tuviera que hacerlo a un coste más elevado.

Por entonces ya se habían investigado algunas formas extremadamente sencillas de gráficos de control y habían dado buenos resultados cuando se utilizaron en algunas fábricas de los Estados Unidos de Norteamérica. Para que la industria armamentística los adoptara, se promulgaron en forma de normas en 1941 y 1942. Estas fueron las conocidas Normas Norteamericanas de Guerra Z1.1-Z1.3 siguientes:

Z1.1: Guía para el Control de Calidad (1941).

Z1.2: Método del gráfico de control para analizar datos (1941).

Z1.3: Método del gráfico de control para controlar la calidad durante la producción (1942), Asociación Americana de Normalización.

## **(2) El desarrollo del CC en Norteamérica y Europa**

La Sociedad Americana para el Control de Calidad (ASQC) se fundó en 1946. Los gráficos de control fueron usados ampliamente y, en 1958, cuando visité Estados Unidos por primera vez, observé que los tres mil empleados de la planta de Western Electric en Alentown, Pensilvania, estaban utilizando unos cinco mil gráficos, mientras que los cinco mil empleados que trabajaban en las instalaciones de producción de películas en color de Eastman-Kodak habían preparado treinta y cinco mil gráficos (incluyendo los utilizados en la gestión de ventas). Las dos empresas alcanzaron unos resultados notables.

También vi que bancos, líneas aéreas y grandes almacenes empezaban a introducir el control de calidad, y las empresas manufactureras estaban empezando a introducirlo activamente en sus proveedores. Determinada empresa manufacturera empezaba a evolucionar al control de calidad total. Este es un ejemplo de la evolución del control de calidad en su sentido estricto al control de calidad en su sentido amplio.

Mientras tanto, la investigación del CC en Gran Bretaña avanzó rápidamente, como era de esperar del país que dio origen a la estadística moderna. En 1935 se utilizaron artículos sobre el control de calidad de E. S. Pearson *et al*, como base de la Norma Británica BS 600. Más tarde, en la BS 1008 se adoptaron las normas norteamericanas ZI, sin modificación, y se establecieron y siguieron otras muchas normas de CC.

Otros países europeos, incluyendo Francia, Suiza, Checoslovaquia, Suecia, Italia y Alemania Occidental también empezaron a usar los métodos del control estadístico de calidad y comenzaron a poner en práctica en serio el control de calidad en 1963, cuando fueron invitados profesores norteamericanos. La Organización Europea para el Control de Calidad (EOQC) se creó en 1965.

### **(3) La introducción del CC en Japón**

Las normas británicas mencionadas antes ya se habían llevado a Japón antes de la Segunda Guerra Mundial; durante la guerra se publicó una traducción al japonés. La guerra terminó cuando algunos matemáticos estaban estudiando estas normas y se estaba tratando de ponerlas en práctica. Mientras tanto, los especialistas académicos estaban estudiando estadística moderna y su investigación había llegado a unos niveles altísimos. Los métodos, sin embargo, estaban explicados en términos matemáticos, lo que hizo pensar a algunas personas que los métodos debían ser extremadamente difíciles y no se adoptaron de forma generalizada. Después de la guerra se hizo obvio gradualmente que los métodos estaban logrando grandes éxitos en Estados Unidos de Norteamérica. El ejército de ocupación se dio cuenta de que por entonces el sistema de comunicaciones telefónicas de Japón era prácticamente inútil y se propuso que los fabricantes de equipos de comunicaciones de Japón pusieran en práctica el control de calidad con objeto de eliminar los defectos y la falta de uniformidad en la calidad de los equipos. Esto sucedió en mayo de 1946.

Desde antes de la guerra, algunas empresas habían estado utilizando el viejo método de Taylor (considerado moderno por entonces) como método de dirección.

En 1946 se creó la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (JUSE) como organización privada no lucrativa. En 1949, las partes interesadas procedentes de establecimientos académicos, la industria y el gobierno, se reunie-

ron en JUSE y formaron un grupo llamado Grupo de Investigación de Control de Calidad (GICC<sup>3</sup>) con el fin de realizar la investigación y la educación en el control de calidad, y promoverlo en Japón. El Grupo de Investigación de Control de Calidad no tenía ninguna relación con el gobierno; era simplemente un grupo de voluntarios que pensaron en tratar de promover el control de calidad y, por tanto, ayudar a racionalizar las empresas japonesas, mejorar la calidad de los productos japoneses (por entonces "Fabricado en Japón" quería decir "barato y malo") y mejorar las exportaciones. En 1949, JUSE comenzó su primer Curso Básico de CC (BC), un curso de treinta y seis días impartido tres días al mes durante doce meses.

Mientras tanto, en 1950, se instituyó el sistema de marca JIS (Normas Industriales Japonesas) basado en la ley de normalización industrial. Bajo este sistema, las empresas tenían que poner en práctica el control estadístico de calidad y la garantía de calidad con objeto de poder poner la marca JIS en sus productos. Japón puede considerarse afortunado por comenzar a promover la normalización industrial y el control de calidad al mismo tiempo.

En 1950, JUSE invitó al Dr. W. E. Deming, de los Estados Unidos, para que dirigiera un seminario de CC para la alta dirección, los directores de departamento y de sección, y técnicos. Este seminario fue muy instructivo: con los beneficios donados por el Dr. Deming de la venta de las transcripciones del seminario, se inauguró el Premio Deming para el Control de Calidad en 1951. Esta idea ha contribuido enormemente al avance del control de calidad en Japón.

Inicialmente, sin embargo, el control de calidad japonés también padeció varios problemas. El primero fue que se hizo demasiado hincapié en los métodos estadísticos y esto fomentó la errónea impresión de que el control de calidad y el control estadístico de calidad eran difíciles. Segundo, el énfasis en la normalización condujo a la tendencia de que el control de calidad se llevara a cabo sólo formalmente. El tercer problema fue que la alta dirección y los directores de departamento y de sección no estaban muy entusiasmados con el control de calidad.

Para ayudar a resolver estos problemas, el Dr. J. M. Juran fue invitado a Japón en 1954 para que diera un seminario para ejecutivos y directores de departamento y de sección. Por fin, el control de calidad empezó a ser utilizado como una herramienta de gestión. Esto marcó el principio de una transición gradual desde el control estadístico de calidad al control de calidad total, y, a su vez, condujo a la promoción del control de calidad en el que participaban

---

3

En inglés, QCRG -Quality Control Research Group. (*N. de los T.*)



todos los departamentos y todos los empleados -en otras palabras, control de calidad total o por toda la empresa.

Esto exigía la implicación de los puestos de trabajo, y en 1956 se empezó un curso de control de calidad para encargados en la radio japonesa de onda corta. Más adelante se repitió este curso en los canales de radio y televisión de la Japan Broadcasting Corporation. En 1960, JUSE editó una publicación titulada *Shokukumicho no Tame no Hinshitsu Kanri Tekisuto* (Texto de Control de Calidad para Encargados). Luego, en abril de 1962, JUSE lanzó un periódico llamado *Genba to QC* (El CC y el Puesto de Trabajo). Más tarde se cambió el nombre de este periódico a *FQC* (CC para el Encargado) y luego a su nombre actual, *QC Sakuru* (Círculos de CC). Al mismo tiempo, JUSE empezó las actividades de grupos en los puestos de trabajo, con el título de "Círculos de CC". Estas actividades de los círculos de CC empezaron en Japón como parte integrante del CCT y actualmente las están copiando países de todo el mundo.

#### **(4) El control de calidad japonés**

Durante este tiempo, los investigadores y usuarios japoneses del CC empezaron a darse cuenta de que mientras que las disciplinas tales como la física, la química, la ingeniería mecánica y la ingeniería eléctrica son comunes a todos los países del mundo, las disciplinas tales como el control de calidad, que hablan en términos de control y dirección, implican diferencias culturales y factores humanos. Se puso de manifiesto que los métodos norteamericanos y europeos del CC no se podían aplicar a Japón sin modificación, y que tendría que desarrollarse una forma japonesa para el control de calidad adecuada al uso de ese país.

La Tabla 1.1 enumera algunas de las diferencias importantes culturales y sociales entre Japón y Occidente. El control de calidad total practicado hoy en Japón fue desarrollado promocionando un estilo japonés de control de calidad que tuvo en cuenta esas diferencias.

En el simposio de CC celebrado en Hakone, Japón, en 1968, se diferenció el estilo japonés del control de calidad del practicado en Occidente. Se identificaron las seis características siguientes, algunas ventajosas y otras no tanto:

1. CCT: CC con la participación de todos los departamentos y la implicación de todos los empleados; control de calidad total.
2. Entusiasmo por la educación y formación en CC.
3. Actividades de los círculos de CC.
4. Auditorías de CC: el Premio de Aplicación Deming y las auditorías del presidente de la empresa.
5. Uso de métodos estadísticos: difusión de las Siete Herramientas del CC y uso de métodos avanzados.

6. Campañas nacionales de promoción del CC: Mes de la Calidad, diversos simposios sobre CC, Central de Círculos de CC.

**Tabla 1.1: Algunas diferencias culturales entre Japón y Occidente**

|  | Occidente                        | Japón                            |
|--|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Profesionalidad                                     | Fuerte                           | Débil                            |
| 2. Organización  | Papel fuerte del <i>staff</i>    | "Sociedad vertical"              |
| 3. Sindicatos  | Fundamentalmente                 | Fundamentalmente                 |
| 4. El sistema de Taylor                                | industriales                     | empresariales                    |
| 5. Elitismo de licenciados                             | Predominante                     | Raro                             |
| 6. Sistema salarial                                    | Fuerte                           | No tan fuerte                    |
| 7. Cambios de trabajo                                  | Por méritos                      | Por antigüedad                   |
|  | Muchos (despidos por corrientes) | Pocos (empleo para toda la vida) |
| 8. Sistema de escritura                                | Fonético                         | Pictórico (ideográfico)          |
| 9. Nivel educativo                                     | Depende del país                 | Muy alto                         |
| 10. Características étnicas                            | Varias razas                     | Raza única                       |
| 11. Religión   | Judeo-cristiana                  | Budismo, Confucionismo           |
| 12. Relación con subcontratistas/porcentaje de compras | Adversa/50%-60%                  | Amistosa/70%                     |
| 13. Capitalismo  | Anticuado                        | Democrático                      |
| 14. Control gubernamental                              | Depende del país                 | No muy fuerte                    |

Durante este periodo de tiempo, el "mercado de vendedores" de la posguerra, en que había escasez de provisiones de todos los bienes, se convirtió en un mercado de compradores. Conforme seguía creciendo la industria japonesa, las políticas gubernamentales de liberalización del comercio, introducidas en 1960, hicieron aún más importante el control de calidad. Inventamos el lema "Liberalización Comercial por medio del CC" e iniciamos actividades que habían sido diseñadas para ayudar a las empresas a hacer frente a la liberalización comercial, fabricando productos de una calidad suficientemente alta y a un coste suficientemente bajo para hacerlos apropiados a la exportación. Esta campaña tuvo éxito hasta el punto de que ahora Japón puede fabricar productos de una calidad superior al resto del mundo, capaces de ser exportados a todo el globo.

El estilo japonés del CCT siguió evolucionando; en 1987 se identificaron las diez características siguientes:

1. Actividades de CC con la participación de todos los departamentos y la implicación de todos los empleados, dirigidos por la alta dirección.
2. Amplia aceptación del principio de que la calidad es lo primero.
3. Despliegue de políticas y dirección por políticas.
4. Auditoría de CC y su aplicación.

5. Ampliación de los programas de garantía de calidad de planificación y desarrollo a ventas y servicio.
6. Actividades de los círculos de CC.
7. Educación y formación en CC.
8. Desarrollo y aplicación de los métodos del CC.
9. Ampliación del CC de la industria manufacturera a otras industrias.
10. Campañas nacionales de promoción del CC.

La Sociedad Japonesa para el Control de Calidad (JSQC), cuya creación había sido tratada desde 1950, se estableció finalmente en 1970. Mientras que la Sociedad Americana para el Control de Calidad es una asociación profesional, la JSQC es académica.

El control de calidad no es una manía pasajera. Mientras una empresa esté vendiendo productos o servicios, tiene que seguir controlando la calidad. Sigo repitiendo el axioma de que *el control de calidad total consiste en hacer lo que se debe hacer como cosa normal*. Además, *el CCT no es un medicamento de acción rápida como la penicilina, sino un remedio natural que actúa lentamente y que mejorará gradualmente la constitución de una empresa si se toma durante un periodo largo de tiempo*. Control de calidad quiere decir hacer lo que se debe hacer en todas las industrias, y Japón ya ha demostrado que ponerlo en práctica da resultados notables.

Algunas personas dicen que no hay manera en que se pueda aplicar el control de calidad a su empresa particular o fábrica, pero es porque no comprenden el verdadero sentido del control de calidad. Como se indicó anteriormente, el CC se ha aplicado ya en todas las industrias japonesas, no sólo de fabricación sino también en la industria de la construcción y en muchas industrias de servicios, y se han comprobado ampliamente las ventajas y el potencial de su aplicación.

La cuestión no es si el control de calidad se puede aplicar o no a una empresa particular, sino si esa empresa tiene la voluntad y la capacidad para aplicarlo. Las excusas tales como "Todavía estamos en la etapa previa al CC" sencillamente no valen. No discutamos sobre las razones de por qué no es posible practicar el control de calidad y pensemos positivamente y resolvamos cómo *podemos* ponerlo en práctica.

Recientemente otros muchos países se han dado cuenta de que los métodos del CC japonés son buenos y muchas empresas los están aplicando con las modificaciones adecuadas a sus propias situaciones.

## 1.3 Los avances en la Garantía de Calidad

*La esencia del CCT es la garantía de calidad.*

La calidad se puede garantizar por medio de varios métodos, algunos de los cuales se enumeran más abajo:

1. Por medio de la inspección (inspección del cien por cien, inspección por muestreo, inspección de verificación, inspección itinerante o inspección autónoma).
2. Por medio del proceso (control del proceso, investigación de la capacidad del proceso, y control autónomo).
3. Durante el desarrollo de nuevos productos.

Se tiene que tener un cuidado especial para poner en práctica convenientemente los puntos 2 y 3 anteriores, con objeto de garantizar la fiabilidad, que es una parte integrante de la garantía de calidad.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los métodos de garantía de calidad (ver también las secciones 1.6.1 y 1.6.2 y el Capítulo 6) avanzaron según se describe a continuación<sup>4</sup>:

### (1) Garantía de Calidad orientada a la inspección

Si un proceso produce productos defectuosos, éstos se tienen que eliminar por medio de una inspección cuidadosa, pero todavía hay algunas empresas que no practican la inspección final antes de la expedición aunque haya productos defectuosos. Estaríamos perfectamente justificados si acusáramos a tales empresas de vivir en la Edad de las Tinieblas anterior al advenimiento de la garantía de calidad. Organizaciones sin escrúpulos como éstas están totalmente al margen de la sociedad.

Históricamente, la garantía de calidad comenzó con la institución de la inspección rigurosa, y las personas que no saben nada del control de calidad todavía creen equivocadamente que consiste en hacer más estrictos los procedimientos de inspección. Este enfoque, sin embargo, tiene muchas desventajas, algunas de las cuales se enumeran a continuación:

1. El proceso de inspección nunca es perfecto y nunca puede alcanzarse el objetivo de cero defectos, incluso con una inspección del cien por cien.

<sup>4</sup>

Ver *Hinshitsu (Revista de Calidad de la JSQC)*, Vol 10 (1980), n° 4, pp. 205-213, o Ishikawa: *Nihonteki Hinshitsu Kanri* ("¿Qué es el Control de Calidad? La modalidad japonesa". Edición en castellano, Editorial Norma, 1986), Capítulo 4, sección 4.

2. El personal de inspección es mano de obra superflua que reduce la productividad.
3. Cuando hay inspección, el personal del departamento de producción tiende a pensar que es suficiente con conseguir que los productos pasen. *Pero la responsabilidad de la garantía de calidad reside realmente en el productor y en el departamento de producción.*
4. Los datos del departamento de inspección a menudo no están estratificados y se retroalimentan demasiado despacio. Estos datos no sirven para el control del proceso y el análisis.
5. La inspección por muestreo estadístico no puede garantizar fracciones de unidades defectuosas del orden de 0,01 % o de partes por millón.
6. Muchos artículos no se pueden garantizar con la inspección; no se pueden ensayar todos los montajes complejos y los materiales, y no se pueden realizar los ensayos destructivos y de fiabilidad en todos los productos.
7. Incluso cuando se detectan todas las unidades defectuosas y todos los defectos, esto sólo provoca un aumento de los desechos, los reprocesos y horas-hombre gastadas en los ajustes.
8. El aumento de la velocidad de producción significa que hay que automatizar el proceso de inspección.
9. Si hay inspección quiere decir que el control de calidad tiende a dejarse en manos del departamento de inspección.

Por supuesto que la inspección se tiene que llevar a cabo mientras un proceso produzca unidades defectuosas, pero el control de calidad que depende únicamente de la inspección da una garantía de calidad imperfecta y eleva los costes.

## **(2) Garantía de calidad orientada al control del proceso**

Inmediatamente después de que se empezó la promoción del CC en Japón en 1949, la industria entró en una segunda fase, la garantía de calidad orientada al control del proceso, según la cual trataba de producir productos no defectuosos por medio del control estricto de los procesos. El lema "Introduzca la calidad durante el proceso" apareció entonces. Al mejorar la calidad, disminuyó el número de unidades defectuosas y otros problemas, y mejoraron la productividad y la fiabilidad. Sin embargo, el control del proceso no puede por sí mismo dar una garantía de calidad satisfactoria; por mucho que se controle un proceso, es imposible garantizar la calidad o la fiabilidad (en un sentido más amplio) de un producto que esté mal diseñado o de un producto fabricado con materiales mal elegidos.

### **(3) Garantía de calidad orientada al desarrollo de nuevos productos (ver la sección 1.6.2)**

A causa de las limitaciones de la garantía de calidad orientada al control del proceso, en la segunda mitad de los años cincuenta la industria japonesa entró en una tercera fase en la cual trató de poner en práctica la garantía de calidad durante el desarrollo de los nuevos productos. El lema ahora se convirtió en "Incorporar la calidad durante el diseño y el proceso". En otras palabras, la industria empezó a incorporar la calidad a sus productos haciendo una evaluación cuidadosa en todas las etapas del desarrollo del producto, desde la planificación de un nuevo producto pasando por el diseño, hasta la fabricación piloto, y haciendo uso del enfoque del CC para investigar la fiabilidad en su sentido amplio. Este enfoque hace necesario que todos los empleados de todos los departamentos participen en la puesta en práctica del control de calidad y la garantía de calidad.

Esto encajaba bien en el control de calidad total, que se había desarrollado como consecuencia de los diferentes antecedentes sociales en Japón y en Occidente, y se alcanzaron excelentes resultados. Ya que estos esfuerzos han continuado durante tanto tiempo, muchos de los productos japoneses son ahora los mejores del mundo y se exportan a todo el globo, a unos precios razonables.

Por supuesto que aunque se practique la garantía de calidad orientada al desarrollo de nuevos productos, el control del proceso es todavía indispensable, y aún se tiene que hacer la inspección para detectar y eliminar las unidades defectuosas y los defectos.

## **1.4 ¿Qué es la calidad?**

Para comprender la filosofía del control estadístico de la calidad (CEC), quizás sea mejor dividir este término en las partes que lo componen y aclarar cada una antes de unirlas y considerar el término en conjunto. Empezaré por explicar el significado de la palabra calidad.

En Japón, "calidad" se traduce por "hinshitsu", una palabra escrita con dos caracteres chinos, una que quiere decir "bienes" y otra que quiere decir "calidad". Creo que es una excelente interpretación. Cuando fui a los Estados Unidos en 1958 para estudiar el control de calidad, vi que incluso allí la interpretación de la palabra "calidad" difería de una empresa a otra. Por ejemplo, control de calidad en el programa del CC del Bank of América quería decir controlar la calidad de las sucursales, los prestatarios y la elaboración de las políticas; mientras que United Airlines, una industria de servicios, estaba dirigiendo un programa excelente de control estadístico de calidad basado en la interpretación de la calidad como calidad del servicio. Empresas como Bell

Systems y General Electric estaban poniendo en práctica el control de calidad desde la etapa de diseño hasta el uso del producto por el consumidor.

Así pues, en control de calidad, el significado de la palabra "calidad" no tiene que estar restringido a la calidad del producto sino que se puede utilizar para la calidad en general, incluyendo la calidad de la dirección, y en Japón estamos asistiendo a la afortunada promoción de este sentido más amplio del control de calidad. Sin embargo, cuando empezábamos a promover el control de calidad en Japón, con su escasez de recursos naturales y la necesidad de sobrevivir por medio del comercio, utilicé la calidad en el sentido de "calidad del producto", y aún más, "la calidad que las personas comprarán con satisfacción".

El significado de calidad también puede ser diferente de un producto a otro, de los bienes de consumo generales y duraderos a los materiales industriales y otros materiales de fabricación, pero en realidad hay muy pocas diferencias básicas, cualquiera que sea el tipo de producto o industria.

Así pues, aunque el tipo de calidad explicado en este libro es principalmente el de los productos industriales ("calidad dura"), la calidad en las industrias de servicios ("calidad blanda") puede considerarse como una ampliación de aquel. Los enfoques de la calidad explicados más abajo se pueden aplicar con muy pocas modificaciones, tanto a las industrias manufactureras como a las terciarias (i.e., de servicios). Al principio, el uso de la palabra "hinshitsu" para la calidad de los servicios así como para la calidad de los bienes parecía extraño, pero ahora está muy extendido el control de calidad total y muchas industrias de servicios están poniendo en práctica programas de CCT. Hoy día, en Japón, "hinshitsu kanri" quiere decir controlar la calidad de productos y de servicios.

### 1.4.1 La calidad que satisface al cliente

Hablar de hacer productos de buena calidad se interpreta a veces equivocadamente como hacer productos de la mejor calidad posible. Sin embargo, cuando hablamos de calidad en control de calidad, estamos hablando de diseñar, fabricar y vender productos con una calidad que satisfaga realmente al consumidor cuando los use. En otras palabras, "buena calidad" quiere decir la mejor calidad que una empresa puede producir con su tecnología de producción y capacidades de proceso actuales, y que satisfará las necesidades de los clientes, en función de factores tales como el coste y el uso previsto.

*Ejemplo 1:* ¿Qué preferiría comprar usted, la mejor de las cámaras fotográficas, que cuesta mil dólares, o una cámara fotográfica corriente, que cuesta doscientos dólares y que es perfectamente adecuada para sacar fotos familiares?

*Ejemplo 2:* ¿Qué compraría usted, un periódico impreso en un papel de calidad superior, que costara diez dólares, o el mismo periódico impreso en papel de periódico corriente que costara cincuenta centavos?

Tal como sugieren los ejemplos anteriores, las personas no comprarán productos que estén fuera de su alcance, independientemente de lo buena que la calidad (en su sentido limitado) pueda ser; y al revés, no comprará un producto que no haga lo que tiene que hacer (como una cámara fotográfica que sólo saque fotos borrosas), independientemente de lo barata que sea. Compramos artículos adecuados a nuestros propósitos y nuestros ingresos. En los actuales mercados de consumidores, diversificados y polarizados, ésta es una consideración importante durante las etapas de la planificación de un nuevo producto, del diseño de calidad, del desarrollo del nuevo producto y la selección de temas de investigación, ya que aquí es cuando decidimos qué productos hacer y a qué sector del mercado van destinados.

Algunas empresas manufactureras y comerciales se agarran a actitudes comerciales anticuadas, actuando como si todavía estuviesen operando bajo el sistema de racionamiento de la guerra, cuando se podía vender cualquier cosa que se fabricara. Tales organizaciones, que creen que están haciendo lo que deben si de cualquier modo se las arreglan para engañar a la gente y hacer que compre sus productos, se han quedado atrás en la marcha de la civilización y no están a la altura de la era democrática presente. Cuando consideramos a nuestras empresas desde una perspectiva a largo plazo y consideramos su supervivencia y su utilidad para la comunidad, está claro que lo menos que deben hacer es pasar del viejo modo de ver las cosas, como "mercado de vendedores" (el enfoque "salida de producto"), a la filosofía del mercado del comprador (el enfoque "entrada en el mercado"), orientado al consumidor.

## **(1) Los cuatro aspectos de la calidad**

Queremos producir buena calidad para el consumidor; por tanto, tenemos que decidir por adelantado qué calidad de producto planificar, producir y vender. Para ello tenemos que considerar los cuatro aspectos siguientes de la calidad y planificarla, diseñarla y controlarla globalmente.

- 1) C (calidad): características de calidad en su sentido estricto.  
Comportamiento, pureza, resistencia, dimensiones, tolerancias, aspecto, fiabilidad, duración, fracción de unidades defectuosas, fracción de re-procesos, índice de unidades sin ajuste, método de empaquetado, etc.
- 2) C (coste): características relacionadas con el coste y el precio (i.e., el beneficio); control de costes y control de beneficios.



Rendimiento, coste unitario, pérdidas, productividad, costes de las materias primas, costes de producción, fracción de unidades defectuosas, defectos, sobrellenado, precio de coste, precio de venta, beneficio, etc.

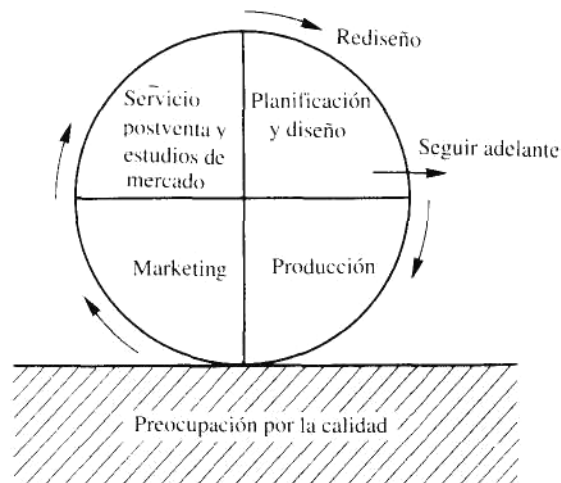
- 3) E (entrega): características relacionadas con las cantidades y los tiempos de espera (control de cantidades).

Volumen de producción, volumen de ventas, pérdidas por cambios, inventario, consumo, tiempos de espera, cambios en los planes de producción, etc. El control de calidad es imposible sin datos numéricos.

- 4) S (servicio): problemas que surgen después de haber expedido los productos; características de los productos que requieren seguimiento.

Características de seguridad y ambientales, fiabilidad de los productos (FP), prevención de la fiabilidad del producto (PFP), periodo de compensación, periodo de garantía, servicio ante y post-venta, intercambiabilidad de piezas, recambios, facilidad de reparación, manuales de instrucciones, métodos de inspección y mantenimiento, método de empaquetado, etc.

Cuando los productos van acompañados de un buen servicio post-venta, tienen una calidad fiable y tienen una buena compatibilidad y larga duración con poca dispersión, es probable que el consumidor los compre con confianza. Por el contrario, el consumidor no estará convencido de comprar productos de corta duración y mala fiabilidad, en los que algo va mal unos pocos días o unos pocos meses después de la compra. También es probable que disminuya



**Figura 1.2: La filosofía del Control de Calidad: el ciclo de Deming.**

el número de reclamaciones de un producto si los manuales de instrucciones se redactan de forma suficientemente clara para que lo entiendan los usuarios aficionados o los niños. Los clientes no se molestarán en leer los manuales de instrucciones que son jactanciosos o tan complejos que sólo los especialistas los pueden descifrar. ¿Recibe quejas su empresa debidas al mal funcionamiento porque los clientes utilizan el producto de manera incorrecta? ¿Contienen sus manuales de instrucciones advertencias que explican condiciones o métodos de uso inadecuados? ¿Se están rompiendo o dañando sus productos, o se está reduciendo su duración debido a unos malos métodos de empaquetado y transporte? El empaquetado también es una calidad importante, pero ¿está prestando demasiada atención al diseño visual de sus productos y no la suficiente a su calidad real?

## **(2) Reclamaciones**

También es importante la investigación de mercado y cómo se manejan las reclamaciones. Es fácil olvidarse de un producto una vez se ha vendido, pero si una empresa quiere fabricar productos que gusten a los clientes, tiene que descubrir qué piensan los clientes de los productos, comparados con los de la competencia, después que los han comprado.

A menudo, las reclamaciones implican dinero; por ejemplo, los clientes pueden exigir una compensación económica o la sustitución de los productos si se rompe un producto o no cumple los términos de un contrato de compra. Por esta razón, el personal de ventas tiende a adoptar la actitud de que manejar las reclamaciones quiere decir devolver parte del precio de compra o cambiar el producto defectuoso por otro nuevo. Sin embargo, el estilo japonés del control de calidad se preocupa no sólo de las reclamaciones acompañadas de la exigencia de una compensación sino de todos los tipos de insatisfacción de los clientes. En este libro, el término "reclamación" se utiliza no sólo para las reclamaciones reales de compensaciones sino también para las que no van acompañadas de la exigencia de una compensación.

Las empresas anticuadas solían ocultar las reclamaciones todo lo que podían, pero las empresas que practican el control de calidad hacen exactamente lo contrario; ven toda la información que pueden recoger sobre las reclamaciones e insatisfacciones (i.e., reclamaciones latentes y reales), cuántas reclamaciones e insatisfacciones latentes pueden sacar a la luz y lo bien que pueden escuchar a sus clientes. Cuando una empresa empieza a practicar el control de calidad, usualmente las insatisfacciones salen a la superficie y aumenta espectacularmente el número de reclamaciones (ver la sección 4.3.4). Esta es una de las tareas del CC más importantes del departamento de ventas.

En la sección 6.14 se trata con más detalle el manejo de las reclamaciones, pero se tiene que tener en cuenta los dos aspectos más importantes siguientes:

- (a) Acciones externas - satisfacer al cliente. Rapidez, sinceridad, prevención de que no se repitan.
- (b) Acciones internas - prevención de que no se repitan, contabilidad, disposición de las devoluciones.

Si se da prioridad a la prevención de que no se repitan (ver la sección 1.5.3), la calidad de los productos de la empresa crecerá gradualmente en términos de satisfacer los requisitos del cliente. En otras palabras, el proceso consiste en volver a diseñar la calidad de los productos, informando de la información obtenida en la investigación de mercado y haciendo uso de dicha información, y el manejo de las reclamaciones, mejorar el control del proceso y los métodos de inspección y mejorar la calidad dando vueltas continuamente alrededor del ciclo de control (el Ciclo de Deming). Si no se hace esto, todo el personal -sea de diseño, técnico, obrero, de inspección u otro- estará satisfecho de sí mismo; se concentrará en las características de calidad que no conciernen realmente a los usuarios mientras sigue ignorando las características que realmente están causando problemas a los usuarios. En consecuencia, sus productos se irán haciendo invendibles gradualmente.

### **(3) El Ciclo de Deming**

Enfocar los cuatro aspectos de la calidad (calidad, coste, entrega y servicio) globalmente es especialmente importante durante la planificación de un nuevo producto y el diseño de la calidad. Como indica la Figura 1.2, el primer paso es decidir la calidad del producto a fabricar y establecer las normas técnicas iniciales y otras normas que especifiquen cómo se va a repartir el trabajo entre las diferentes partes de la organización, y cómo se va a realizar. Luego se fabrica el producto según las normas y se introduce en el mercado. A continuación se realizan estudios para determinar lo que los clientes piensan del producto y qué otros requisitos pueden cumplir. La información obtenida se utiliza luego para revisar la calidad y las normas, y se continúa la producción mientras la calidad va mejorando continuamente.

La eficacia del ciclo del control de calidad está determinada por el paso más débil. De este modo, basándose en una filosofía sólida de la dirección y en una actitud responsable hacia la calidad, es posible seguir produciendo lo que quieren los clientes, mejorar continuamente y seguir adelante paso a paso. Desde cierto punto de vista, ésta es la idea fundamental del control de calidad. Ya que este enfoque fue introducido en Japón por el Dr. Deming en 1950, también se le conoce en Japón como el Ciclo de Deming. Sin embargo, el pro-

pió Dr. Deming dijo que fue idea del Dr. Shewhart y que el diagrama debería llamarse Ciclo de Shewhart.

#### **(4) El proceso siguiente es su cliente**

Antes, cuando surgía un problema en una empresa, las personas trataban de ocultar o de encubrir su propia responsabilidad y culpar a otro. Con este enfoque jamás se pueden resolver los problemas.

Hasta el momento he estado hablando de empresas individuales, pero lo que he dicho sirve igualmente para los departamentos individuales dentro de una empresa y para las secciones individuales dentro de una fábrica. Siempre que haya procesos dentro de una empresa, cada proceso es el consumidor o el cliente del proceso anterior, mientras que el proceso anterior es el productor. Si las personas responsables de cada proceso consideran que el proceso siguiente es su cliente, escuchan atentamente sus requisitos y están dispuestos a discutirlos sinceramente, entonces los problemas del regionalismo desaparecerán de la empresa.

Por ejemplo, en una fábrica siderúrgica, la sección de fabricación del acero es el proveedor de la sección de laminado y el cliente de la sección de fabricación de hierro. Por tanto, es responsable de suministrar un producto con una calidad que satisfaga el siguiente proceso, la sección de laminado. Esto quiere decir que la sección de fabricación de acero tiene que ordenar una investigación estadística para determinar el efecto de la calidad del acero sobre los productos producidos por la sección de laminado, tiene que visitar esta sección y escuchar abiertamente sus requisitos, y tiene que discutir cómo se pueden satisfacer esos requisitos. La sección de fabricación del acero también es responsable de explicar claramente su propio proceso al proceso anterior (las secciones de fabricación de hierro y de chatarra), descubriendo cómo afectan la fundición bruta y la chatarra al acero, determinando normas racionales de calidad, explicando los resultados y pidiendo cosas razonables.

Los requisitos de calidad pasados entre procesos tienen, por supuesto, que tener en cuenta los factores del coste y las condiciones técnicas.

En muchas de las fábricas japonesas solía ser corriente que los que estaban a cargo de un proceso no tuviesen una idea clara de la clase de calidad que deberían pedir al proceso anterior. Aunque lo supieran, sus demandas eran o demasiado estrictas o demasiado laxas, y el resultado era que los trabajadores de diferentes procesos o bien se peleaban abiertamente o murmuraban unos de otros a sus espaldas. Esta clase de problemas desaparece cuando las personas que están a cargo de diferentes procesos pueden investigar lo que sucede después de que los productos pasen al proceso siguiente, se relacionan entre sí estrechamente y trabajan como si fueran un equipo. Los distintos procesos de

una fábrica empiezan a cooperar mejor, se derriban las barreras y el trabajo avanza con mayor fluidez.

Cuando se mira de este modo, toda la serie de operaciones, desde el servicio post-venta, la distribución y ventas y marketing, pasando por el almacenamiento del producto, el empaquetado, la producción, el almacenamiento de las materias primas, el diseño, investigación y desarrollo, y el aprovisionamiento, hasta los proveedores, caerá dentro del dominio del control de calidad y será el deber de todo el mundo identificar y controlar con exactitud los niveles de calidad dentro de su propia área de responsabilidad.

Cuando miramos los deberes de la oficina central de una empresa y del *staff* de dirección de la fábrica, vemos que aproximadamente un tercio de su trabajo es trabajo general de *staff*, mientras que los dos tercios restantes implican la provisión de servicios a los departamentos de línea (diseño, compras, producción, ventas, etc.). Los departamentos de *staff* deben, por tanto, actuar como departamentos de servicio que sirven a los departamentos de línea, que son sus "procesos siguientes" y, por tanto, su cliente.

Si todas las personas de la empresa, desde el presidente hasta el operario de base, de todos los departamentos, desde ventas a compras, en la línea de producción y en los departamentos de *staff*, desarrollan una conciencia sobre la calidad como la descrita más arriba, identifican a sus clientes dentro de la empresa, consideran cómo satisfacer sus necesidades y actúan para alcanzar este fin, se derribará el regionalismo. Esto no hará más que mejorar la calidad y se habrán puesto los fundamentos del control de calidad.

## **(5) CC = dirección de las empresas**

Como se ha explicado más arriba, el control de calidad en sentido amplio es un aspecto de la dirección de las empresas. Después de la Segunda Guerra Mundial se introdujeron en las empresas diversos métodos de dirección bajo el nombre de ciencia de la dirección, pero sólo se adoptaron poco a poco. Cuando se introdujo el control de calidad moderno en Japón, entre 1948 y 1950, la interpretación norteamericana del mismo era limitada; cuando trajimos el control de calidad a Japón, le dimos un sentido mucho más amplio. Con objeto de hacer un uso mucho más general de los métodos científicos de dirección que se habían introducido esporádicamente en la industria japonesa (que todavía no tenía una base gerencial fiable), adoptamos la postura de que el control de calidad era una forma de dirigir las empresas y dimos prioridad a la puesta en práctica global de los cuatro enfoques descritos más arriba. Se promovieron el control estadístico de la calidad, el control de calidad total y las actividades de los círculos de CC como medio de mejorar la salud y el carácter de las empresas.

Al principio hubo alguna oposición, pero las empresas en las que el control de calidad va bien son aquellas que lo introdujeron de esta forma global. Y recientemente países de todo el mundo, no sólo en Norteamérica y Europa, están empezando a adoptar el CCT, el CCTE y las actividades de los círculos de CC al estilo japonés. Para que sea eficaz, el control tiene que ser global.

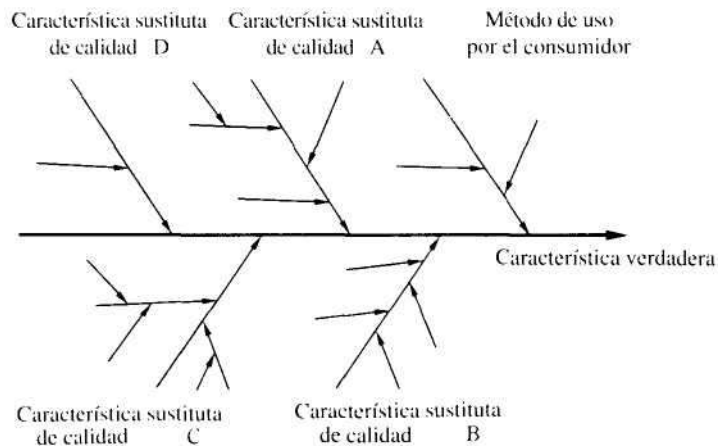
## 1.4.2 Características verdaderas de calidad y características sustitutas; investigación de los productos

*Ejemplo 1:* El número de reclamaciones recibidas por la Empresa A se redujeron a la mitad después de que el personal de ventas empezara a preguntar lo siguiente al recibir los pedidos:

Estas son las especificaciones de nuestro producto. ¿Cómo va usted a usar el producto y con qué objeto? ¿Hay otras características que le gustaría a usted que tuviera, además de las de las especificaciones?

*Ejemplo 2:* En la Empresa B, una empresa de productos químicos, era muy difícil utilizar algunos lotes de materias primas, aunque todos los lotes daban los mismos resultados en los análisis y tenían la misma pureza.

*Ejemplo 3:* Cierta fabricante de papel vio que los clientes se quejaban a menudo de que los rollos de papel de periódico se rompían en



**Figura 1.3: La relación entre las características verdaderas de la calidad y las características sustitutas: análisis de la calidad**

las prensas rotativas aun cuando todas las características del papel cumplieran las normas JIS. A veces no se recibía ninguna reclamación aun cuando algunas de las características del papel no estaban a la altura de las normas.

*Ejemplo 4:* ¿Son defectuosos algunos productos aunque cumplan las tolerancias de fabricación, mientras que otros no lo son aunque no cumplan las tolerancias?

En todos los ejemplos anteriores, las características y los valores especificados en los llamados estándares del producto, estándares de las materias primas, y tolerancias, son características sustitutas que no concuerdan con las características verdaderas exigidas realmente por los consumidores. Sus valores también se deciden a ojo.

El ejemplo de los rollos de papel de periódico indica que una de las características verdaderas de calidad exigida por los clientes es que el papel no se rompa en las prensas. Las características sustitutas tales como la fuerza tensil son los factores causales que hay detrás de las características verdaderas. Cuando se muestran en un diagrama de causa y efecto, la relación aparece como en la Figura 1.3.

Las características verdaderas de calidad deben expresarse inicialmente con las propias palabras del cliente, no en el lenguaje de los técnicos.

*Ejemplo 1:* Rollos de papel de periódico: "El papel no se debe romper durante la impresión, la tinta no debe traspasar a la parte de detrás", etc.

*Ejemplo 2:* Coches: "Modelo bonito, de fácil manejo, buena aceleración, cómodo, consumo económico de carburante, buena estabilidad a velocidades elevadas, no se romperá", etc.

Si no identificamos las características verdaderas pedidas por los clientes y usamos métodos técnicos y estadísticos para determinar sus relaciones con las características sustitutas, podemos esperar recibir reclamaciones, independientemente de lo bien que estén atendidas las características sustitutas en los planos del diseño y lo bien expresadas que estén en estándares del producto, e independientemente de lo estrictos que sean los procedimientos de inspección. A veces se utilizan palabras tales como "comportamiento" o "función" en vez del término "característica verdadera", pero el término "característica verdadera" tiene un sentido más amplio que cualquiera de los otros dos. Muchos estándares convencionales de productos tampoco especifican la fiabilidad. Sin embargo, a menudo es difícil o imposible hacer la inspección basándose en las características verdaderas y es, por tanto, necesario identificar las características sustitutas que están íntimamente relacionadas

con las características verdaderas y les afectan significativamente, y descubrir cómo están relacionadas con factores tales como la forma en que se usan los productos. Este proceso se llama "análisis de la calidad" o "despliegue de la calidad". Con este fin, es necesario determinar lo siguiente:

1. Cómo usa el producto el cliente y cómo se debe usar.
2. La relación entre las características verdaderas y las sustituías durante el uso.

Aquí llamaremos a esto análisis de la calidad, o investigación del producto en su sentido más amplio. Las empresas norteamericanas dedican mucho esfuerzo a la investigación del producto y son buenas en el control de calidad aunque no tengan ningún conocimiento en absoluto del control estadístico de calidad. El control de calidad en Japón solía ser lo contrario: muchas empresas estaban muy atrasadas en la investigación del producto y no estaban poniendo en práctica el control de calidad aunque tenían unos buenos conocimientos de los métodos estadísticos. Esto quería decir que la planificación y el diseño de la calidad estaban al capricho de los diseñadores o los directores de la empresa, y la inspección se hacía porque sí, no desde el punto de vista del consumidor. Para mejorar este estado de cosas, se tiene que dedicar más esfuerzo al análisis del producto y a la investigación del producto, no sólo a la investigación de la producción. También hace falta investigar más junto con los clientes.

### 1.4.3 El análisis de la calidad y la investigación de los productos

Identificar sin más las verdaderas características de calidad de un producto no hace posible el diseño de la calidad, el control del proceso, la inspección o la garantía de calidad. Las verdaderas características de calidad también tienen que analizarse sucesivamente y pasarlas a características sustituías expresadas en el lenguaje específico de la ingeniería por medio del uso de herramientas tales como el diagrama de causa y efecto (ver la Figura 1.3) y la tabla del despliegue de la calidad. Este "análisis de la calidad" hace practicable el diseño, el control del proceso y la garantía de calidad. Hacer el análisis de la calidad usando los diagramas de causa y efecto y las tablas del despliegue de la calidad para aclarar la calidad de las características sustituías es, indudablemente, importante, pero no hacer nada más que dibujar los gráficos y las tablas es tremendamente arriesgado. Igual que con el análisis del proceso, todo se tiene que *verificar con los hechos*. Las cosas importantes aquí son la investigación del producto y el ensayo de los productos piloto. Si no se obtiene esta clase de confirmación experimental, se pasarán por alto algunas características



sustituías necesarias mientras que otras innecesarias se especificarán rigurosamente.

La investigación del producto requiere usualmente mucho dinero y tiempo, pero es una parte indispensable del control de calidad. Las empresas que practican eficazmente el control de calidad al estilo japonés han alcanzado muchos éxitos preparando acuerdos con los usuarios para realizar los ensayos conjuntos de los productos.

#### **1.4.4 Aclaración de las definiciones concernientes a la calidad**

Aun cuando se hayan determinado las características verdaderas y sustituyas de la calidad por medio de este tipo de análisis de la calidad, todavía quedan problemas en cuanto a la decisión de su significado, el grado de importancia y su valor numérico. En sentido más estricto, podemos decir que en la actualidad muchas fábricas están produciendo productos sin saber lo que están tratando de hacer.

Desde este punto de vista, normas tales como las Normas Industriales Japonesas, las normas nacionales de otros países y las internacionales como las ISO e IEC contienen muchas irracionalidades. Así pues, aunque tenemos que utilizar de referencia tales normas, debemos tener presente que la fabricación según estas normas está intrínsecamente cargada de irracionalidad.

##### **(1) Unidades de garantía**

Con los artículos tales como las bombillas o los televisores que se facturan como unidades separadas, el cliente está contento si la calidad de cada unidad es satisfactoria. Sin embargo, cuando se trata de la resistencia, la composición y otras propiedades de productos continuos tales como un cable eléctrico, un hilo, tejidos, papel o chapa de acero, la composición de productos químicos o minerales, o las propiedades de polvos y materiales en bruto, es necesario especificar la cantidad unitaria sobre la que se basa la calidad. Si esta cantidad unitaria (llamada "unidad de garantía") no está fijada, el significado de las cifras de la calidad no estarán claras.

Por ejemplo, especificar sin más la resistencia eléctrica de un cable no indica si el valor de la resistencia es el valor medio para cada cien metros o diez metros de longitud de cable, o si el valor será el mismo para cada milímetro de cable. ¿Cuál es la unidad de longitud del cable para la cual se garantiza la calidad?

Otro ejemplo: ¿cuál es el significado de un estándar de calidad que garantiza el valor calorífico de cierto tipo de carbón en 6.500 calorías? ¿Quiere esto decir que el estándar es el valor medio para cada envío mensual, cada vagón,

o cada saco, o que garantiza que cada trozo individual de carbón tendrá un valor calorífico de 6.500 calorías por lo menos? Semejante estándar no indica cómo están formados los lotes de producto; de hecho, no está nada claro lo que quiere decir.

Hay también algunas dudas de si la resistencia de las piezas de ensayo del tamaño utilizado normalmente es satisfactoria como característica sustitua de la resistencia del acero. En otras palabras, se debe reconsiderar el tamaño de las piezas de ensayo (unidad de garantía).

Esta ambigüedad con la cantidad unitaria para la cual se garantiza la calidad suele crear problemas entre los proveedores y los compradores, y entre los inspectores oficiales y las empresas manufactureras.

## **(2) Métodos para evaluar y cuantificar la calidad**

La calidad no se puede definir con precisión sin cuantificarla. Esto quiere decir que tenemos que dedicar tanto esfuerzo y meditación como podamos para idear métodos para medirla. Hace falta una especial inteligencia para idear métodos de medida de las características verdaderas de la calidad, ya que muchas de ellas se expresan en las propias palabras de los consumidores y, por tanto, son difíciles de medir; de hecho, a menudo acabamos por tener que depender de ensayos sensoriales. No es fácil cuantificar características tales como los daños, la suciedad, el color, el sonido, el olor, el sabor y la textura, que dependen de los cinco sentidos, o la calidad de los servicios, que también depende de los sentidos humanos; sin embargo, se han hecho progresos en las medidas físicas y químicas, se han preparado baterías de muestras estándar, y evaluaciones de paneles, ensayos de clasificación, estudios de mercado, y han avanzado otras formas de ensayos sensoriales que deberían estudiarse. En los ensayos sensoriales, las muestras de referencia no son buenas; hacen falta muestras limítrofes. Ya que a menudo la calidad se juzga agregando todas las diferentes características de la calidad y haciendo una evaluación sensorial tal como "Ese es un buen coche", "Esa es una buena tienda", o "Es una buena mujer", también hace falta aquí un análisis de calidad adecuado, y deben investigarse las técnicas de medida y los métodos para enjuiciar el valor global.

Aun cuando el problema no sea tan difícil como éste, muchas empresas siguen produciendo productos defectuosos y reciben reclamaciones porque la alta dirección y los supervisores no proporcionan los medios para medir la calidad, aunque una pequeña inversión haría posible la cuantificación de la calidad. Una buena cuantificación de la calidad representa unos conocimientos útiles para una empresa y permite que el control de calidad avance con fluidez. Pero más importante todavía, la alta dirección de una empresa es responsable de indicar los métodos y las normas que hay que utilizar para evaluar la calidad.

Los métodos de muestreo y de medida usados con este fin también tienen que estar claros. A menudo se define la calidad especificando la cantidad unitaria certificada por la inspección y describiendo los métodos de muestreo y de medida utilizados. Déle la vuelta: si los métodos de muestreo y de medida no están especificados, a menudo es imposible decir de qué calidad se está hablando. Una vez se ha decidido cuál es la unidad de garantía, se determinarán los métodos de muestreo y de medida adecuados para certificarla; pero si esto no está claro, no se puede definir la calidad. La cuestión de las tolerancias es, en muchas maneras, similar a la de la cuantificación.

*Ejemplo 1:* ¿Ha especificado su empresa los métodos para evaluar la calidad de sus productos, e.g., cámaras fotográficas, automóviles o ideas?

*Ejemplo 2:* Ya que no se puede esperar que ningún producto esté totalmente libre de defectos, ¿están claramente especificados los límites de los daños superficiales aceptables?

*Ejemplo 3:* Cuando se establecen las tolerancias, ¿se distingue entre la variación dentro de una misma pieza (incluyendo los errores de tolerancia, muestreo y de medida) y la variación de una pieza a otra y de un lote a otro?

*Ejemplo 4:* Los valores del diseño ¿tienen en cuenta los errores de muestreo y de medida? ¿Cuál es la relación entre éstos y los criterios de inspección?

### **(3) Cualidades progresivas y cualidades regresivas<sup>5</sup>**

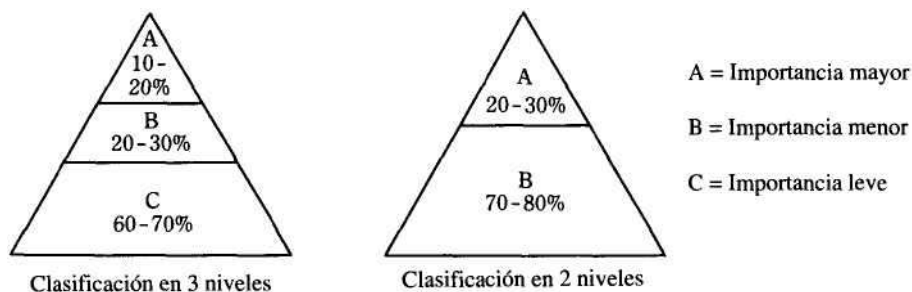
La ausencia de defectos no necesariamente hace que un producto se venda. Las cualidades que son ventajas positivas del producto, i.e., las propiedades especiales que lo hacen superior a los productos de la competencia y se pueden utilizar como argumentos para la venta -por ejemplo, "fácil de usar", "es agradable usarlo", etc.-, se llaman "cualidades progresivas" (también conocidas como "cualidades atractivas"). En contraste con esto, la ausencia de imperfecciones o defectos es una cualidad "regresiva" (o "debe ser"). Se espera que los productos no tengan defectos y graves desventajas como norma general, y esto es por lo que semejante condición se puede llamar una calidad como debe ser. La ausencia de imperfecciones y defectos es una condición necesaria pero no suficiente para la vendibilidad de un producto, ya que los productos que carezcan de argumentos de venta que encajen con los requisitos de los clientes no se venderán; por esto podemos llamar "cualidades atracti-

5

En inglés, "forward-looking qualities" y "backward-looking qualities". (N. de los T.)

vas" a las cualidades progresivas. Estas cualidades progresivas tienen que definirse claramente en los documentos de la planificación de un nuevo producto.

*Ejemplo:* Un coche es un coche, quienquiera que sea su fabricante. ¿Cómo pueden hacerse resaltar las ventajas de un modelo determinado, y qué cliente es probable que lo compre?



**Figura 1.4: Clasificación de las características de la calidad por orden de prioridades**

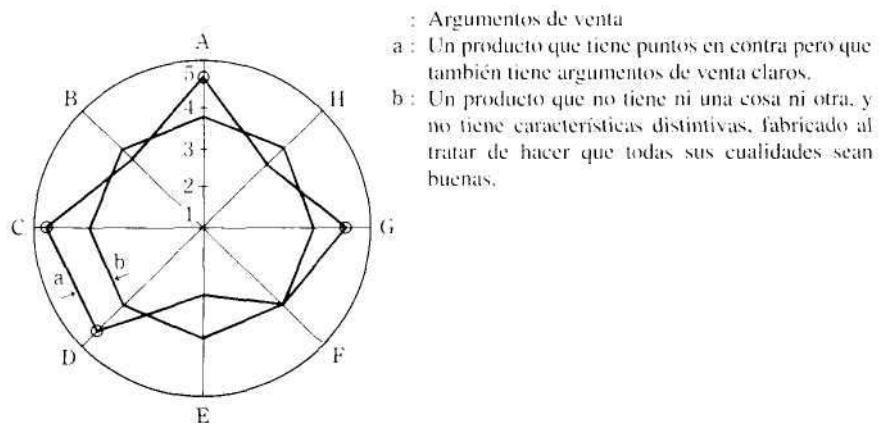
#### **(4) Decidir la prioridad de las características de la calidad; peso de la calidad**

Un producto dado tiene, como mínimo, de veinte a treinta características de calidad, y puede que tenga hasta varios cientos. Las personas que no entienden el control de calidad dirán que todas las características de calidad son importantes. Este enfoque, no obstante, quiere decir o que el precio del producto será extremadamente elevado o que acabará siendo un producto que no es ni una cosa ni otra y que no tiene características diferenciales. Por tanto tenemos que clasificar tanto las características de calidad progresivas como las regresivas en: (A) de mayor importancia, (B) de menor importancia, y (C) de poca importancia; o por lo menos en dos prioridades (A y B). Tenemos que pensar en clasificar las características de calidad regresivas (i.e., defectos) con más detalle todavía, e.g., en las cuatro clases siguientes: defectos críticos (defectos que pueden poner en peligro la vida o la integridad física de las personas); defectos mayores (defectos que afectan seriamente el comportamiento); defectos menores; y defectos leves. Entre las características de calidad progresivas, las características de la clase A son los argumentos de venta más importantes.

Según mi experiencia, es suficiente un máximo de tres clases -dos para productos en general. Normalmente recomiendo que la proporción de caracte-

rísticas asignadas a cada clase siga el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), como se indica en la Figura 1.4. Se puede utilizar el mismo procedimiento para las dimensiones de las piezas y montajes, designando con la letra A las dimensiones más importantes. Los defectos de la clase A se tienen que eliminar completamente, mientras que las características de calidad progresivas se deben poner de relieve claramente. Se pueden permitir algunos defectos de la clase C tales como un defecto leve en el acabado de un producto. En otras palabras, las características de la clase A se tienen que controlar estrictamente mientras que el control de las características de la clase C puede ser más relajado. Si no está bien clara esta distinción, se dedicará demasiado esfuerzo a controlar las características de la clase C, se reducirá la atención prestada a las características de la clase A y habrá graves reclamaciones por el producto.

Igualmente, algunas características de calidad, especialmente las características verdaderas, pueden ser incompatibles entre sí (Le., cuando se mejora



**Figura 1.5: Productos con y sin argumentos de venta: gráfico de radar de la calidad**

la característica A, se deteriora la característica B), o si se trata de mejorar todas las características de calidad, el producto será demasiado caro. Como se indica en la Figura 1.5, cuando se sacrifican ciertas características con objeto de hacer hincapié en los argumentos de venta, los clientes están más contentos con el producto. Como se mencionó anteriormente, se tiene que tener cuidado de no tratar de mejorar todas las características, ya que esto dará como resultado un producto o servicio que no es ni una cosa ni otra y que no tiene características distintivas.

### **(5) Aclarar la definición de unidades defectuosas y de defectos; actualizar las unidades defectuosas latentes**

Mientras los términos "unidad defectuosa" y "defecto" estén definidos de forma diversa por personas diferentes y departamentos diferentes, no serán útiles. Sus definiciones se deben normalizar; al hacerlo se tiene que tener en cuenta los cuatro puntos siguientes:

1. Los conceptos de unidades defectuosas y defectos deben ser normalizados entre los departamentos de ventas, diseño, producción e inspección. También se debe aclarar cualquier diferencia entre los términos o en el uso de los mismos entre fabricantes y usuarios.

*Ejemplo 1:* Un vidrio que se va a utilizar en ventanas está ligeramente rayado. ¿Es esto un defecto o una unidad defectuosa? ¿Qué pasa con las muestras limítrofes? ¿No sería posible construir unas casas perfectamente satisfactorias muy baratas utilizando este producto de segunda?

*Ejemplo 2:* Una pieza no cumple las tolerancias especificadas en los planos pero todavía se puede usar. ¿Hace esto que no sea defectuosa?

Los términos "defecto" y "unidad defectuosa" se utilizan mucho en el lenguaje del control de calidad. Sin embargo, como éstos pueden fácilmente provocar malentendidos en el área legal de la responsabilidad civil del producto, las normas ISO y las Norteamericanas distinguen entre "defecto" y "no conformidad", y entre "unidad defectuosa" y "unidad no conforme". En japonés no se hace esta distinción y no está incorporada en las normas industriales japonesas.

Para las definiciones de unidad defectuosa, proporción de unidades defectuosas, defecto, porcentaje de defectos, no conformidad y porcentaje de no conformidades, véase la sección 2.3.

2. Tasa de paso directo (tasa de unidades sin ajustes): utilizado en la industria de montajes, este término quiere decir la proporción de productos que, una vez montados, funcionan como deben sin hacer ningún ajuste o reproceso. Desde el punto de vista del CC, los productos que se tienen que reprocesar, ajustar o modificar *in situ*, son defectuosos. La fracción de reprocesos y la fracción de ajustes deben tratarse como parte de la fracción de unidades defectuosas. Los productos con un buen índice de paso directo son usualmente muy fiables y no se estropean más adelante. Por tanto, es importantísimo que las industrias de

montajes realicen detenidamente el análisis de la calidad y de los procesos, y que luego controlen sus procesos de forma que se aumente la tasa de paso directo.

3. Poner de manifiesto los defectos latentes: las empresas que no practican el control de calidad suelen clasificar como defectuosos sólo a los productos desechados, pero tal como se ha expuesto más arriba, los productos reprocesados o ajustados, así como los que son "aceptados tal como están", todos son, de hecho, defectuosos. También hay unidades defectuosas ocultas. Cuando se pone en práctica el control de calidad, todas estas unidades defectuosas latentes tienen que ponerse de manifiesto e identificarse claramente (ver la sección 4.3.4).
4. Aceptación tal como está: productos que marginalmente no cumplen las especificaciones o tolerancias aún se aceptan a menudo para su uso sin reprocesarlos, repararlos o mezclarlos; esta práctica se conoce como "aceptación tal como está", y puede incluir diversas materias primas, trabajo en mano, o productos finales que no pasan la inspección de materia prima, la intermedia o la final. La aceptación tal como está se practica por varias razones, en todas las empresas, incluso en aquellas que hacen todo lo posible por practicar el control de calidad.

Los estándares y tolerancias están expresados en términos numéricos pero a veces los productos se pueden usar aunque se desvíen ligeramente de los valores especificados. Hay dos razones para ello:

1. A menudo no se consideran con suficiente atención los estándares y tolerancias, y puede que sean más estrictos de lo necesario.
2. A menudo es ilógico o extraño que se considere que un producto es utilizable hasta cierto valor límite de una característica y que de repente se convierta en no utilizable por encima de este valor.

El uso de materiales tal como están a menudo no afecta a la calidad o el coste. Sin embargo, la aceptación de materiales o productos tal como están, que no son conformes con las normas, requiere una acción especial; se tiene que seguir el producto atentamente para determinar si la aceptación especial ha ocasionado algunos cambios del comportamiento o de la fiabilidad. Se debe hacer lo siguiente:

1. Si no han aparecido efectos indeseables como resultado de la aceptación tal como está, las normas y tolerancias se pueden relajar ligeramente.
2. Si se observan algunos efectos indeseables ligeros, el control del proceso y la inspección se deben hacer más estrictos. Cuando se practica la

aceptación tal como está, es muy importante aclarar los dos puntos siguientes:

- (a) ¿De quién hace falta el permiso para la aceptación tal como está?
- (b) ¿En qué intervalo se permite la aceptación tal como está?

En la sección 6.14.3 se explican con más detalles las precauciones especiales necesarias en una política de aceptación tal como está.

### **(6) Calidad estadística: pensar en la calidad como si fuera una distribución estadística**

Desde el punto de vista del consumidor, cada producto individual tiene que tener una calidad satisfactoria. Sin embargo, cuando piensan en la calidad de un producto determinado, tanto los productores como los consumidores piensan no tanto en la calidad de las unidades individuales sino en la calidad de grupos de docenas o de cientos. Por ejemplo, pensemos en la duración de las bombillas eléctricas que se venden diariamente por decenas de miles. Si se dispusiera de dos tipos de bombillas -uno que durara entre unas cien y dos mil horas, y otro que durara entre unas novecientas y unas mil cien horas- probablemente los consumidores normales se resistirían a arriesgarse a comprar una bombilla que sólo pudiera durar cien horas y elegiría el segundo tipo, con una menor variación en la duración y su consecuente menor riesgo. Una variación amplia en la calidad de los repuestos también causaría problemas al consumidor. En otras palabras, los consumidores quieren productos que tengan una calidad uniforme en términos de grupos de productos y de distribuciones estadísticas. Sin embargo, ya que nuestro trabajo está afectado por un número infinito de factores diferentes, es imposible fabricar productos sin ninguna variación. A donde queremos llegar es, más bien, a controlar la variación dentro de ciertos límites; esta variación se conoce como capacidad del proceso.

En control de calidad establecemos unos niveles de calidad para grupos de productos y controlamos estos niveles en toda la empresa. En planta tratamos de controlar el proceso de tal modo que obtengamos lotes de producto con las distribuciones estadísticas especificadas.

Uno de los primeros pasos del control de calidad es decidir qué hacer con objeto de satisfacer las necesidades del cliente en términos de la calidad estadísticamente distribuida de los lotes de producto. Las ideas y métodos estadísticos son extremadamente útiles para comparar la información de la investigación de mercado con los conocimientos técnicos existentes, los niveles técnicos de la fábrica y las capacidades de proceso con objeto de establecer la calidad con un grado razonable de variación. Muchos estándares y especificaciones existentes son o demasiado estrictos o demasiado laxos, quizás por-



que las personas que los establecieron no comprendían del todo este concepto de la distribución estadística.

La calidad estadística no está fijada; siempre tiene un intervalo de variación y es un ente vivo que cambia con arreglo a las condiciones técnicas y económicas y con los avances en las capacidades de proceso. Incluso determinadas normas y especificaciones no son constantes: tienen que revisarse y ponerse al día continuamente.

## **(7) Cuatro definiciones relativas a la calidad**

Muchas de las normas de calidad utilizadas tradicionalmente en las empresas no están definidas claramente. Considerando los aspectos estadísticos tales como la distribución, la dispersión y el error, así como la responsabilidad y la autoridad dentro de la empresa, se deben distinguir los cuatro tipos de calidad siguientes:

1. Normas de calidad aplicadas a los procesos: éstas son normas de calidad de las cuales es responsable el departamento de producción.
2. Objetivos de calidad aplicados a la investigación y la tecnología: estas "metas de calidad" son responsabilidad de los departamentos de investigación y técnico.
3. Calidad garantizada a los consumidores: es responsabilidad del departamento de marketing determinar el nivel de la calidad garantizada.
4. Criterios de inspección: el departamento de inspección es responsable de las normas de inspección.

Esta clasificación se basa fundamentalmente en la consideración de la responsabilidad y la autoridad dentro de la empresa.

Las normas de calidad aplicadas a los procesos se pueden llamar así porque se deben establecer combinando la política de la empresa con la consideración de los niveles de calidad alcanzables (a la luz de las capacidades de proceso de la fábrica) si el trabajo se desempeña de acuerdo con las normas operativas (i.e., los niveles de calidad alcanzables en el estado bien controlado). El departamento de producción es responsable de controlar el proceso para que los productos cumplan estas normas. Dentro de estos niveles de calidad, si algunos productos caen ligeramente por fuera de estas normas de calidad, no es culpa de los que hicieron el producto sino más bien de la dirección por no suministrar una maquinaria y un equipo capaces de cumplir estas normas. (Sin embargo, ya que las personas que hacen el producto son responsables de la garantía de calidad, es tarea del departamento de producción detectar y eliminar las unidades defectuosas.)

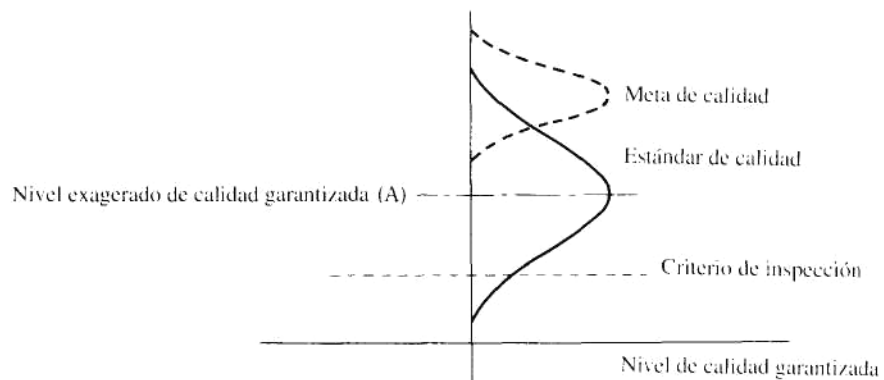
Los objetivos de calidad asignados a los departamentos técnico y de investigación ("metas de la calidad") se determinan de acuerdo con la política de la empresa con respecto a lo que la empresa hará en el futuro; estas metas tienen que tener en cuenta los estudios de las necesidades de los clientes junto con otros factores. Tales metas constituyen los objetivos para la mejora técnica.

Actualmente en Japón es responsabilidad del departamento de producción, así como de los círculos de CC, controlar los procesos con objeto de evitar que vuelvan a aparecer defectos así como de mejorar los procesos. Las mejoras de calidad evolutivas deben, por tanto, ser responsabilidad de los departamentos técnicos, mientras que las pequeñas mejoras de calidad constantes deben ser de los departamentos de producción.

Los niveles de "calidad garantizada", o los niveles de calidad garantizados a los clientes, se explican ellos solos; son los niveles de calidad de los que el departamento de marketing es responsable de comunicar a los clientes. También podrían llamarse "Estándares de catálogo". Sin embargo, algunas empresas cogen su calidad media y la representan erróneamente como un nivel exagerado de calidad garantizada, como se indica en la Figura 1.6. Esta práctica está condenada a provocar reclamaciones.

Los estándares de inspección son exactamente también lo que su nombre implica, los valores utilizados por los departamentos de inspección como criterios para evaluar los productos. La inspección por muestreo e incluso la inspección del cien por cien a menudo van acompañadas de errores de muestreo, de medida o experimentales; generalmente, las normas de inspección tiene que ponerse a un nivel superior al de la calidad garantizada.

Los cuatro tipos de niveles de calidad anteriores están relacionados entre sí, pero cada uno existe por propio derecho. La Figura 1.6 ilustra las relaciones entre ellos.



**Figura 1.6: Los cuatro tipos diferentes de niveles de la calidad**

|                        | Calidad | Coste | Productividad |
|------------------------|---------|-------|---------------|
| Calidad de diseño      | ↑       | ↓     | —             |
| Calidad de conformidad | ↑       | ↓     | ↑             |

**Figura 1.7: Relación entre la calidad, el coste y la productividad**

Uno de los primeros pasos que debe dar una empresa cuando pone en práctica el control de calidad es revisar lo que se quiere decir exactamente con los títulos ambiguos de "Normas de Calidad", "Normas de la Empresa", etc. Esto es especialmente importante en las industrias eléctricas y de maquinaria en las que no está claro a cuál de los cuatro tipos de niveles de calidad expuestos más arriba corresponden los valores del diseño y las tolerancias del plano. Esto varía según cómo se usen los valores del diseño, pero probablemente el diseño resultará imposible si no se aclaran las definiciones de la empresa.

### **(8) Calidad de diseño y calidad de conformidad**

Los términos "calidad de diseño" y "calidad de conformidad" fueron acuñados por primera vez por J. M. Juran. La "calidad de diseño" es el nivel de calidad que una empresa planifica alcanzar para su producto; en general, los costes aumentan al elevar este nivel. La "calidad de conformidad" es la diferencia entre la calidad real de un producto y la calidad que se ha diseñado (i.e., la calidad que quiere la empresa). Conforme se eleva la calidad de conformidad, se aproxima a la calidad de diseño; y, si disminuye el número de unidades defectuosas, generalmente los costes disminuyen mientras que la productividad aumenta. Es importantísimo distinguir entre estos dos tipos de calidad (ver la Figura 1.7) y hay que tener cuidado cuando se establece la calidad de diseño, ya que se ocasionarán diversos problemas si no se tienen en cuenta suficientemente las capacidades de proceso y otros factores.

## **1.4.5 ¿Qué son productos de buena calidad y qué son productos buenos?**

Cuando se establece la calidad se tiene que tener en cuenta los diversos puntos expuestos más arriba; pero ¿qué es exactamente un producto o servicio que se vende bien durante un periodo largo de tiempo? Dicho simplemente, es un producto o servicio que se acomoda a los requisitos de los consumidores

(i.e., necesidades y deseos) y tiene una calidad y un precio justos. Ésta es, sin embargo, una definición tremendamente confusa.

En lo que se refiere a la calidad regresiva, la condición básica para un producto de éxito es, claro está, que tenga cero unidades defectuosas y cero defectos o una fracción de unidades defectuosas de partes por millón (ppm), pero un producto de buena calidad es el que recibe una buena evaluación global en la cual todas las cualidades (incluyendo las regresivas) se pesan adecuadamente. En pocas palabras, pues, un producto de buena calidad es aquel cuyas propiedades están en un buen equilibrio. Se han propuesto varios métodos de cálculo para hacer frente a este punto, pero ninguno de ellos es otra cosa que jugar con fórmulas y números. En la práctica, un producto tendrá éxito si satisface ciertas condiciones básicas, si se acomoda a los requisitos, aficiones e intereses de los consumidores a los que va dirigido, y si se lanza en el momento oportuno. Los productos que tienen éxito no son aquellos que son bastante buenos en general sino los que, de acuerdo con el principio de Pareto, tienen de una a tres características determinadas excelentes. El hecho de que la proporción de éxito de los nuevos productos sea sólo de un uno a un cinco por cien nos demuestra, sin embargo, que éste no es todavía un problema fácil.

Se utilizan otros términos diversos para describir la calidad -por ejemplo, la calidad en las diversas fases del desarrollo de un nuevo producto-, pero éstos no se expondrán aquí.

Finalmente, querría decir unas pocas palabras de advertencia relativas a la calidad:

1. Los requisitos de calidad y condiciones de uso de los consumidores varían de un país a otro y de una época a otra. Ya que los requisitos de los clientes se diversifican y se hacen más exigentes, las empresas tienen que recoger información continuamente, anticiparse a las necesidades y deseos de los clientes y luchar por mejorar. La calidad nunca es lo suficientemente buena.
2. El mayor problema durante el desarrollo de un nuevo producto es vender a los oponentes de la misma empresa. Esto se consigue proporcionando documentos sobre la planificación del nuevo producto con datos que demuestren que los planes son tan buenos que convencerán a las personas a que los apoyen.
3. Siempre que esté en desarrollo un producto completamente nuevo que no exista en ninguna parte del mundo, se tiene que adoptar una acción que asegure que la curva de crecimiento del nuevo producto aumente rápidamente.

## 1.5 ¿Qué es el control?

### 1.5.1 El enfoque anticuado del control

Los mayores problemas que se experimentaron cuando el control de calidad se estaba introduciendo en Japón fueron el resultado de la confusa variedad de términos que indicaban "control". Las personas que estaban en las oficinas, en las fábricas y en los puestos de montaje no tenían muy clara la idea de control, y el enfoque del control muy pocas veces se incorporaba a la organización de tales lugares. Los gráficos de control y otras herramientas estadísticas sólo son eficaces cuando están ligados a la filosofía del control descrita aquí y están incorporados al sistema de responsabilidad y autoridad del control en las empresas y fábricas, Le., con toda la organización.

Expresado de manera sencilla, el control consiste en "comprobar si el trabajo se está haciendo de acuerdo con las políticas, las órdenes, los planes y las normas y, si no, adoptar la acción para corregir cualquier desviación y evitar su reaparición, y luego seguir con el plan".

En el pasado, todo lo que ocurría era que las órdenes (¿o las oraciones?) tales como "Haga un buen producto barato", "Reduzca los costes", "Mejore la calidad", o "No haga productos defectuosos" se pasaban sin modificación en forma de órdenes, como a través de un túnel, desde el presidente de la empresa al director gerente, y de aquí a los directores de departamento de la oficina central, a los directores de fábrica, directores de sección, supervisores, encargados y operarios. Además, el túnel por el que pasaban estas órdenes a menudo estaba retorcido o bloqueado. Si las órdenes no se comunican a todo el mundo, el control no puede despegar.

Yo llamo a este tipo de dirección, en la cual las órdenes tales como "Haga lo mejor que sepa" se pasan a lo largo de una cadena de mando y se exhorta a las personas a que alcancen un objetivo sin que se les den los medios para ello, "Dirección por la exhortación", "Yamato-spirit management"<sup>6</sup> o "dirección por el látigo". Por supuesto que la moral es importante siempre que se dirija a las personas, pero no se puede lograr el buen control sólo por medio de la moral.

En el pasado se ejercían diversas formas de dirección, pero no funcionaron muy bien por las razones siguientes:

- 1) Al igual que con los términos "control", "dirección" y "administración", se utilizaban varios términos para indicar control, y sus

---

<sup>6</sup> Nota del traductor al inglés, J. H. Loftus: "Yamato" es el nombre antiguo de Japón, y "Yamato-spirit" quiere decir el tipo de enfoque de "hacerlo o morir" que, como en la Carga de la Brigada Ligera, es heroico pero no muy práctico.

definiciones y matices de significado diferían de una persona a otra. Alguien tradujo "control de calidad" a japonés como "*hinshitsu kanri*"; este término se extendió, y se decidió usar la palabra "*kanri*" para "control" en la terminología de las normas industriales japonesas.

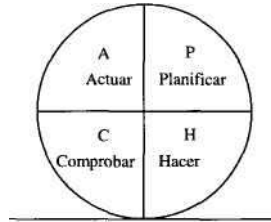
- 2) La discusión del control era demasiado abstracta y demasiado idealista.
- 3) Algunas personas pensaron que "control" quería decir "amarrar a las personas".
- 4) No se consideraron satisfactoriamente los métodos específicos para alcanzar gradualmente las metas del control. Las órdenes pasaban sin más por la cadena de mando, que a menudo estaba retorcida o rota.
- 5) No se sabía nada del análisis basado en la estadística ni de las técnicas de control.
- 6) Sólo los directivos y encargados, y otras personas en cargos de responsabilidad estaban informados, y no se hacía esfuerzo suficiente para educar a todo el mundo.
- 7) Sólo se utilizaban métodos complejos y detallados, y el control no se ejercía desde un punto de vista amplio y global.
- 8) El sectarismo era abundante, había barreras entre los departamentos y la comunicación era mala.
- 9) Las personas solían quedar satisfechas si obtenían buenos resultados; no pensaban en métodos y procesos.
- 10) Las empresas consideraban que la "dirección por la exhortación" mantenía satisfactoriamente el *statu quo*. Cuando se cometían equivocaciones, las personas prometían que no volvería a suceder, pero no se adoptaban medidas específicas para evitar su reaparición.

Esta confusa situación es exactamente la misma en el control de calidad; las cosas no irán bien si se lanzan órdenes contradictorias e independientemente por parte de diferentes departamentos tales como "Reduzca los costes" y "Eleve la calidad". Igual que el control de calidad, el control tiene que ser global; no avanzará con fluidez si se ejercita esporádicamente sobre la base del sectarismo o de luchas entre los diferentes departamentos de una organización.

## 1.5.2 Los métodos y la filosofía del control

El lema "planificar-hacer-ver" se ha asociado mucho tiempo con la dirección científica pero no va bien con los japoneses. Ellos aprenden en la escuela que "ver" es "*miru*", que también quiere decir "mirar", y por tanto suelen pensar que "planificar-hacer-ver" quiere decir hacer algo y luego apartarse y mirar el resultado.

Normalmente se nos dice que "sigamos el ciclo de planificar-hacer-comprobar-actuar (PHCA)" también conocido como Ciclo de Deming (Figura 1.8), pero esto también es insuficiente. A mí me ha ido bien dividiendo el ciclo en los seis pasos mostrados en la Figura 1.9. Estos seis pasos son los siguientes:



**Figura 1.8: El ciclo de control (con cuatro pasos)**

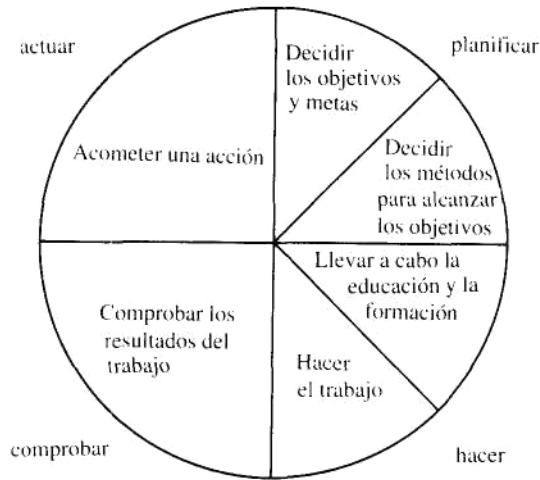
|   |   |            |
|---|---|------------|
| 1) Decidir un objetivo                                      | } | planificar |
| 2) Decidir los métodos a utilizar para alcanzar el objetivo |   |            |
| 3) Llevar a cabo la educación y la formación                | } | hacer      |
| 4) Hacer el trabajo hacer                                   |   |            |
| 5) Comprobar los resultados                                 | } | comprobar  |
| 6) Acometer la acción correctora                            |   |            |
|   |   | actuar     |

Después de haber seguido estos seis pasos, el séptimo paso es volver a verificar para ver si la acción correctora ha funcionado. Esto es en realidad un procedimiento de dirección científica utilizando el enfoque del CC.

### **(1) Decidir los objetivos y metas ← política ← información/estudios**

El control es imposible a menos que estén claramente definidos los objetivos y las metas, y también es imposible si los objetivos y las políticas cambian con cada capricho. Por ejemplo, no podemos controlar un diseño o un proceso sin establecer las normas de calidad, y no podemos controlar la investigación y la tecnología sin establecer metas para la calidad. Algunas ideas generales a señalar cuando se establecen objetivos y metas son:

- (a) Los objetivos se deciden como resultado de una política. La política de la alta dirección es el tipo más importante de política, pero se tiene que desglosar en políticas secundarias a nivel del director de departamento, del director de fábrica, del director de sección, del supervisor y del



**Figura 1.9: Los seis pasos del control**

encargado. Estas políticas secundarias tienen que estar claramente descritas para que las personas de todos los niveles sepan qué hacer dentro de su rango de responsabilidad y de autoridad. Todo el que tiene un cargo de responsabilidad debe tener una política, y todas estas políticas, desde la del presidente de la empresa hasta la del encargado, tienen que ser coherentes entre sí. En muchos casos, sin embargo, el presidente y los directivos de una empresa, así como las personas por debajo de ellos, o no tienen ninguna política en absoluto o son muy abstractas. El control es imposible sin políticas, y todos los líderes necesitan valor y sentido de la responsabilidad para decidir sobre ellas. La política aclara los criterios para establecer objetivos y adoptar medidas.

(b) La política tiene que tener un fundamento adecuado; una política que se reduce a alguien que dice, "Esto es lo que yo creo; ¡sígame!", es una política sin base, o de "espíritu yamato". Puede que a veces tenga éxito pero es bastante arriesgado y el porcentaje de fallos es elevado. Para proporcionar un fundamento a la política necesitamos información exacta de dentro y de fuera de la empresa, incluyendo fuentes tales como la información de la investigación de mercado, los datos de las encuestas a los consumidores, de los mercados de la competencia y extranjeros, datos domésticos sobre la capacidad técnica y de investigación, datos sobre la capacidad del proceso, e información sobre las materias primas. Esta información debe estratificarse prontamente, co-tejarse y analizarse globalmente. Muchas empresas o carecen de los



datos que necesitan para establecer la política, o tienen los datos pero no dan la información a los departamentos adecuados en el momento adecuado. En otros casos, la empresa carece de una función para analizar los datos globalmente. Herramientas tales como los gráficos de Pareto, las distribuciones de frecuencia, los gráficos de control y los métodos de investigación operativa son utilísimas para esta clase de análisis.

Es deber de los departamentos de *staff* o de los subordinados suministrar y analizar esta clase de información. Si es posible, se deben preparar varias propuestas diferentes y utilizarlas como base para establecer objetivos específicos y metas, de acuerdo con las diversas políticas. Por supuesto que ninguna información es verdadera al cien por cien. Así pues, cuando se ha recogido el setenta u ochenta por cien de la información, el resto depende del valor, la decisión y las habilidades ejecutivas de los directivos, con la debida consideración de las probabilidades de fallo. Si hemos recogido toda la información posible, podemos decir que nuestra decisión es "científica". En otras palabras, es una cuestión de lo rápido que podamos avanzar con precaución.

Todo el mundo que tiene un cargo de responsabilidad, desde el presidente de la empresa hasta el encargado de la planta, debe reflexionar sobre la clase de datos que debe recoger con objeto de decidir su propia política particular.

- (c) La política se tiene que decidir desde un punto de vista general; en otras palabras, las políticas no se tienen que emitir en fragmentos, y no debe haber incoherencias entre las diferentes políticas. En las empresas japonesas, la oficina central no tiene la función de hacer juicios globales, y el sectarismo es muy fuerte. Por esta razón, a menudo la política emerge poco a poco de los diversos departamentos. Yo llamo a esta clase de empresas "de muchas cabezas". El control es completamente imposible con un sistema tal, independientemente de las políticas que se emitan.
- (d) Cuando establecemos una política, tenemos que decidir nuestras prioridades. Debemos recordar el principio de Pareto (los problemas vitales son pocos pero los triviales abundan), puesto que una simple enumeración de diez o hasta veinte elementos de la política no dicen nada sobre su importancia relativa, y deja la cuestión de las prioridades sin tocar. Muchas personas no hacen más que enumerar las cosas que les pasan, pero esto no es una política. En la práctica, los problemas realmente importantes no son los problemas esporádicos sino los crónicos a los que todo el mundo ha renunciado a su resolución. Es mejor limitar los

elementos importantes de la política a dos o tres o, como máximo, cinco, y tratar el resto como puntos rutinarios de dirección.

- (e) Los objetivos y las metas se deben describir clara y concretamente, si es posible con fechas tope concretas. Las políticas abstractas tales como "Buenos productos a un precio razonable" o "Bueno, barato y rápido" no son muy útiles por sí mismas. Claro que esta clase de política abstracta y motivadora es aceptable como política básica de la empresa, pero se deben añadir políticas más concretas expresadas numéricamente (con métodos de medida, metas obligatorias y metas deseables); por ejemplo, "Basándose en las cifras de enero a marzo, reducir a la mitad el número de unidades defectuosas producidas de abril a septiembre", o "A partir del próximo marzo, comercializar veinte mil cámaras fotográficas para aficionados, al mes, a un coste aproximado de ciento cincuenta dólares". Estas se convertirán así en características de control. Las metas se deben clasificar en dos tipos, obligatorias y deseables.
- (f) Las políticas también se pueden dividir en dos tipos, como sigue (ver la Tabla 1.3):

- 1) Política metodológica.
- 2) Política de objetivos.

El primer tipo afecta a las formas y medios para alcanzar los objetivos, e.g., "promoción de la normalización", "aclaramiento de la responsabilidad y la autoridad", "uso de gráficos de control", o "ejecución fiel de las normas operativas", mientras que el segundo quiere decir la política que define los objetivos específicos, e.g., "Reducir a la mitad la fracción de unidades defectuosas del producto A, en diciembre", o "Reducir el coste de la pieza B en un veinte por cien, en seis meses".

En control de calidad ha solido predominar la política metodológica. Se necesita tal política cuando se introduce el control de calidad por primera vez, pero lo que hace falta es promover realmente el control de calidad y alcanzar resultados, y una política centrada en las CCES (calidad, coste, entrega y seguridad) dirigida a problemas prácticos más concretos.

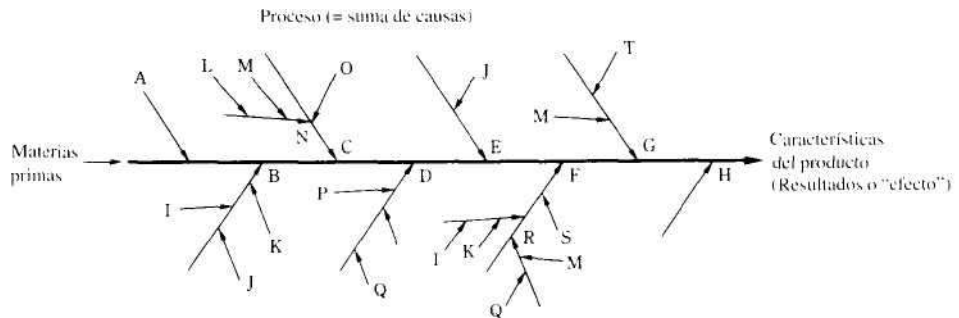
- (g) Conforme desciende por la jerarquía de una organización, la política se tiene que desglosar cada vez en más detalles y hacerse más concreta, sin perder la coherencia. (Este proceso se llama "despliegue de la política" o "despliegue de objetivos".)
- (h) Las políticas no deben centrarse en los departamentos u organizaciones sino en los objetivos y los problemas. Deben asignar la responsabilidad a diferentes equipos o departamentos relacionados.

- (i) Aunque los objetivos y las políticas se tienen que anunciar anualmente o al final de cada periodo contable, se tienen que formular en base a políticas y planes a largo plazo.
- (j) Los objetivos y las políticas se tienen que poner por escrito y distribuir-las ampliamente.

Para resumir, el espíritu básico de las políticas, los objetivos y las metas debe expresarse en palabras, mientras que las metas concretas deben expresarse en números. Es insuficiente usar palabras o números exclusivamente.

## (2) Decidir los medios para alcanzar los objetivos ← normalización ← técnicas tecnológicas y administrativas

No es suficiente con definir los objetivos y metas, sin indicar los medios por medio de los cuales se pueden alcanzar. Por ejemplo, anunciar los objetivos de calidad o del coste sin decidir también cómo se van a alcanzar y lo que debe hacer cada persona para alcanzarlos, y dejar que las personas hagan lo que crean necesario, no es más que otra forma de la "dirección según el espíritu yamato" o "dirección por el látigo". El buen trabajo no se puede producir de este modo. Una empresa tiene que formular reglas operativas que indiquen lo que se debe hacer para alcanzar sus metas y objetivos, y lo que todo empleado tiene que hacer. En otras palabras, la empresa tiene que preparar normas en sentido amplio -normas operativas, normas técnicas, normas de diseño, reglamentos de *staff*, etc. Para aclarar este enfoque y concretarlo más, propuse el diagrama de causa y efecto. La normalización en sentido estricto quiere decir "unificación", pero en este libro utilizaré la palabra en su sentido más amplio.



**Figura 1.10: Diagrama de causa y efecto**

Formular y mejorar continuamente las normas es el trabajo del personal técnico y administrativo; también es una actividad de los círculos de CC. Se necesitan las normas internas para el funcionamiento general de una empresa; son esenciales para todos los tipos de dirección, y no deben concebirse únicamente para fines de control de calidad.

Ya que la normalización se trata con más detalle en el Capítulo 5, limitaré mi exposición aquí a algunos problemas centrados en el control del proceso.

En el control de proceso, primero diseñamos un proceso, luego preparamos los gráficos del proceso de CC, llevamos a cabo el análisis del proceso, formulamos las normas y revisamos esas normas.

- (a) Las normas, especialmente las técnicas y las operativas, deben referirse a las causas. Se recomienda la práctica del "control con derecho preferente"; por tanto es necesario distinguir entre causas y efectos (i.e., objetivos); para esto se puede utilizar el diagrama de causa y efecto (ver la Figura 1.10). Cuando se preparan los diagramas de causa y efecto, el personal técnico, de producción, de diseño y de inspección pertinente, junto con los encargados, los operarios de línea y otros, deben poner en un fondo común sus conocimientos, con el uso de las técnicas de la creación imaginativa y otras. Basándose en esto, se debe llevar a cabo la normalización con derecho preferente -i.e., la normalización que anticipa los problemas todo lo posible- sobre la base de la tecnología adecuada, la experiencia, las herramientas estadísticas, etc. Ver un resultado y salir corriendo para hacer algo al respecto es control de crisis. En el caso del control de proceso, la alimentación hacia adelante (control con derecho preferente) es más importante que la retroalimentación (control de crisis).

Debe señalarse que los procesos están afectados por un número infinito de factores, y aquí nos referimos como "causas" o "factores clave" a aquellos que nos afectan en el control de calidad. En la sección 4.7.4 se explican los métodos para preparar los diagramas de causa y efecto.

- (b) Se tiene que decidir cómo controlar los factores clave para el control del proceso; esto implica la preparación de normas específicas relativas a las causas realmente importantes. Hay un número ilimitado de factores que causan la dispersión de las características buscadas, y es antieconómico tratar de controlarlos todos ellos para alcanzar nuestros objetivos. Nuestro trabajo está afectado generalmente por un número infinito de causas, pero todas actúan según el principio de Pareto. Siempre conseguiremos resultados si elegimos de entre las causas que hemos identificado las realmente importantes, y luego las normalizamos.

Para identificar estos factores clave, tenemos que tener nuestros propios conocimientos técnicos relativos al proceso, tenemos que observar atentamente las condiciones reales en el lugar de trabajo y también tenemos que ser capaces de analizar el proceso estadísticamente. Esto quiere decir que, de ahora en adelante, todos los técnicos tienen que dominar las técnicas estadísticas, dentro de los conocimientos generales, junto con las tecnologías física, química, eléctrica y otras específicas. Sin embargo, como la mayoría de los problemas (de hecho, aproximadamente el noventa y cinco por cien de ellos) se pueden resolver usando las siete herramientas del CC (i.e., hojas de comprobación, gráficos, histogramas, gráficos de Pareto, diagramas de causa y efecto, diagramas de dispersión y gráficos de control), todas las personas de una empresa, desde el presidente hasta los miembros de los círculos de CC, deben aprender el enfoque estadístico y estas herramientas,

- (c) La normalización se realiza para delegar la autoridad. Mientras que la autoridad se tiene que delegar, no toda la responsabilidad se puede delegar. Es, por tanto, necesario normalizar lo que se debe hacer en situaciones excepcionales o anormales. Tales normas podrían llamarse, por ejemplo, normas de control. Cuando sucede una anomalía en un proceso, se debe haber decidido por adelantado lo siguiente:

- Quiénes deben hacer qué (responsabilidad).
- Hasta dónde deben llegar (autoridad).
- De quién deben recibir instrucciones.

Una vez se haya delegado la autoridad concerniente a un asunto determinado, no se deben dar más órdenes respecto a este asunto.

- (d) Las normas deben ser formuladas para que describan claramente los objetivos (i.e., las características).
- (e) De las personas implicadas, deben tener voz y voto en la normalización tantas como sea posible. Las personas suelen observar las normas y reglamentos que ellas mismas han establecido.
- (f) Es natural que los seres humanos comentan equivocaciones, y está muy mal enfadarse por los errores de un subordinado. Si se ha cometido una equivocación, se debe invitar a todas las personas implicadas a discutir cómo se pueden evitar tales deslices.
- (g) Una norma que no se ha revisado es una norma que no se está utilizando.
- (h) Las normas tienen que estar adecuadamente documentadas, y tener el registro de todos los cambios. Se debe hacer un esfuerzo especial para acumular sistemáticamente un cuerpo tecnológico dentro de la empresa.

Esto situará a la tecnología de la empresa sobre una base sólida y hará posible que la tecnología suba de categoría y se exporte,

- (i) Todas las normas internas tienen que ser mutuamente coherentes entre sí.

### **(3) Llevar a cabo la educación y la formación**

Todos los que están a cargo de otras personas son responsables de la formación de sus subordinados. Aunque las normas y los reglamentos estén adecuadamente preparados, si sólo se les da no tendrán ningún efecto ya que probablemente no se leerán. Incluso si se leen, nunca es suficiente lo que se puede escribir y es probable que se interprete mal. Incluso si se entienden las normas, muchas serán imposibles de realizar. En el pasado, los japoneses, especialmente los que ocupaban cargos burocráticos, solían establecer normas y reglamentos estrictos, pero eran relajados en su observancia. El hábito de seguir directivas concretas no era fuerte y faltaba el ambiente necesario; de hecho, algunas personas hasta se enorgullecían de hacer lo que les apetecía y de no seguir las reglas deliberadamente. Esto sugiere la necesidad de la formación y de la educación. El control de calidad en concreto es una revolución en la filosofía de la dirección y requiere un giro completo en las actitudes de todas las personas de la empresa, desde el presidente hasta los operarios de planta. El control de calidad empieza y termina verdaderamente con la educación.

La formación y la educación dentro de una empresa consiste en los tres tipos siguientes, siendo cada uno de ellos tan importante como los otros dos:

- (1) Formación en grupo.
- (2) Formación de los subordinados por los superiores, en el lugar de trabajo-
- (3) Dejar que las personas aprendan por sí mismas delegándoles la total autoridad sobre su trabajo.

Pienso en la dirección como perteneciente a dos tipos: uno basado en el punto de vista de que el hombre es fundamentalmente bueno, y el otro basado en el punto de vista de que el hombre es fundamentalmente malo. Según la última postura, puesto que las personas son malas por naturaleza, y ya que no sabemos exactamente cuándo van a hacer algo mal, tienen que ser vigiladas de cerca. Con este enfoque, nadie se puede sentir relajado en su trabajo, se gasta mucho tiempo y dinero controlando y verificando, los costes aumentan y las personas se olvidan de por qué están dirigiendo. La dirección centralizada convencional tiende a duplicar las verificaciones y se convierte en una forma de dirección basada en el punto de vista de que el hombre es malo.

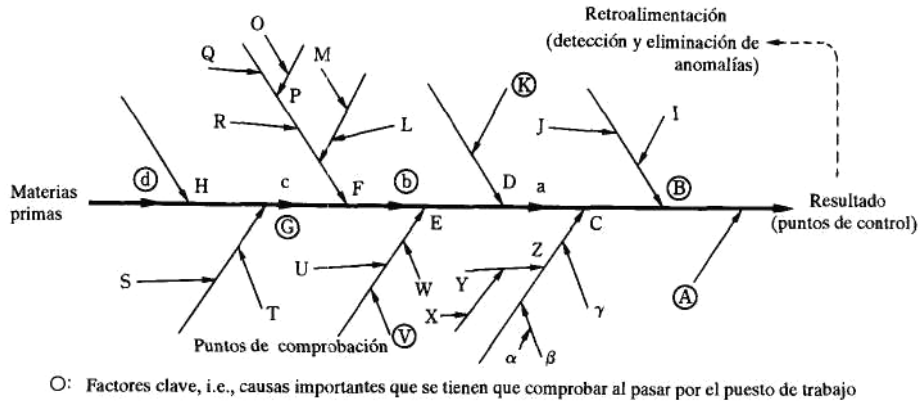
Creo que debemos promocionar el tipo de dirección basado en el punto de vista de que la humanidad es fundamentalmente buena, según la cual las personas son capaces de hacer un trabajo excelente si se les enseña adecuadamente, y que son capaces de cambiar su forma de pensar. Por supuesto que son necesarias las pruebas de aptitud para ciertos tipos de trabajo. El tipo ideal de dirección es así el que no hace verificaciones, es decir, una situación en la que todo el mundo se dirige a sí mismo, o autodirección. La educación generalmente aumenta el ámbito de control de las personas, esto es, el número de personas a las que pueden dirigir, y les hace cada vez más capaces de delegar la autoridad. Sin educación, una persona no puede controlar ni supervisar ni siquiera a otra persona, y, probablemente, es incapaz de delegar el trabajo. En todo caso, la educación es absolutamente vital, y ningún negocio puede progresar, por bien construida que esté su organización, si las personas de la organización no son buenas. La industria debe, en general, invertir más en educación. Igual que un director de orquesta, una persona debe ser capaz de dirigir a otras cien.

La enseñanza es una forma excelente de estudiar. Cuando las personas tratan realmente de enseñar las normas a otros, las comprenden mejor ellas mismas y aprecian sus dificultades, imperfecciones y defectos. Esto ayuda a racionalizar las normas.

Educar a sus subordinados adecuadamente y crear una atmósfera en la cual se obedezcan las normas es un deber importante de los supervisores y directores. La esencia de la gestión basada en el punto de vista de que el hombre es fundamentalmente bueno consiste en alcanzar un buen control por medio de la educación hábil de las personas. También es necesario revisar las normas operativas y otras normas internas y reglamentos para asegurarse de que son apropiadas. En cualquier caso, no se puede esperar un buen trabajo si los supervisores guardan celosamente sus secretos de trabajo y no se los enseñan a sus subordinados. Los directivos que siempre están echando broncas a sus subordinados pero nunca les enseñan nada no tienen derecho a ser llamados directivos.

El enfoque básico de la educación y la formación descrito más arriba es una de las piedras angulares sobre las que se iniciaron las actividades de los círculos de CC. Los métodos estadísticos también son utilísimos en la investigación de métodos educativos y en la evaluación de sus beneficios.

#### (4) Hacer el trabajo



**Figura 1.11: Un modelo de control**

#### (5) Comprobar los resultados

Comprobar los resultados consiste en ver si el trabajo se está llevando a cabo de acuerdo con las políticas, las instrucciones y los objetivos. Emitir un orden y enseñar a la gente cómo ejecutarla no es el fin del trabajo de un directivo; también tiene que comprobar los resultados y ver si las cosas han ido bien. Las órdenes y las normas internas son, claro está, imperfectas, pero también lo son las personas y el equipo. Por buenas que sean las intenciones de las personas, habrá equivocaciones y accidentes, y surgirán malentendidos. Cuando sea necesario, los ejecutivos, directivos y supervisores tienen que comprobar, por tanto, si el trabajo avanza bien, y acometer las acciones necesarias para asegurarse de que funciona con fluidez, con arreglo a las políticas y las directivas.

Todos los que ocupan cargos de autoridad tienen que pensar con detenimiento en dónde, cuándo, qué y cómo hacer las verificaciones, y luego llevarlas a cabo realmente. Luego, conforme todo el mundo va aprendiendo lo que es el control y se familiariza con él, empieza a ejercer el control por sí mismo, i.e., se hacen capaces del control autónomo.

Los directivos tienen que dejarlos en paz cuando el trabajo va con fluidez, pero tienen que intervenir y acometer acciones cuando las cosas no van bien o cuando hay problemas. En otras palabras, el control debe basarse en el principio de excepción. Tenemos que comprobar el trabajo y decidir si es un estado excepcional o anómalo.



Cuando se controla el trabajo (i.e., los procesos), debe hacerse por medio de los dos métodos siguientes, de acuerdo con el enfoque del diagrama de causa y efecto (ver la Figura 1.11):

(a) Comprobar las causas: dése un paseo por el puesto de trabajo y vea si todo se está realizando de acuerdo con las políticas y las normas, e.g., métodos de trabajo, preparación, medidas y así sucesivamente. Éste es principalmente el trabajo de los supervisores del extremo de la cadena de mando.

Uno de los propósitos de pasear por el lugar de trabajo es comprobar si está funcionando de acuerdo con las instrucciones y las normas; por ejemplo, si están funcionando bien o no las materias primas, el equipo, los instrumentos de medida, los sistemas de control automático, los calibres y las herramientas, y si el trabajo avanza con fluidez. En el caso del control del proceso, esto quiere decir ir a ver si los factores clave se están controlando bien o no. En las empresas que no tienen políticas, directivas o normas, no está claro lo que se debe comprobar y lo que se debe utilizar como norma de comparación. Igualmente, si no consideramos qué elementos tienen prioridad, hacemos las listas de comprobación y las utilizamos en la misma, no estaremos haciendo otra cosa que dar un paseo sin objeto.

Las causas de tales listas de comprobación se llaman puntos de comprobación. La comprobación de éstos es responsabilidad de los directivos de nivel inferior, y es mejor que los directivos superiores no realicen verificaciones muy detalladas de las causas. Las personas a las que les gusta realizar verificaciones detalladas, incluso después de su promoción a jefe o director de departamento, merecen el título de "director artesano" o "director del departamento de artesanía". En vez de pasar el tiempo comprobando los detalles, los jefes y directores de departamento y deben comprobar el trabajo a través de sus resultados, tal como se describe más abajo, y reservarse tiempo para pensar en el futuro (ver la sección 5.5.1).

Aunque los procesos industriales están afectados por un número infinito de causas, tiene que tenerse presente lo siguiente:

- i) Sólo un pequeño número de causas se pueden atribuir a las normas operativas y otras normas, e incluso éstas no se pueden controlar correctamente al cien por cien.
- ii) Como sólo disponemos de un tiempo limitado y no podemos estar en todas partes al mismo tiempo, sólo podemos ver una pequeña parte del trabajo en marcha cuando paseamos por el puesto de trabajo.

Por tanto, no es suficiente con dar vueltas sin más por el puesto de trabajo atendiendo a los elementos prioritarios, y llevaría una cantidad extraordinaria

de tiempo y esfuerzo controlar perfectamente todos los factores clave. Por eso necesitamos un segundo método de verificación, tal como se describe más abajo:

(b) Verificar a través de los resultados: Este método consiste en comprobar si el trabajo y los procesos avanzan bien, examinando los resultados de aquel, e.g., cambios en la calidad en su sentido estricto, volúmenes de producción, plazos de entrega, inventarios, cantidad de materiales y de mano de obra necesarios para producir una unidad de producto, costes unitarios, seguridad, contaminación, etc. Esto quiere decir tratar de controlar los procesos y las operaciones empresariales observando los resultados, introduciendo la información así obtenida en el proceso, descubriendo anomalías en el trabajo, los procesos y las operaciones, y eliminando las causas de esas anomalías. Para comprender la relación entre las causas y los resultados, debemos usar el enfoque del diagrama de causa y efecto, como se indica en la Figura 1.10. Cuando se hacen verificaciones a través de los resultados, se tienen que señalar varios puntos:

- i) El método consiste en controlar los procesos y las operaciones empresariales *a través* de los resultados. No quiere decir comprobar *los propios resultados*. Por ejemplo, si el trabajo se controla a través de la calidad, y los procesos y las operaciones están bajo control, se producirán, de forma natural, cosas buenas a un precio bajo. Así pues, si hablamos de control de calidad, uno de los principios es "introducir la calidad a través del proceso". La idea de controlar y comprobar la calidad misma conduce al control de calidad antiguo, orientado a la inspección, y acabará en un fracaso. También fracasan muchos intentos de controlar el coste, y la contabilidad de costes pierde gran parte de su significado, si se da prioridad a la idea del controlar el coste mismo. La significación del control del coste reside en controlar *a través* del coste. Tenemos que tener cuidado en distinguir entre controlar a través de algo y controlar ese algo. El control no se tiene que controlar con la inspección. Entrar en acción con respecto a productos individuales o lotes, basándose en los resultados de las medidas de la calidad es la inspección. Entrar en acción con respecto al trabajo, los procesos y las operaciones empresariales basándose en los resultados de las medidas de la calidad es el control (i.e., control de proceso).
- ii) Tenemos que preguntarnos constantemente cuál es la característica más conveniente de los resultados de nuestro trabajo a través de la cual podemos verificar el trabajo. En el CCT, a tales características se les llama generalmente características de control o puntos de control (ver la

sección 5.5.1). En la red del control, el presidente de la empresa, los directores de departamento, los directores de fábrica, los directores de sección, los supervisores, encargados y operarios de línea tienen que decidir sus propios puntos de control y preguntarse qué es lo que deben usar para verificarlos con objeto de desempeñar sus responsabilidades de control.

Los elementos que se pueden verificar no están restringidos a la calidad; también pueden incluir el coste unitario, el volumen de producción, la cantidad de mano de obra y de material requeridos para producir una unidad de producto, el volumen de ventas, el personal, la seguridad y otros elementos. Si la red de control está hábilmente desplegada, el control se puede realizar fácilmente y con confianza. Algunas características de control se deciden de acuerdo con la política, y otras proceden de la rutina diaria. Los directivos, desde los directores de sección hasta el presidente de la empresa, tienen usualmente de veinte a cincuenta elementos de control, mientras que los supervisores y los que están por debajo de éstos tienen de cinco a veinte.

Si las características de control elegidas se refieren a la calidad, se les llama características de calidad. Los lectores deben observar que en este libro se hace una distinción entre características de control y características de calidad.

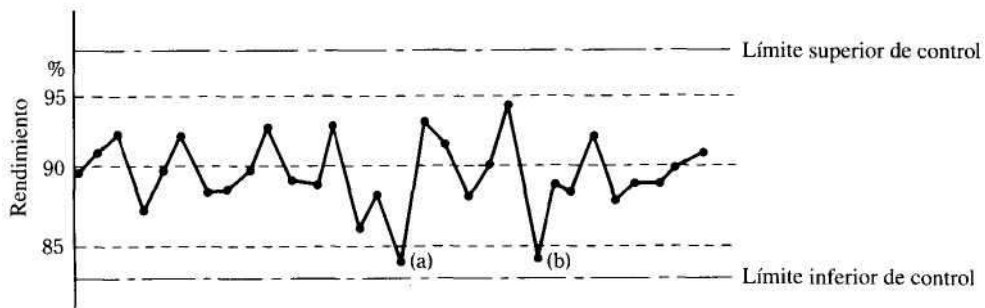
- iii) Los resultados siempre están dispersos. Las personas piensan a menudo que se producirá la misma cosa si se utilizan las mismas materias primas y el mismo equipo, y la misma persona utiliza el mismo método. Este es un malentendido grave. Algunas personas no entienden la dispersión estadística y empiezan a gritar si el rendimiento de la producción se sale incluso en una pequeña cantidad. Este tipo de comportamiento probablemente dará como resultado la salida de datos falsos del lugar de trabajo. Como se dijo antes, el número de factores que afectan a los resultados de nuestro trabajo es ilimitado, y no podemos controlarlos todos. Por mucho que nos ajustemos a las normas internas, los resultados de nuestro trabajo (calidad, volumen de producción, rendimiento, etc.) siempre seguirán una distribución estadística determinada. Así pues, cuando se juzga si ha ocurrido o no una anomalía en el trabajo o el proceso, tenemos que examinar cómo ha cambiado la distribución. En otras palabras, tenemos que juzgar y ejercer el control según una base estadística. Un gráfico en el cual se dibuja un par de líneas para los límites de control (llamado gráfico de control, ver la Figura 1.12) nos puede decir si una distribución ha cambiado o no con el tiempo, o si un resultado está fuera de lo normal. El uso de estos gráficos de control nos permite hacer juicios con más facilidad y más

objetivamente. Los gráficos sin límites de control, que no están dibujados en forma de gráficos de control, son útiles, pero los gráficos de control son más fáciles de utilizar. Cuando utilizamos gráficos de control, si controlamos un proceso tomando las características de calidad como nuestros resultados y los dibujamos, estamos controlando el proceso a través de la calidad.

Mucha gente llama "gráficos de control de calidad" a los gráficos de control, pero los gráficos de control son útiles con cualquier cosa que dibujemos, bien sea el volumen de producción, el coste unitario, el rendimiento o cualquier otro valor característico equivalente a una característica de control. Ya que los gráficos de control también se utilizan mucho fuera del campo del control de calidad, el término "gráfico de control de calidad" es inadecuado.

Los gráficos de control facilitan el trabajo de todos los que tienen responsabilidades de control, y los gráficos de control y otros gráficos deben ser vistos y utilizados por los líderes de todos los niveles. Sin embargo, aunque los gráficos de control nos dicen si existe una anomalía, no indican sus causas, y aún tenemos que descubrir esas causas y eliminarlas. La Figura 1.12 es un ejemplo de gráfico de control para un proceso en estado controlado. Si el rendimiento medio de un proceso fuera del noventa por cien, ¿reñiría a sus subordinados los días en que el rendimiento bajara al 83,5 % como en los puntos (a) y (b)? El puesto de trabajo que dio esas cifras estaba en realidad funcionando normalmente.

- iv) Para controlar un proceso a través de los resultados, es esencial aclarar el historial de los lotes de producto y de los datos, i.e., estratificar (ver la sección 4.3.2) los datos cuidadosamente (esto también se explica en la sección 2.1). Es imposible trazar la causa del defecto de un producto si no disponemos los datos de forma que sepamos qué materia prima se utilizó para fabricar el producto, qué máquina se utilizó, quién lo hizo, y cuándo se hizo. Los buenos controles y análisis son imposibles sin una diestra estratificación. A menudo, no se pueden utilizar para el control los datos de las inspecciones convencionales porque no se conoce el historial de los datos.
- v) La información se tiene que introducir tan rápidamente como sea posible, con exactitud, en el momento adecuado, a la persona adecuada. Por ejemplo, para utilizar los datos de inspección con fines de control, los resultados de la inspección deben estar estratificados por lotes y se deben comunicar directamente al puesto de trabajo.



**Figura 1.12: Un gráfico de control**

Los diversos métodos de verificación expuestos más arriba deben ser considerados por todos los directivos y supervisores, con respecto a sus propias áreas de responsabilidad y autoridad. Por supuesto que es bueno discutir con los especialistas de control de calidad si sus ideas son sólidas o no, pero también es importante que los no especialistas piensen por sí mismos.

### **(6) Entrar en acción**

Comprobar y dejar las cosas sin más no sirve de nada bueno. Si el trabajo no va bien o si hay alguna anomalía, algo hay que hacer. Las causas tienen que ser descubiertas y eliminadas del proceso para asegurarse de que el proceso o el trabajo avanza con fluidez. Cuando se hace esto, nuestro principal objetivo no es eliminar el síntoma sino las causas del síntoma, i.e., las causas básicas.

Para realizar el trabajo de acuerdo con las normas, tenemos que tener normas, especialmente de operación. Es trabajo de los directivos formar a la gente para que observe las normas y asegurarse de que lo hacen adecuadamente. Sin embargo, no siempre es culpa de los subordinados si no siguen las normas o si producen resultados extraños. Puede que las normas sean incompletas, no se haya establecido una atmósfera observante de las mismas, o que no estén claros los límites de responsabilidad y autoridad. La razón de no seguir las normas es, usualmente, una de las siguientes:

- i) El operario responsable es descuidado o no es consciente de que debe trabajar de acuerdo con las normas.
- ii) Se ha proporcionado una formación y una educación insuficiente en cuanto a las normas, o el operario las interpreta mal.

- iii) Las normas son inadecuadas e imposibles de seguir. Los métodos especificados pueden ser difíciles o tener tendencia al error, o requerir un nivel de destreza extremadamente elevado.

La primera de estas posibilidades es responsabilidad de los operarios y del personal de primera línea, pero las dos siguientes requieren la actuación de los directivos de nivel más alto. Cuando los operarios de fábrica cometen una equivocación, normalmente no tienen más que entre una quinta parte y una cuarta parte de la responsabilidad; las otras tres cuartas partes o cuatro quintas partes son responsabilidad de la dirección.

Esto quiere decir que cuando el trabajo no se hace de acuerdo con la norma, se debe acometer una de las acciones siguientes, de la (a) a la (e), enumeradas más abajo. Gritar y reñir no son ni unas acciones ni una buena dirección.

- (a) Trate de que los operarios hagan el trabajo de acuerdo con la norma y observe detenidamente lo que sucede.
- (b) Vuelva a entrenar a los operarios. Probablemente también sea necesario reflexionar sobre si la instrucción y el entrenamiento de los operarios fue deficiente o superficial, y vuelva a entrenarlos. Es erróneo pensar que tienen que poder hacer algo simplemente porque se les ha enseñado a hacerlo. En muchos casos, las personas no hacen lo que se les ha enseñado porque la enseñanza es deficiente. Si usted enseña algo y no es entendido, entonces su enseñanza fue inadecuada. Sin embargo, cuando los operarios no funcionan bien por muchas veces que se les enseñe o cuando persisten en cometer errores por descuido, tenemos que acometer una de las siguientes acciones:
- (c) Instituir mecanismos a prueba de falsas maniobras o cambiar a los operarios. Tener en cuenta la aptitud de los operarios para la tarea que se esté estudiando.
- (d) Revisar las normas. Algunas de las normas japonesas son tan malas que uno se pregunta cómo diablos se puede hacer ningún trabajo con ellas. Con frecuencia, el trabajo no se puede hacer de acuerdo con las normas porque éstas están muy mal elaboradas. De ser así, se tienen que revisar éstas. Esto se hace por medio de las actividades de los círculos de CC, recogiendo y analizando datos, realizando observaciones detenidas, y llevando a cabo experimentos de fábrica. En el estilo japonés del control de calidad total, se da gran importancia a esta clase de acción preventiva.
- (e) Modificar los objetivos y las metas. Las normas no son lo único que necesitan una revisión; a veces los objetivos y las metas también están mal. En este caso, debemos recoger datos suficientes, reconsiderar si los objetivos y las metas son o no correctos, y revisarlos si es necesario.

Los puntos del (a) al (d) son principalmente responsabilidad de los encargados de planta. Las acciones detalladas de (a) a (e) también pueden clasificarse desde un punto de vista diferente:

- (A) Acometer una acción inmediata para asegurarse de que las personas hacen lo que se les dice.
- (B) Acometer una acción para asegurarse de que en el futuro no vuelven a ocurrir las mismas equivocaciones (a esto se llama "prevención de la reaparición de problemas").

El punto (A) corresponde a la acción (a), mientras que el (B) corresponde a las acciones de la (b) a la (e).

En el CCT se da una especial importancia al punto (B), la prevención de la reaparición de problemas. Sin él no podemos afirmar que hayamos establecido un sistema adecuado de control y no avanzaremos. Sin (A), el proceso no puede permanecer en el estado controlado, mientras que sin (B), no se pueden introducir avances en el proceso. (A) es, por supuesto, responsabilidad de la línea de producción, pero (B) es responsabilidad de los círculos de CC, del *staff* y de los directivos.

Cuando se acometen estas acciones, no se tienen que confundir las causas de las anomalías con las regulaciones y los ajustes. Cuando se detecta una anomalía en los productos de un proceso, se tienen que descubrir sus causas y eliminarlas. El tratar de alcanzar buenos resultados por medio de medidas de parada y arranque sin mirar a las causas básicas de la anomalía es regular y ajustar.

Ejemplo: en un proceso de secado, algunos de los productos tenían un contenido de humedad anormalmente elevado. Si la causa de ello fuera un contenido de humedad elevado en la materia prima, se tendría que eliminar la causa de la anomalía, la humedad en la materia prima. Un recurso provisional tal como elevar la temperatura de secado sin hacer nada respecto al contenido de humedad de la materia prima, es un ajuste. Si no se elimina la causa de la anomalía, no será fácil que se estabilice el proceso.

Cuando las causas de las anomalías no están claras, o bien los directivos más altos no están haciendo lo que deben o pierden los estribos con facilidad o les está diciendo a los trabajadores que hagan lo imposible, o el concepto de control no ha llegado hasta el final de la cadena de mando, el sistema de control es inadecuado, la tecnología no se ha establecido adecuadamente, o no están claramente definidos los límites de la responsabilidad y la autoridad. Para eliminar las causas de las anomalías, todas las personas afectadas tienen que comprender la filosofía del control descrita más arriba y trabajar juntas para conseguir descubrir las causas básicas y encontrar los métodos para hacerles frente.

### (7) Verificar los resultados de la acción acometida

Aquellos que acometen una acción, junto con sus superiores, son los responsables de comprobar su eficacia. No es suficiente con acometer una acción y dejarlo en eso; sólo se nos podrá decir que hemos cumplido con nuestras responsabilidades cuando hayamos comprobado si la acción fue eficaz. Los gráficos de control también son útiles para esto.

Lo anterior es la filosofía básica del control, y el control sólo tiene lugar cuando se siguen los bucles mostrados en la Figura 1.13. Si se hace esto con respecto a unos objetivos de calidad claramente definidos, es control de calidad.

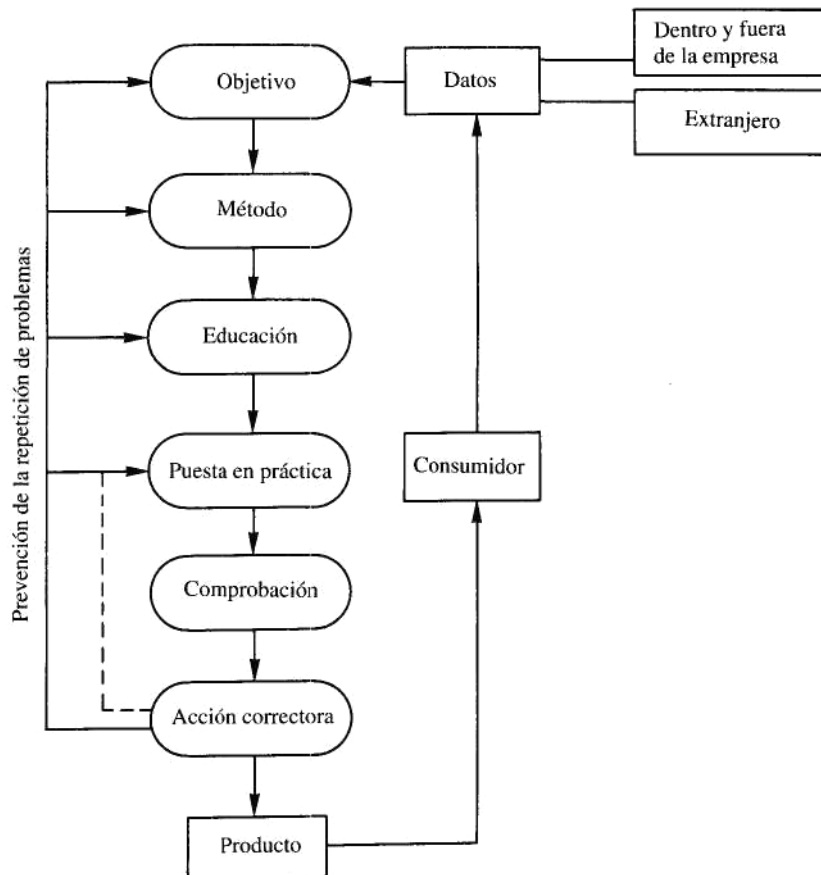


Figura 1.13: ¿Qué es el control?



Igualmente, el control se puede ejercer con eficacia si se utilizan con destreza los métodos estadísticos en cada una de las etapas anteriores. Esto es control estadístico. Cuando se ejerce con respecto a la calidad, es control estadístico de la calidad (CEC). Como se puede ver en la exposición anterior, nuestro fin es controlar la calidad, y tratamos de utilizar métodos estadísticos de todos los aspectos posibles como medio para lograrlo.

El uso del CEC y el CCT beneficia a los consumidores, a los empleados de la empresa y a los accionistas, y naturalmente, hace posible que los beneficios de la empresa se compartan entre estos tres grupos.

### **1.5.3 Las acciones para prevenir la reaparición de problemas ("arreglo permanente")**

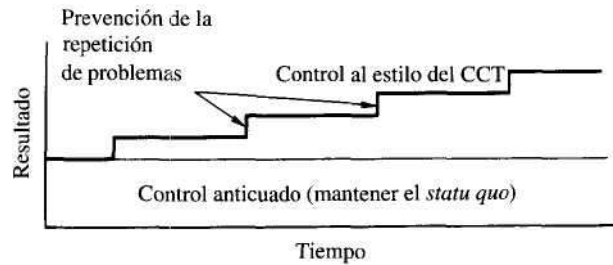
La frase "prevención de la reaparición de problemas" se pronuncia con facilidad, pero las personas son lentas en ponerla en práctica. En el CCT se practica mucho la prevención de la reaparición de problemas en las áreas de control y de garantía de calidad (i.e., desarrollo de un nuevo producto, problemas y reclamaciones de los clientes). La prevención de la reaparición de problemas quiere decir evitar que vuelvan a ocurrir anomalías durante el control del proceso (esto también se conoce como "arreglo permanente") y evitar que vuelvan a darse problemas y reclamaciones que pudieran surgir durante el desarrollo de un nuevo producto.

Las medidas convencionales de prevención son de los tres tipos siguientes:

- (1) Eliminar el síntoma (malo).
- (2) Eliminar un factor causal (regular).
- (3) Eliminar la causa básica (bueno).

De éstos, el (1) es una medida de parada y arranque, no una medida de prevención. (2) es una especie de medida de prevención pero todavía deja la posibilidad de que reaparezca un problema. Además de poner en práctica el segundo tipo de medidas, las medidas del tipo (3) para eliminar las causas básicas tienen que ampliarse a todas las áreas de la organización, incluso hasta llegar a reformar el sistema de dirección y revisar las normas internas importantes.

Cuando se ejerce el control como parte del CCT, damos prioridad a la prevención de que se repitan las causas de las anomalías. Ya que esto quiere decir que la causa no volverá a actuar, el trabajo o el proceso mejora poco a poco como se indica en la Figura 1.14. Así pues, aunque el tipo de control del que estamos hablando en el CCT pueda ser pasivo, produce una mejora constante y gradual por medio de la prevención de que vuelvan a repetirse las cau-



**Figura 1.14: El control al estilo del CCT y el control anticuado**

sas de las anomalías cada vez que se detectan y, por tanto, no es simplemente mantener el *statu quo*.

Todo esto es fácil de decir pero, en la práctica, a menudo las personas no hacen el esfuerzo suficiente para atacar las causas verdaderas y básicas de los problemas. Se las arreglan con medidas para apagar incendios y de ajustes, olvidándose del peligro una vez ha pasado. Es esencial que los directivos, los supervisores y los técnicos, así como las personas de planta, persigan tenazmente las medidas para prevenir la reaparición de los problemas.

## 1.6 Controlar la calidad

El fin del control de calidad es garantizar la calidad por medio de su control. Ya que esto se explica con detalle en los Capítulos del 4 al 6, aquí sólo mencionaré brevemente los puntos principales. Como se dijo en la sección 1.3 respecto a los avances de los métodos de garantía de calidad, controlar la calidad quiere decir poner en práctica la garantía de calidad por medio del enfoque del CCT, incorporando la calidad (incluyendo la fiabilidad) en un producto durante la etapa de su desarrollo (que comienza en la planificación del nuevo producto), llevando a cabo luego un control del proceso adecuadamente ejecutado y, si es necesario, haciendo una inspección.

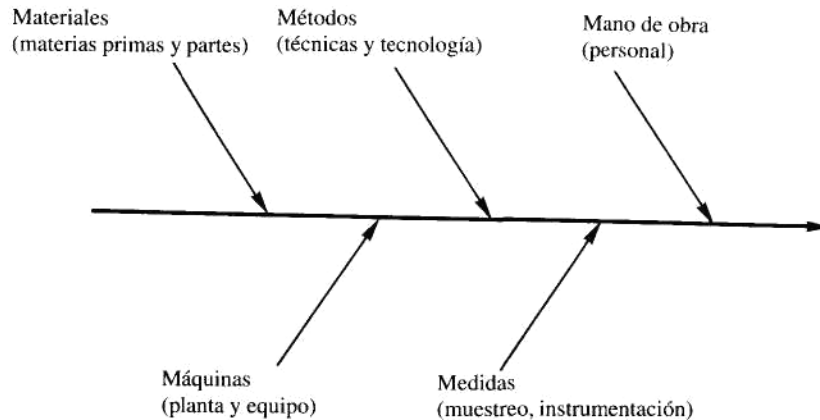
Cuando el control de calidad se pone en práctica por primera vez, se debe invertir este procedimiento: inicialmente se deben realizar inspecciones rigurosas para evitar molestar a los consumidores, luego se debe instituir un control del proceso rígido y, finalmente, se debe crear un sistema de garantía de calidad a través de la etapa de desarrollo del nuevo producto.

Cuando se pone en práctica el control de calidad, tenemos que gestionar las cinco "emes" (ver la Figura 1.15): mano de obra, materiales, máquinas, métodos y medidas. El control estadístico de calidad quiere decir usar métodos estadísticos para hacer esto en todas las situaciones.

## 1.6.1 Los fundamentos del Control de Calidad y de la Garantía de Calidad

Ya que la esencia del control de calidad es la garantía de calidad, me gustaría mencionar algunos factores básicos implicados en ella.

- 1) Orientación hacia el consumidor.
- 2) El enfoque de "la calidad es lo primero".
- 3) La calidad es cosa de todos -desde la alta dirección hacia abajo.



**Figura 1.15: Las cinco "emes" para crear productos y calidad**

- 4) La mejora continua de la calidad al girar alrededor del ciclo PHCA (ver la Figura 1.2).
- 5) La garantía de calidad es responsabilidad del productor (el vendedor, Le., el departamento de producción o el puesto de trabajo), no del comprador ni del departamento de inspección.
- 6) La calidad debe prolongarse desde el producto físico (i.e., el producto) hasta el intangible (i.e., servicios, trabajo, personal, departamentos, gestión, corporaciones, grupos, sociedad y entorno).

## 1.6.2 El sistema de la Garantía de Calidad

Mientras una corporación produzca y venda productos o servicios, tiene que planificar y diseñar la calidad que debe producir, y diseñar los procesos necesarios para producir esa calidad. Nos encontramos ahora en una era de competitividad internacional en el desarrollo de nuevos productos que están

basados en un equilibrio entre las exigencias de los clientes y las diversas capacidades, especialmente las de proceso, de los grupos corporativos (incluyendo las filiales) que los producen. Por tanto, se tiene que tener en cuenta tanto las exigencias de los clientes como las capacidades de los grupos; esto es lo que significa control de calidad por todo el grupo (CCTG). Por medio de él, las capacidades de una empresa pueden hacer progresos rápidos.

### **(1) La clasificación y definición de nuevos productos**

Puesto que un sistema de garantía de calidad empieza con el desarrollo de nuevos productos, tenemos que empezar por definir con exactitud y clasificar lo que queremos decir con nuevos productos.

- (A) Productos totalmente nuevos en el mundo } “productos de vanguardia”
- (A') Productos totalmente nuevos en Japón
- (B) Productos nuevos en la propia empresa pero que ya los producen otras empresas ("productos de retaguardia").
- (B') Productos parecidos a los actuales.
- (C) Cambio completo de modelo de los productos actuales.
- (D) Cambio menor de modelo de los productos actuales.
- (E) Productos por encargo especial.

¿Hasta dónde podemos llegar para seguir llamando nuevos a los productos? ¿Se pueden llamar nuevos los productos del tipo (D) en concreto? Cuando el cliente pide un ligero cambio en la especificación de un producto como en la producción por pedidos (punto E), probablemente no se pueda llamar nuevo al producto. La distinción entre estos tipos de productos son sutiles, pero las empresas tienen que tratar de que sean claras.

En el establecimiento y control de la política de beneficios y ventas de un nuevo producto tenemos que especificar el número de años durante los cuales se considerará que el producto es nuevo, y controlar los porcentajes de beneficios y ventas durante este periodo.

Para aclarar los criterios según los cuales considerar si un producto es un éxito, tenemos que formular normas para el control del desarrollo del nuevo producto que definan claramente cada uno de los pasos del desarrollo descritos en (2), así como la terminología utilizada en ellos.

El procedimiento de desarrollo se hace más sencillo conforme avanzamos por la lista anterior de nuevos productos, de (A) a (E); el procedimiento para los productos totalmente nuevos, (A), contiene todos los pasos, mientras que los procedimientos para los demás puede obtenerse omitiendo algunos de estos pasos. La producción por pedidos, y la de gran variedad y lotes pequeños puede considerarse aproximadamente de la misma forma.

Hay varios métodos para clasificar los nuevos productos. Un método, que los clasifica según la presencia o ausencia de tecnología y rutas de venta, se muestra en la Tabla 1.2. En este caso, la atención necesaria para el estudio del nuevo producto aumenta de (D) a (C) a (B) a (A).

**Tabla 1.2: Un método para clasificar los nuevos productos**

|                |    |    |
|----------------|----|----|
| Tecnología     | Sí | No |
| Ruta de ventas | D  | C  |
| Sí             | D  | C  |
| No             | B  | A  |

## (2) Sistema de Garantía de Calidad

En la Figura 1.16 se muestra un sistema de garantía de calidad.

- (a) Este sistema es sencillísimo, pero cada empresa tiene que preparar un organigrama que indique lo que cada departamento debe hacer en cada paso, qué debe hacer qué comité u otro cuerpo, y quién debe decidir pasar al paso siguiente.
- (b) El propósito del gráfico del sistema de garantía de calidad es unificar las ideas de toda la empresa; no es más que un guión general, y su preparación no hace nada por la garantía de calidad en sí misma. Partiendo de la política de calidad de la alta dirección, es necesario decidir quién debe hacer qué en cada paso (en particular, qué investigaciones deben llevarse a cabo y qué clase de ensayos se deben realizar bajo qué condiciones, con objeto de poner en práctica la garantía de calidad) por medio del análisis de los datos, el análisis de la calidad, y los experimentos, todos ellos haciendo uso del enfoque del CC. El número de elementos ensayados puede variar entre unos trescientos para los productos más sencillos, hasta unos 2.000-10.000 para los productos complejos.
- (c) Este proceso se clasifica usualmente en los siete pasos mostrados en la Figura 1.17. Como se indica en esta figura, en cada paso se establecen subcentros (SC) para promover el desarrollo de nuevos productos y girar alrededor del ciclo de PHCA. Dirigidos por un centro del conjun-

to de la empresa, estos subcentros giran alrededor del ciclo para el desarrollo del nuevo producto, para acelerar éste y poner en práctica la prevención de la reaparición de los problemas.

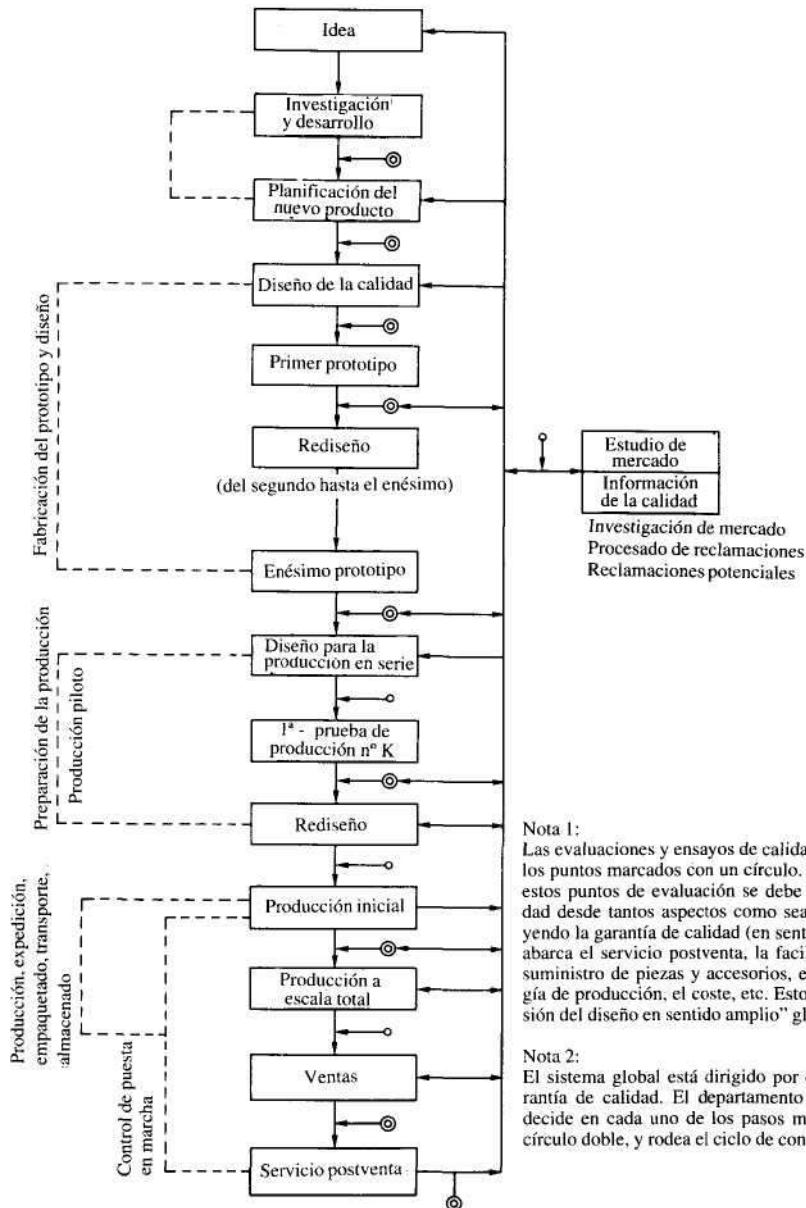
- (d) Es muy importante evaluar y valorar factores tales como la calidad, el coste unitario y los tiempos de espera en cada paso, con objeto de decidir si se puede proseguir o no con el paso siguiente, e.g., desde la etapa de planificación a la etapa de diseño y fabricación del prototipo, o desde la etapa de diseño y fabricación del prototipo a la etapa de la producción piloto.
- (e) Las evaluaciones y ensayos de garantía de calidad deben llevarse a cabo en la etapa más temprana posible; las personas de departamentos tales como ventas, investigación y desarrollo, diseño, tecnología de producción, producción, compras y subcontratos, y servicios postventa deben intervenir en ellos en las etapas de planificación del nuevo producto y de la fabricación del primer prototipo, con objeto de eliminar los problemas potenciales.

A continuación se enumeran las cosas que se tienen que hacer en cada paso:

### **(3) La etapa de planificación (primer paso)**

Esta etapa se centra en la preparación de los planes para el nuevo producto, y se fija en factores que incluyen a qué consumidores va destinado, el precio de venta y el coste unitario, el volumen de ventas (mensual, total, durante el ciclo de vida), la calidad (expresada con las propias palabras de los consumidores y clasificadas adecuadamente), y la programación de las ventas. Los puntos a investigar incluyen la información del mercado (necesidades de los consumidores, insatisfacción, reclamaciones), la información técnica (tecnología actual, capacidades de proceso, capacidades de producción, investigación, diseño, capacidad técnica, presencia o ausencia de éstas), recursos de personal, capacidad financiera, existencia de rutas de venta y capacidad de ventas y servicio, y la capacidad para el aprovisionamiento de materiales y subcontratos. Estas investigaciones deben llevarse a cabo no sólo desde el punto de vista doméstico sino con un enfoque internacional, para obtener información en apoyo de los planes para el nuevo producto. Esto contribuirá a persuadir a las personas de dentro de la empresa, especialmente a la alta dirección, de que el producto se venderá.

Las culturas corporativas de algunas empresas les permiten tener éxito con los nuevos productos mientras que las de otras, no.



**Figura: 1.16: Un sistema de Garantía de Calidad**



**Figura 1.17: PHCA para el sistema de Garantía de Calidad**

#### **(4) La etapa de diseño y fabricación del prototipo (segundo paso)**

Este paso gira alrededor de los planes para el desarrollo del nuevo producto, la calidad pretendida (análisis de calidad, características de calidad sustitutas en términos técnicos, y su clasificación), el coste unitario pretendido, el diseño del proceso, gráficos de proceso de CC 1, establecimiento de los elementos, métodos y condiciones de los ensayos de garantía de calidad, y el control del diseño, la investigación y la fabricación del prototipo.

Para ello se tiene que estudiar, investigar, desarrollar y deliberar lo siguiente: investigación de fabricación y producción, tecnología de producción,



varios tipos de capacidades de proceso, investigación de producto, pruebas, investigación de los métodos de uso, investigación de los métodos para evaluar y ensayar los nuevos productos, ensayos prácticos, experimentos conjuntos con los usuarios, ensayos de fiabilidad y consideraciones de mantenimiento.

Este paso también incluirá la selección de las características de calidad sustituías, incluyendo la revisión de los métodos de ensayo e inspección, la preparación de los gráficos de proceso de CC 1, la revisión del diseño, el diseño externo, el empaquetado, el mercado-test, las técnicas de marketing, la organización para la distribución, y la determinación de las normas de diseño y las de la tecnología del diseño.

Se debe repetir el diseño y la fabricación de prototipos hasta que las condiciones anteriores sean satisfechas en un grado razonable. Por lo menos, se tienen que fabricar tres primeros prototipos, y examinar éstos desde todos los puntos de vista (ventas y servicio, comportamiento, tecnología de producción, fabricabilidad, etc.) para identificar cualquier punto insatisfactorio.

### **(5) La etapa de la producción piloto (tercer paso)**

A esta etapa corresponde la preparación de los gráficos de proceso de CC 2 y de diversas normas, e.g., las especificaciones del producto final, del producto intermedio y de las materias primas, las normas técnicas, las normas operativas, de control del proceso, del equipo, de control del equipo, del mantenimiento y control de calibres, herramientas, moldes, matrices, instrumentos de medida y de control, normas de empaquetado, de transporte, y normas de inspección para las inspecciones de aceptación de materias primas y las inspecciones intermedia, final y previa al envío.

Para todo ello es necesario decidir los siguientes puntos antes de iniciar la producción piloto o, a muy tardar, antes de que se finalice:

- Los métodos de control de costes (e.g., cantidad estándar de materiales y mano de obra para una unidad de producto, el coste unitario estándar).
- Los métodos de control de cantidades (e.g., volumen de producción, inventario, volumen de ventas).
- Los métodos de marketing, establecimiento de la organización para la distribución (incluyendo el servicio postventa).
- La preparación de manuales de venta: catálogos, folletos de instrucciones, listas de recambios, manuales de mantenimiento, procedimientos para el procesado de reclamaciones, etc.
- La educación y entrenamiento: personal de producción, *staff de ventas* y servicio, subcontratistas.
- El mercado-test.

Para entrar en la producción real también se tienen que comprobar los siguientes puntos:

- ¿Cuál es el propósito de llevar a cabo la producción piloto?
- ¿Cómo es la dispersión del producto durante la producción piloto?
- ¿Son satisfactoriamente intercambiables las piezas?
- ¿Cuál es el valor de la tasa de paso directo?
- ¿Qué porcentaje de calibres y herramientas, moldes y matrices, instrumentos de medida y técnicas de inspección se utilizan para la producción en serie?

### **(6) La etapa de compras y subcontratos (cuarto paso)**

Ver la explicación de este paso en la sección 1.6.3.

### **(7) La etapa de producción (quinto paso)**

El que la producción real proceda fluidamente o no es una cuestión vital que afecta a la supervivencia de la empresa, pero el que un nuevo producto salga con el pie derecho o no, depende de lo bien que se haga el control de las fuentes, que consiste en los pasos del 1 al 4. Claro que el departamento de producción y el puesto de trabajo son responsables del control del proceso y la mejora en el quinto paso. Para que esto se haga correctamente, se tienen que haber decidido claramente los puntos anteriores, se tiene que haber suministrado la educación y el entrenamiento, se tiene que haber ejercido el control y la mejora por medio de las actividades de los equipos y círculos de CC, y la garantía de calidad se tiene que perfeccionar con la cooperación del departamento de inspección (ver la sección 1.5.2 y el Capítulo 4).

### **(8) La etapa de marketing (sexto paso)**

Por muchos productos o servicios que se produzcan, su producción no tiene sentido si los clientes no están satisfechos después de su compra. Para conseguir la satisfacción de los clientes tenemos que vender productos y servicios que satisfagan los requisitos de los clientes, y tenemos que proporcionar un servicio prevenia. Con este fin se tienen que preparar y mejorar continuamente las normas relacionadas con marketing tales como las mencionadas en el tercer paso. Algunas orientaciones especialmente importantes para el *staff* de ventas y otras personas relacionadas con marketing son:

- (a) Comprender bien la filosofía que hay detrás del CCT, el CC y las actividades de los círculos de CC.

- (b) Comprender claramente los requisitos, las necesidades y los deseos de los clientes, los métodos de uso del producto, las reclamaciones latentes, etc.
- (c) Tener unos conocimientos excelentes del producto y del servicio postventa, y de la tecnología.
- (d) No tratar de vender bienes y servicios por medio de la reducción de sus precios; venderlos por su calidad. Controlar los márgenes de beneficios en las ventas.
- (e) Controlar el volumen de ventas no en términos de los valores de las ventas totales sino por medio de cifras para cada producto por separado, para elementos tales como el volumen de ventas, los inventarios, el número de unidades defectuosas en almacén, la proporción de existencias, los plazos de entrega, la proporción de productos agotados, etc.

### **(9) La etapa del servicio postventa y de estudios (séptimo paso)**

El vender un producto y olvidarse de él está muy lejos del enfoque del CC. Por duro que hayamos trabajado en la garantía de calidad de nuestros productos, aún no es suficiente, a menos que también suministremos el servicio postventa (que incluye el suministro de consumibles), ofrezcamos mantenimiento y reparaciones periódicas, tratemos las reclamaciones de los clientes, y nos anticipemos a las insatisfacciones de los clientes y sus esperanzas, necesidades y deseos para el futuro. También es importante controlar y mejorar el sistema de garantía de calidad, incluyendo la planificación de nuevos productos, los cambios de diseño de los productos actuales, la organización para el servicio postventa, etc. Sin embargo, para proporcionar esto a escala nacional o mundial hace falta esfuerzo, investigación y experiencia durante un largo periodo de tiempo.

No me gusta mucho el término *"hanbai-bu"* ("departamento de ventas"); a menudo sugiere a las personas de ese departamento que su trabajo es solamente vender (sexto paso), y hace que no lleven a cabo correctamente el séptimo paso. El término *"eigyō-bu"* ("departamento de marketing y ventas"), por otra parte, junta el sexto y el séptimo paso. En Europa y América algunas de las actividades del séptimo paso están incluidas en el nombre de "marketing", pero en Japón preferiría verlas todas juntas bajo el nombre de *"eigyō"* ("marketing y ventas").

### **(10) Resumen: promoción del establecimiento de un sistema de Garantía de Calidad**

Una característica del CCT es girar de este modo y constantemente alrededor del ciclo PHCA.

En cada uno de los siete pasos descritos más arriba, el subcentro pertinente ("SC" de la Figura 1.17) hace de centro para la promoción del progreso de la programación del desarrollo del nuevo producto, la garantía de calidad y el control del coste en ese paso en concreto, mientras que el desarrollo del nuevo producto se promociona en toda la empresa, de acuerdo con la información suministrada por todos los subcentros. Algunos puntos que se deben observar cuando se hace esto son:

- (a) La decisión de cuándo pasar de un paso a otro es importante (las decisiones importantes se indican con el símbolo © en la Figura 1.16). Por ejemplo, cuando se decide si es correcto pasar del segundo paso (fabricación y diseño del prototipo) al tercero (producción piloto), se tienen que revisar adecuadamente los aspectos de la garantía de calidad, el coste unitario y la facilidad de fabricación (i.e., productividad). Esta revisión se remite luego a un comité de nuevo producto presidido por un alto directivo, y se decide si se debe volver a hacer el prototipo o si se procede a la producción piloto y la preparación para la producción real.
- (b) Cuando se hace esto, en principio, todos los diferentes trabajos deberían haber alcanzado la misma etapa de evolución y deberían pasar simultáneamente al paso siguiente. En la práctica, sin embargo, no todos los problemas se habrán resuelto al mismo tiempo. Se tienen que identificar claramente como tales las áreas incompletas cuando se pasan al paso siguiente.
- (c) En cada paso se tiene que comparar el trabajo con los planes del nuevo producto, que son la base de toda la operación, para asegurarse de que se han cumplido. Naturalmente, cada vez que se hace esto se tienen que volver a verificar los planes del nuevo producto para asegurarse de que siguen siendo satisfactorios.
- (d) Como ya he dicho antes, los propósitos de los diversos ensayos realizados tienen que revisarse en cada paso, y se deben revisar y ampliar sus métodos y condiciones en particular, a la luz de los fallos y las reclamaciones. Esto contribuirá al fondo tecnológico de la empresa y se convertirá en una fuente importante de conocimientos prácticos para el futuro. Aumentar conscientemente los conocimientos de la empresa y acumular experiencia de este modo permitirá producir nuevos productos buenos rápidamente y con una garantía de calidad satisfactoria.
- (e) Las cuestiones descritas antes deben ser discutidas en las conferencias de nuevo producto y en las reuniones del comité de garantía de calidad para una función específica, y se debe mejorar el sistema al mismo

tiempo que asegurarse de que la responsabilidad y la autoridad de cada departamento siempre está clara.

### **1.6.3 El control de las materias primas y de los subcontratos (materiales)**

De media, la industria manufacturera japonesa compra a proveedores externos una cantidad de materiales que es equivalente al 70% de los costes totales de fabricación de sus productos. Esto significa que la garantía de calidad, la reducción de costes y el control de los plazos de entrega sería imposible si el aprovisionamiento y la subcontratación de materias primas y piezas no funcionara con fluidez.

Los productos buenos y fiables no se pueden hacer con materias primas y piezas malas. Sin embargo, tecnología significa hacer buenos productos con materias primas de la calidad más baja posible.

Algunos factores relativos al control de materias primas y de los subcontratos son los siguientes:

- 1) Los diez principios del CC para vendedores y compradores (ver la sección 7.5).
- 2) Política básica de subcontratación y compras a largo plazo.
- 3) Especificaciones de materias primas y piezas, normas de la inspección de aceptación, normas de control de almacén (el sistema justo a tiempo, control por lotes, estratificación y nivelado).
- 4) Distinción entre artículos comprados y fabricados.
- 5) Selección y desarrollo de proveedores, desarrollo de fabricantes especializados, educación en el CCT.
- 6) Contratos y documentos de contratos (primas y penalizaciones).
- 7) Experimentos conjuntos con los proveedores.
- 8) Establecimiento de un sistema de garantía de calidad por todo el grupo y un sistema de adquisiciones sin inspección.
- 9) Métodos para hacer pedidos y control del producto almacenado, estratificación de los pedidos, reducción de los tiempos de espera, sistema justo a tiempo.

### **1.6.4 El control de los equipos (máquinas)**

No se pueden producir buenos productos sin diseñar, instalar, mantener y controlar el equipo, la maquinaria, los aparatos, las matrices, moldes, calibres, herramientas, etc., junto con el diseño del proceso. Conforme se automatizan más las fábricas de máquinas y equipos eléctricos, se parecen más a las indus-

trias de proceso; por tanto, debemos estudiar estas últimas. Recientemente, la producción en serie se ha hecho prácticamente inexistente, y la mayoría de la fabricación es del tipo de alta variedad y lotes pequeños. Esto significa que, al mismo tiempo que promovemos la normalización, también tenemos que hacer que nuestro equipo sea más flexible.

A continuación hay algunos puntos importantes de la puesta en práctica del control del equipo:

- 1) Diseño, selección e instalación del equipo.
- 2) Normas para controlar el uso del equipo.
- 3) Estudios de las capacidades de proceso y maquinaria: investigación y mejora, dinámicos y estáticos, estadísticos, equilibrado de líneas.
- 4) Adelantos en los métodos de control del equipo:
  - i) Reparación si se estropea.
  - ii) Mantenimiento del equipo para que no se estropee. Mantenimiento preventivo (MP), duración e inspección, intervalos de sustitución, distribuciones de la duración (fiabilidad), datos sobre la duración e historial del equipo, prevención de la reaparición de los problemas.
  - iii) Control para mantener la capacidad del proceso.
- 5) Sustitución del equipo: sustitución basada en la depreciación, sustitución porque la tecnología se ha quedado anticuada.

## **1.6.5 Los métodos de trabajo y la normalización (métodos)**

El control de los métodos de trabajo se trató en la sección 1.5.2 (2). Ver una explicación de la normalización -e.g., normas de trabajo, normas técnicas, etc.- en la sección 5.4.

## **1.6.6 El control de las medidas (mediciones)**

Si las medidas y los ensayos no se realizan correctamente, no se obtendrán datos exactos. Algunos puntos importantes a tener en cuenta en el control de las medidas son los siguientes:

- 1) Teoría de los errores y control de los mismos.
- 2) Selección y control de los instrumentos de medida, calibres y herramientas, galgas, y métodos analíticos.
- 3) Control de los métodos de muestreo y de medida.
- 4) Comprobar, inspeccionar y volver a calibrar los instrumentos de medida no es otra cosa que arreglar los instrumentos que se han estropeado;

esto es inspección, no control de instrumentos. Control de instrumentos quiere decir usar los instrumentos de modo que no se estropeen y no se descubran defectos cuando se comprueban.

- 5) El control de las medidas consiste en asegurarse de que se puede confiar en los datos obtenidos dentro de un cierto intervalo de error.

### **1.6.7 El personal (hombres) y la educación**

La calidad está planificada, diseñada, fabricada y comercializada por personas, y los bienes y servicios son comprados y usados por personas. Aunque la automatización, la robotización, la computarización y mecanización de las oficinas se extienda más, aún son utilizadas por personas. Se nos ha dicho durante mucho tiempo que "una empresa son sus personas", y la razón por la que el CCT al estilo japonés tiene tanto éxito es porque respeta al ser humano y hace que las relaciones humanas sean fluidas, al tiempo que hace posible que todo individuo ejercite todas sus capacidades a través de las actividades de los círculos de CC y la implicación de todos los departamentos y empleados.

Las personas tienen varios deseos, tales como tener una vida feliz, adquirir habilidades, hacer amigos, ser amadas, sentirse orgullosas y ejercer influencia. La felicidad adopta muchas formas, tales como la satisfacción financiera, la satisfacción en el trabajo y la satisfacción del desarrollo personal y la aceptación interpersonal. El control de calidad total tiene que ser puesto en práctica de tal modo que se satisfagan estos deseos y se proporcione esta felicidad.

Igualmente, mientras los puestos de trabajo estén ocupados por personas, tienen que ser lugares en donde se respete al ser humano. Sin duda, los filósofos tienen mucho que decir sobre lo que constituye el ser humano, pero, como ingeniero, he promovido el control de calidad total y las actividades de los círculos de calidad basándome en la simple creencia de que los seres humanos diferimos de los animales y las máquinas en los dos aspectos siguientes:

Primero, las personas trabajan autónomamente, por voluntad propia, espontáneamente, bajo su propia motivación. Trabajar siguiendo órdenes e instrucciones de arriba no es distinto de ser una máquina, y la gente trabajará a regañadientes bajo semejantes condiciones. Al utilizar a las personas como máquinas bajo el viejo sistema de Taylor, como se hace a veces en Europa y América, se pierde el interés por el trabajo y se convierte en algo parecido al mundo industrial retratado en la película de Charlie Chaplin, *Tiempos Modernos*. Aburrir a la gente y hacerla trabajar sin ganas nunca puede producir buenos productos o servicios.

Segundo, las personas piensan y usan la cabeza mientras trabajan. Si las personas siguen pensando y haciéndose preguntas mientras trabajan, surgirán

buenas ideas y producirán un montón de sugerencias excelentes. Esto favorece la creatividad y facilita el desarrollo de nuevos productos y nuevas tecnologías. En las empresas que están poniendo en práctica activamente el control de calidad total y las actividades de los círculos de CC, el número de buenas sugerencias aumenta rápidamente y se puede esperar que llegue de doce (una al mes) a cincuenta (una a la semana) por persona y año, y se adoptan entre el sesenta y el setenta por cien de las mismas.

Una de las filosofías más importantes del control de calidad total y de las actividades de los círculos de CC es encontrar una postura directiva que facilite el que las personas expresen sus cualidades humanas y que motive de este modo a cada individuo. Sin embargo, el mero hecho de que adoptar esta clase de postura directiva no hará mejores a las personas, y si las personas no mejoran, no se pueden producir buenos productos y servicios.

Esto significa que se tiene que educar y entrenar a toda la mano de obra, desde el presidente hasta los operarios de la línea de producción, el personal de ventas y los empleados a tiempo parcial, así como a todo el *staff* de las empresas asociadas tales como las de los subcontratistas y las organizaciones distribuidoras (ver la sección 1.5.2 (3)).

Como la mano de obra de una empresa cambia constantemente y siempre hay gente nueva, yo digo que "el CC empieza con la educación y termina con la educación". Ya que el control de calidad tiene que continuar mientras la empresa siga vendiendo bienes y servicios, el entrenamiento y la educación en CC también tienen que llevarse a cabo sin interrupción, durante los tiempos buenos y los malos.

En relación con esto, deben señalarse los puntos siguientes:

- 1) La educación y el entrenamiento son necesarios: muchas empresas europeas y norteamericanas ignoran la primera.
- 2) Los métodos para la educación y el entrenamiento incluyen:
  - i) La educación en grupos,
  - ii) La educación y el entrenamiento de los subordinados por parte de los superiores.
  - iii) La delegación de la autoridad,
  - iv) El desarrollo mutuo:
    - En casa: comités, reuniones para discutir asuntos, sesiones informativas.
    - Fuera: convenciones de CC, convenciones de los círculos de CC, reuniones de intercambio de círculos de CC, seminarios, etc.
  - v) Autodesarrollo, estudio en privado.



- 3) Los planes a largo plazo para la educación y la designación de personal debe tener en cuenta: la reorganización de las organizaciones, la evaluación del personal con fines educativos, la rotación de trabajos y el desarrollo de operarios pluricapacitados.
- 4) La organización implica responsabilidad y autoridad, delegación de la responsabilidad, informar y verificar, personal de línea y de *staff*, *staff* de servicio y *staff* general, deseos individuales, rotación del trabajo, selección del personal, categorías y salarios, deberes y posición social, pruebas de aptitud, designaciones justas y remuneración.
- 5) En cuanto al personal y la evaluación del carácter, no se puede confiar mucho en las puntuaciones de las pruebas, los resultados de los exámenes de ingreso, los resultados de licenciatura y los resultados de los exámenes para entrar en la empresa. Las personas cambian con rapidez como resultado de sus propios esfuerzos, el comportamiento de sus superiores y la educación y el entrenamiento. Las evaluaciones tienen que hacer uso de los historiales de servicio y la autoevaluaciones, y buscar atentamente la originalidad y el ingenio, los esquemas de sugerencias, la iniciativa y las actitudes positivas, el liderazgo.
- 6) La dirección del personal debe ejercitar las capacidades de las personas.

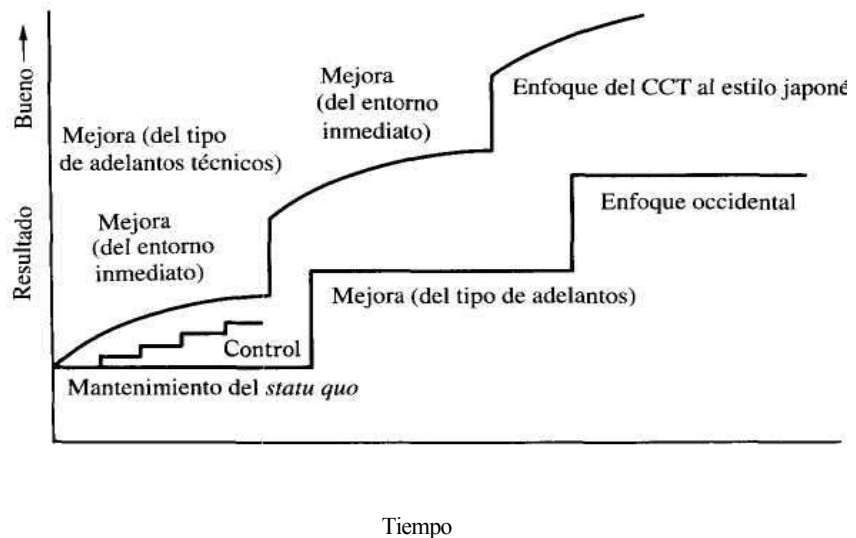
## 1.7 La calidad y la mejora de los procesos

### 1.7.1 Filosofía y condiciones básicas para el control y la mejora

El control se inclina más por hacer el uso máximo de las capacidades existentes y producir una mejora gradual al introducir diversas medidas de prevención de la reaparición de problemas al mismo tiempo que mantiene los estándares actuales. No consiste meramente en mantener el *statu quo*. La mejora, por otra parte, quiere decir dar pasos para mejorar las capacidades existentes. A primera vista, por tanto, el control y la mejora parecen ser trabajos diferentes. El problema en Estados Unidos y Europa es que las personas suelen pensar en el control y la mejora como si fueran trabajos separados y con personas responsables diferentes para cada uno de ellos. De hecho, están relacionados de una forma particular.

Cuando tratamos de ejercer el control, la mejora ocurre de forma natural; cuando tratamos de efectuar la mejora, comprendemos de forma natural la importancia del control. En otras palabras, el control y la mejora son como las dos ruedas de una bicicleta; si una de ellas no gira correctamente, la bicicleta no avanzará con fluidez.

Aunque la mejora consiste en buscar activamente los problemas y hacerles frente, se puede dividir en dos tipos diferentes: mejora del entorno inmediato de uno, y mejora a escala total basada en las prioridades. La primera consiste en que las personas de cada puesto de trabajo buscan activamente los problemas de su entorno inmediato y les hacen frente uno a uno. Este es el tipo de mejora promovido por el uso de las actividades de los círculos de CC, los esquemas de sugerencias y otros esquemas para promover la originalidad y el ingenio en el puesto de trabajo. Como en inglés no existe un concepto equivalente, algunos ingenieros y directivos de habla inglesa usan la palabra japonesa "kaizen" sin una traducción que la describa. También podría llamarse "mejora continua".



**Figura 1.18: La filosofía del control y la mejora. (Ver la Figura 1.14)**

En oposición a esto, también está la mejora a escala total basada en las prioridades y en los adelantos. Este es el tipo de mejora en el que una empresa establece prioridades y trata de mejorar por medio de la innovación técnica; requiere inversiones en investigación, desarrollo y equipo. Este tipo de mejora la realizan equipos de proyectos, grupos de trabajo, equipos de CC u organizaciones funcionales. Sin embargo, una vez se han establecido las prioridades y se han reunido los conocimientos de todos, sorprendentemente se ve a menudo que los problemas que se pensaba que requerían este tipo de mejora son problemas de mejora continua. Las relaciones entre el mantenimiento del *statu quo*, el control, la mejora continua y la mejora basada en las prioridades y los adelantos están dibujadas en la Figura 1.18.

- i) Mejora del entorno inmediato
  - ii) Mejora basada en las prioridades
- } Mejora

Éstas se tratan con más detalle en el Capítulo 4, pero las tres condiciones básicas siguientes son el requisito mínimo para efectuar la mejora:

- 1) Liderazgo y apoyo por parte de la alta dirección con respecto a la innovación y el espíritu pionero, junto con la indicación de las políticas y objetivos concretos; la creación de un sistema y una atmósfera en la que los fallos no provoquen temor o enfado.
- 2) Transformar a la empresa en una organización impregnada de espíritu innovador y pionero. Algunas empresas están desarrollando nuevos productos continuamente mientras que a otras les resulta difícil. El tipo burocrático de empresa en la cual "se clava cualquier clavo que se salga" -i.e., empresas en las que se aplasta la iniciativa y las personas piensan que es mejor no hacer nada que arriesgarse a hacer algo malo son buenas. Se tiene que crear una atmósfera en la cual todos los empleados sean conscientes de los problemas por iniciativa propia, y en la que nadie, incluyendo a los directores de departamento y de sección, se asuste o enfade por un fallo. Es perfectamente satisfactorio que tenga éxito el cinco por cien de las ideas nuevas; es normal que falle el noventa y cinco por cien. Me gustan la historia del huevo de Colón<sup>7</sup> y las palabras "invención y ejecución".
- 3) Una organización empresarial que sea capaz de responder prontamente a los estímulos. Esto significa una organización empresarial capaz de actuar rápidamente en respuesta a los cambios en el entorno comercial internacional (e.g., depresiones y auges, fricciones comerciales, etc.), los movimientos de otras empresas pertenecientes a la misma industria o a otras diferentes, no sólo en casa sino en el extranjero, las auditorías por consultores externos, los exámenes para el Premio Deming, o las auditorías por el comité del Premio Deming. Responder al cambio en vez de tomar la iniciativa es un enfoque pasivo, pero los seres humanos tenemos nuestros puntos débiles y solemos no movernos a menos que estemos sometidos a algún estímulo externo. Sin embargo, hubiera sido todavía peor si una empresa no buscara la estimulación, fuera insensi-

---

7

Nota del traductor al inglés: Cuando algunas personas quitaban mérito al descubrimiento de América por Colón diciendo que cualquiera podría haberlo hecho, éste las retó a que pusieran de pie un huevo. Después que lo intentaran y se rindieran, les demostró cómo hacerlo aplastando un extremo sobre la mesa para que se sostuviera sobre el extremo aplastado.

ble a ella o no adoptara ninguna medida incluso cuando fuera consciente de su necesidad u oportunidad.

En resumen, es vital que todas las personas de la empresas sean conscientes de los problemas, y que piensen constantemente en los posibles adelantos y la mejora continua. La empresa debe fomentar y utilizar esto con habilidad, y debe avanzar a través de una mejora incansable. Cuando las personas creen que no tienen problemas dejan de andar hacia adelante y empiezan a ir hacia atrás. Sin embargo, todos éstos son problemas humanos que dependen de las actitudes de las personas y de los modos de pensar.

### 1.7.2 Los pasos para mejorar

Los siguientes son los pasos que se deben dar para efectuar la mejora:

- 1) Realizar investigaciones y análisis para identificar el *statu quo* y poner de manifiesto los problemas.
- 2) Decidir qué problemas abordar y establecer metas.
- 3) Fijar las estructuras y las responsabilidades de las organizaciones para mejorar (equipos de CC y círculos de CC); formular planes de actividades.
- 4) Identificar el *statu quo*.
- 5) Llevar a cabo el análisis de los procesos.
- 6) Preparar los planes de acción.
- 7) Acometer las acciones.
- 8) Comprobar los resultados.
- 9) Realizar la prevención de la reaparición de problemas, la normalización y los arreglos permanentes.
- 10) Establecer el control.
- 11) Identificar los problemas remanentes y revisar los progresos.
- 12) Preparar los planes para el futuro.

Además de procedimiento para mejorar, esto también podría llamarse procedimiento para descubrir y resolver problemas.

### 1.7.3 Investigaciones y análisis para poner de manifiesto los problemas

Cuando se ha descubierto el problema real, ya se está a mitad de camino hacia su resolución. Si no se ejercita adecuadamente el control, no se pueden descubrir las áreas problemáticas, y las personas no hacen más que darle vuel-

tas confusamente. Los puntos claves de la investigación y el análisis, con el fin de detectar los problemas, son los siguientes:

- 1) Tanto los trabajadores de la línea de producción como los de *staff* son responsables de esta clase de investigación. Sin embargo, los directivos son responsables de descubrir los problemas y tomar decisiones. Todos los empleados de la empresa son responsables de la investigación y todos deben estar preparados para hacer de investigadores. Todo el mundo debe ser consciente de los problemas y señalar activamente los mismos sin que se les diga que lo hagan.
- 2) Se tiene que identificar cuidadosamente la situación real. Esto puede querer decir, por ejemplo, mirar atentamente el puesto de trabajo y descubrir las verdaderas capacidades de los procesos.
- 3) Para identificar el *statu quo*, establecer la política y descubrir los problemas hacen falta datos. A menudo, no es fácil encontrar estas clases de datos (datos estratificados, distribuciones de frecuencias, gráficos de Pareto, gráficos y gráficos de control).
- 4) Se pueden reunir los conocimientos de todo el mundo (preguntar la opinión de todos los implicados, emplear esquemas de sugerencias, celebrar sesiones de creatividad imaginativa).
- 5) Cuando hay un plan de beneficios claro, se debe dar a las personas fechas tope para descubrir los problemas que, cuando se resuelvan, producirán un ahorro superior a cierto mínimo.
- 6) Tiene que haber un departamento responsable de acumular los datos de las investigaciones, analizarlos y detectar los problemas desde un punto de vista general. Sin embargo, todos los departamentos deben remitir datos, y los directivos tienen que tomar las decisiones.
- 7) Tiene que haber un medio para asegurar que la información no esté distorsionada ni sesgada, que la red de información esté intacta y que la información sea exacta.

#### **1.7.4 Decidir qué problemas hay que abordar, las metas y las fechas tope**

- 1) Deben decidirse de antemano los métodos para determinar qué problemas deben acometerse y cómo evaluar los resultados. La autoridad para hacer esto dependerá de cada empresa particular pero, en principio, esta autoridad debe residir en los directivos. Esto debe anunciarse públicamente.

- 2) El *staff debe* acometer varios problemas importantes para mejorar, estimar los costes que ello acarreará, y los posibles beneficios (económicos y de otro tipo), y preparar los planes sobre los que los directivos hayan de tomar decisiones en línea con la política de la empresa. Cuando se haga esto, deben solicitar y considerar las opiniones de tantas personas como sea posible. Se deben usar los datos de la contabilidad de costes y los gráficos de Pareto.
- 3) Se tiene que distinguir entre problemas crónicos y esporádicos. Los problemas esporádicos no requieren mucha atención; los problemas más importantes económicamente son los crónicos y a los que todo el mundo ha renunciado.
- 4) Los problemas más graves deben acometerse a través de un esfuerzo cooperativo por toda la empresa. Con este fin, es mejor dar a cada departamento un papel en la acometida del problema en vez de hacer que las secciones individuales acometan temas de mejora.
- 5) Se deben indicar tan específicamente como sea posible las metas de mejora y las fechas límite en las áreas de personal, calidad, coste, cantidad, etc., por medio de cifras.
- 6) En la medida de lo posible, se deben establecer presupuestos para los costes de la mejora (incluyendo los costes de las investigaciones así como de las acciones).
- 7) Es, obviamente, necesario discutir la probabilidad de que se solucione un problema cuando se decide qué problemas acometer; sin embargo, si se presta demasiada atención a esto, se corre el peligro de que se abandonen los problemas más graves y se dedique demasiado tiempo a fruslerías. No abandonar jamás la esperanza de encontrar una solución.
- 8) Restringir el número de problemas de mejora importantes de acuerdo con el principio de Pareto. Si hay demasiados problemas importantes, pierden su importancia.
- 9) Decidir de antemano cómo se verificarán y evaluarán los resultados.

Los anteriores son algunos puntos que se han de tener en cuenta cuando se decida qué problemas acometer. Aquí, lo importante es pensar en cómo se *pueden* resolver los problemas, en vez de por qué no. En el Capítulo 4 se pueden ver más detalles sobre el análisis de los problemas y la mejora.

## 1.8 El Control Estadístico de la Calidad, el Control de Calidad Total y la tecnología

Las palabras "*gijutsu*" (tecnología) y "*gijutsusha*" (técnico/ingeniero) se han utilizado con mucha imprecisión en Japón. "Gijutsusha" tiene un signifi-

cado demasiado amplio y en realidad deberíamos clasificar a estas personas con más exactitud, de la manera siguiente:

1. "*Kagakusha*" (científicos).
2. "*Gijutsusha*" (ingenieros).
3. "*Ginoshu*" (técnicos).

Los científicos son personas que estudian pacientemente las ciencias básicas, mientras que los técnicos son como unos maestros artesanos, buenos dirigiendo procesos o montando productos. La mayoría de los llamados "*gijutsusha*" en las fábricas solían pertenecer a este tipo. Los ingenieros son personas que son capaces de aplicar la ciencia con habilidad y economía, y son buenos en el desarrollo de nuevos productos y nueva tecnología. Actualmente, muchos de los llamados "*gijutsusha*" en Japón no son, en realidad, ingenieros sino científicos o técnicos. Tenemos pocos ingenieros verdaderos; esto ha evitado que nuestra industria haga verdaderos progresos tecnológicos y que nuestra tecnología se haya ganado el apodo de "tecnología copiona".

Dicho simplemente, la relación entre el control estadístico de calidad, el control de calidad total, y la investigación y la tecnología es como sigue: el buen control de calidad es imposible sin una tecnología adecuada. La fuerza motriz que hay detrás de la búsqueda de las causas es la investigación, la tecnología y las habilidades técnicas (Le., experiencia y formación). Sin embargo, la tecnología mejora rápidamente con el uso de la E del CEC (los métodos estadísticos), i.e., llevando a cabo los análisis de calidad y de proceso por medio del uso de las herramientas estadísticas del enfoque del CC. Tenemos que utilizar la tecnología adecuada, las técnicas estadísticas y las técnicas de control como herramientas para controlar la calidad y promover un CCT eficaz.

No hay límite al número de términos diferentes utilizados para los diversos tipos de tecnología: e.g., ingeniería de producto, ingeniería de diseño, ingeniería de proceso, ingeniería de producción, ingeniería industrial (II), ingeniería de ventas, ingeniería de servicio, etc. Aquí me gustaría clasificar la investigación y la tecnología en tres tipos diferentes, desde el punto de vista del CC:

- 1) Investigación y tecnología de fabricación (investigación para producir productos y servicios)

Éste consta de la investigación y la tecnología para el diseño y la fabricación de prototipos de productos y servicios, diseño de proceso, tecnología de producción, preparación para la producción, sistemas de control de procesos, análisis de procesos, matrices, moldes, calibres y herramientas, automatización de procesos, computarización, etc.; en otras palabras, la investigación y la tecnología para producir productos y servicios. Este tipo de investigación

y tecnología se desempeña con bastante entusiasmo en Japón y está haciendo continuos avances por medio del análisis de procesos.

### 2) Investigación y tecnología de los productos (investigación del uso de los productos y servicios)

Este tipo consta de la planificación de los productos y servicios, los métodos y condiciones de la evaluación de la calidad, los métodos y condiciones de uso, el análisis de calidad (despliegue de la calidad), las características de calidad verdaderas y sustitúas, el análisis de las reclamaciones e insatisfacciones, las investigaciones conjuntas con los clientes, los métodos y condiciones de ensayo y experimentales (incluyendo los ensayos de fiabilidad), los métodos de inspección, el desarrollo de nuevas aplicaciones, etc. Nadie conoce realmente la calidad de un producto o servicio hasta que se utiliza. La garantía de calidad y los ensayos de fiabilidad en particular se tienen que realizar durante el desarrollo de un nuevo producto. Este tipo de investigación y tecnología de producto es importantísimo en el control de calidad; aunque este punto se ha estudiado durante muchos años, todavía no se ha captado satisfactoriamente y no se está acumulando suficiente tecnología de este tipo.

### 3) Investigación y tecnología de los servicios (marketing)

Este tipo de investigación y tecnología se refiere a los fines de uso de los consumidores, sus necesidades, deseos y requisitos, explicación y orientaciones sobre los métodos de uso, servicio post-venta y reparaciones, y su garantía de calidad, servicio pre-venta, anticipación de las necesidades y deseos de los consumidores, recogida y análisis de los datos del mercado, y materiales y manuales relacionados con lo anterior. Este tipo de tecnología ha mejorado considerablemente, pero el personal de ventas todavía no la ha captado bastante y no trata de mejorarla. En algunos casos extremos, ni siquiera tiene un conocimiento suficiente de los productos que vende.

La puesta en práctica del control estadístico de calidad y el control de calidad total ha servido para que muchos productos japoneses sean los mejores del mundo; estos productos se pueden exportar ahora a todo el globo. Al mismo tiempo, se han hecho muchos progresos en los tres tipos de tecnología descritos más arriba. Sin embargo, las personas que no saben mucho del control estadístico de la calidad y del control de calidad total creen erróneamente que poner en práctica el control de calidad sofocará la creatividad y detendrá los progresos técnicos. De hecho, la tecnología hace progresos como resultado del control estadístico de la calidad y del control de calidad total, y recientemente la exportación de la tecnología japonesa ha aumentado espectacularmente. Mis esperanzas cuando se inició el control de calidad en Japón (ver la sección 6.1) se están viendo realizadas gradualmente. Sin embargo, todavía



queda mucho que mejorar en la tecnología, y, por tanto, el ritmo de progreso todavía es rápido. A causa de esto, es importante mejorar más la tecnología al mismo tiempo que se pone en práctica el control de calidad total.

## 1.9 Los fines y los medios de la dirección empresarial

Se debe hacer una distinción entre los fines y los medios de la dirección empresarial. Yo pienso en la dirección empresarial de la siguiente manera (ver la Tabla 1.3):

Mientras vivamos en una sociedad humana, el fin último de la dirección empresarial tiene que ser la felicidad del hombre. En un sentido limitado, esto quiere decir de todas las personas relacionadas con la empresa -i.e., todos los empleados (incluyendo la alta dirección), junto con los clientes y accionistas de la empresa. En un sentido más amplio también debe incluir a todas las personas de las empresas asociadas y de la sociedad en general. Para alcanzar estos fines, como también se explicó en la sección 1.4.1, tenemos que controlar la calidad (C), el beneficio, el coste y el precio (P), las cantidades y plazos de entrega (E), y la calidad y seguridad ambientales (S) como objetivos secundarios. Yo llamo al control de la calidad, del coste, la entrega y la seguridad (CCES), "control de objetivos".

Hay muchos medios y métodos para alcanzar estos objetivos (ver la columna de la izquierda de la Tabla 1.3). Utilizamos estos medios y métodos para tratar de alcanzar nuestros objetivos primarios y secundarios. Sin embargo, las personas tienden a quedarse cautivados con los métodos y se olvidan de los objetivos. Por ejemplo, acaban por ver las matemáticas, las herramientas estadísticas, la normalización o la computarización como si fuera el objetivo, y dejan que el método dicte su comportamiento. Esto es confundir los fines con los medios. Hemos de tener cuidado en recordar nuestros objetivos y no caer bajo el hechizo de los métodos para alcanzarlos.

Lo que deberíamos estar haciendo es establecer claramente unos objetivos definidos -e.g., mejorar la calidad- y utilizar diversos medios para alcanzarlos. Esto es control de calidad en su sentido restringido. En otras palabras, tenemos que estar preparados para utilizar todas las herramientas disponibles con el fin de controlar la calidad hábilmente, y tenemos que considerar continuamente su habilidad para ser integradas con otras herramientas y otros tipos de control. Como se puede ver en la Tabla 1.3, el control de calidad está íntimamente relacionado con todos los demás tipos de control y no puede operar en el vacío. También se tienen que promover otros tipos de control paralelamente al control de calidad.

**Tabla 1.3:** Fines y medios de la dirección

| Fin<br>Medios   | Personas       |                                     |   |                                |
|---|----------------|-------------------------------------|---|--------------------------------|
|   | Calidad<br>(Q) | Beneficio, coste<br>y precio<br>(C) | Volumen y<br>plazo de<br>entrega<br>(E) | Sociedad y<br>seguridad<br>(S) |
| Física<br>Química<br>Electricidad<br>Mecánica<br>Matemáticas<br>⋮<br>Investigación y Desarrollo<br>Estudios e investigación de mercados<br>Tecnología de los productos<br>Diseño<br>Tecnología productiva<br>Normalización<br>Ingeniería industrial<br>Control de materiales<br>Gestión de proveedores<br>Control de los equipos<br>Control de los instrumentos<br>Control de los calibres y las herramientas<br>Control automático<br>Ordenadores<br>Gestión de la información<br>Herramientas estadísticas<br>Investigación operativa<br>Inspección<br>Educación<br>⋮<br>⋮<br>⋮ |                |                                     |   |                                |

## 1.10 Actividades de los círculos de CC

En Japón iniciamos oficialmente las actividades de los círculos de CC en 1962. Como estas actividades se acomodan a la naturaleza humana, fueron un éxito tremendo, y en la actualidad más de cincuenta países de todo el mundo han empezado a imitarlas. Sin embargo, a causa de esto muchas personas creen erróneamente que las actividades de los círculos de CC son lo mismo que el control de calidad total, y que las actividades y las campañas de CC quieren decir actividades de los círculos de CC. Ya que las actividades de los círculos de CC no son el tema principal de este libro, no puedo dedicarles aquí mucho espacio, pero recomendaría a los lectores que las estudiaran en las referencias dadas más abajo.<sup>8</sup>

### (1) ¿Qué son las actividades de los círculos de CC?

Los círculos de CC son grupos pequeños de personas del mismo lugar de trabajo que desempeñan actividades de control de calidad voluntariamente. Estos pequeños grupos realizan el autodesarrollo y el desarrollo mutuo formando parte de las actividades del control de calidad por toda la empresa (CCTE) y utilizan las herramientas del CC para controlar y mejorar continuamente sus lugares de trabajo, al tomar parte todo el mundo.

### (2) La filosofía básica de las actividades de los círculos de CC

La filosofía básica de las actividades de los círculos de CC llevadas a cabo como parte de las actividades del control de calidad por toda la empresa es:

- 1) Contribuir a la mejora y desarrollo de la cultura corporativa.
- 2) Crear lugares de trabajo agradables que hagan que la vida sea valiosa y donde se respete al ser humano.
- 3) Ejercitar las capacidades de las personas y sacar a la luz su potencial ilimitado.

### (3) La relación entre el CCT y las actividades de los círculos de CC

Las actividades de los círculos de CC fueron iniciadas después de comenzar el CCT, para asegurar que el control de calidad se ponía en práctica co-

---

<sup>8</sup> QC Sakuru Koryo (Principios Generales del Círculo de CC) (hay traducción al inglés) y *QC Sakuru Katsudo Un'ei no Kihon* (Principios Básicos para Dirigir las Actividades de los Círculos de CC) (en japonés); QC Circle Headquarters, ed. JUSE, vendido por JUSE Press. También está *Nihonteki Hinshitsu Kanri*, de Kaoru Ishikawa, JUSE Press, capítulo 8 (traducción al inglés: "What is Total Quality Control? The Japanese Way", traducido por David Lu, ed. Prentice-Hall, ISBN 0-13-952433-9) (está traducido al castellano. "Qué es el Control Total de Calidad. La Modalidad Japonesa", ed. Norma, 1986).

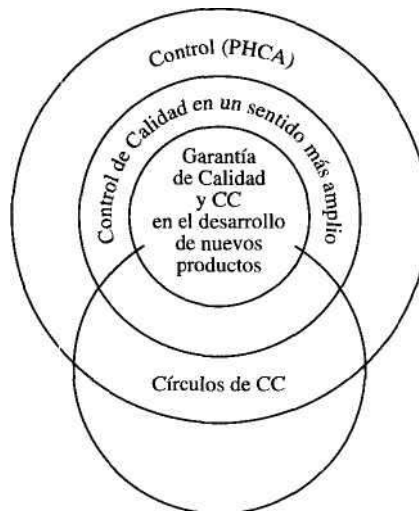
rectamente en los puestos de trabajo de primera línea. Forman parte del CCT, pero no son todo el CCT. En las industrias manufactureras, la importancia de las actividades de los círculos de CC relativas al CCT como un todo va de una cuarta parte a una quinta parte; otras actividades del CC, tales como el control de calidad en el desarrollo de nuevos productos y el control de calidad por todo el grupo, son más importantes. En las industrias de servicios, ya que las personas que están al final de la cadena de dirección tienen muchas más oportunidades para entrar en contacto con los clientes, la importancia relativa de las actividades de los círculos de CC es algo mayor, de aproximadamente una tercera parte.

La relación entre el CCT y la actividades de los círculos de CC se puede representar como se indica en la Figura 1.19.

#### (4) Malentendidos y puntos que se deben señalar

Las actividades de los círculos de calidad están sometidas a malentendidos del tipo de los descritos en las secciones 1.1.2 y 1.1.3. Se deben comprobar los siguientes puntos, que se interpretan erróneamente con facilidad:

- 1) Las actividades de los círculos de CC forman parte del CCT y no se deben separar de él.
- 2) En Japón, las actividades de los círculos de CC se iniciaron después de haber sido introducido el CCT. En principio, éste es el orden correcto, pero en las empresas medianas y pequeñas y en el sector de servicios



**Figura 1.19: Relación entre el CCT y las actividades de los círculos de CC**

también es permisible empezar con las actividades de los círculos de CC. Sin embargo, si no se introduce el CCT antes de dos o tres años, las actividades de los círculos de CC fracasarán.

- 3) Las actividades de los círculos de CC son actividades voluntarias que se acomodan a la naturaleza humana. Los círculos APP<sup>9</sup> ("asociaciones de padres y profesores" que comprenden a los altos directivos, los directivos medios y el *staff*) no deben, por tanto, ejercer ninguna presión para alcanzar resultados rápidos. Los progresos deben ser graduales.
- 4) El que sean voluntarios no quiere decir que sus APP, especialmente los directivos altos y medios, deberían ignorarlos. Los éxitos y los fracasos de las actividades de los círculos de CC reflejan las actitudes de la alta y media dirección hacia las actividades de los círculos de CC y el CCT. Las actitudes de las APP y las medidas que adopten para estimular las actividades de los círculos de CC son importantes.
- 5) Las actividades de los círculos de CC no son simplemente una campaña de motivación. Se debe proporcionar educación y entrenamiento en las herramientas del CC y otros métodos, y las actividades deben continuar permanentemente sobre una base científica.
- 6) Las actividades de los círculos de CC y las actividades por encargo son independientes (ver la sección 4.5.2).

Los siguientes malentendidos y confusiones sobre las actividades de los círculos de CC se encuentran tanto en Japón como en otras partes:

- (i) Las actividades de los círculos de CC son la razón de que los productos japoneses sean tan buenos,
- (ii) Los japoneses pueden desempeñar actividades de círculos de CC porque la calidad de su mano de obra es muy elevada.  
Las dos afirmaciones anteriores no son realmente erróneas, pero obviamente no son toda la historia; además:
- (iii) Algunas personas piensan en las actividades de los círculos de CC como si fuera un método para dirigir a la mano de obra. Las empresas que las introducen en este sentido fracasan, incluso en Japón.

---

9

En inglés, PTA ("parent-teachers association"); son asociaciones de padres y profesores, dentro de una escuela dada, para cooperar en favor de los escolares. Son especialmente numerosas en los Estados Unidos de Norteamérica, aunque también existen en otros países. Las PTA están integradas en el National Congress of Parents and Teachers, fundado en 1897 por Alice McLellan Birney y Phoebe Apperson Hearst. (N. de los T.)

- (iv) Algunas empresas llaman a los círculos de CC "círculos de calidad"; esto sucede cuando se abrevia el CC y se toma con el significado de control.
- (v) Algunas empresas no comprenden el significado de "voluntario". Creen que un círculo de CC se forma reuniendo a un grupo de voluntarios, y no hacen ningún esfuerzo porque las personas que están en el mismo puesto de trabajo participen voluntariamente.

## 1.11 La introducción y la promoción del CCT

Como dije al principio, este libro va destinado a las personas que ponen en práctica el CCT. Por tanto, mis observaciones sobre su introducción y su promoción serán breves; les ruego que acudan a otros trabajos respecto a los aspectos directivos.

### (1) Los fines de la introducción del CCT

Las diferentes empresas tienen diferentes fines al introducir el CCT, y pueden tener más de uno. Los siguientes son los más corrientes:

- (a) Mejorar la cultura corporativa.
- (b) Unificar los puntos fuertes de la empresa y establecer una organización cooperativa con la implicación total de los empleados.
- (c) Establecer un sistema para promover la calidad y conseguir la confianza de los consumidores y los clientes.
- (d) Apuntar a una calidad sin comparación y desarrollar nuevos productos con este objeto.
- (e) Asegurar los beneficios y establecer un sistema directivo capaz de soportar un crecimiento lento y el cambio.
- (f) Crear un respeto por el ser humano, fomentando el desarrollo personal, proporcionando satisfacción y puestos de trabajo alegres a los empleados, y dejando paso a la generación más joven.

Algunos de los motivos e incentivos para introducir el CCT son: marcar un cambio para el presidente de la empresa; preparar la cesión de la dirección a una generación más joven de directivos; celebrar varias décadas desde la fundación de la empresa; proporcionar medidas para hacer frente a la situación externa (tal como la liberalización del comercio o de capitales, fricciones comerciales, crisis petrolíferas o apreciación de la moneda); proporcionar contramedidas frente a la recesión; o la pérdida de terreno frente a la competencia. Ya que el control de calidad debe ser realmente una actividad permanente

y en marcha, debe comenzar cuando una empresa tiene beneficios. Es una vergüenza que muchas organizaciones sólo lo empiecen cuando están en un apuro y se agarran a un clavo ardiendo para salvarse.

## **(2) Lo que hay que hacer cuando se introduce el CCT**

Cuando se introduce el CCT hay que hacer las cosas siguientes:

- (a) La alta dirección tiene que comprender correctamente la esencia del CCT y de los círculos de CC, y armonizar los pensamientos de las personas.
- (b) El presidente de la empresa tiene que anunciar la introducción del CCT.
- (c) La empresa debe aprender de otras que ya hayan introducido el CCT, invitar a conferenciantes externos, y celebrar conferencias y seminarios.
- (d) Se debe establecer un departamento para la promoción del CCT que forme parte del staff del presidente, para que examine los métodos para promocionar el CCT.
- (e) Se deben establecer programas educativos del CCT para cada nivel de la jerarquía de la empresa: la alta dirección, los directores de departamento y de sección, *staff* y operarios en general.
- (f) Se debe formular y poner en efecto un plan para la promoción del CCT.
- (g) El presidente de la empresa tiene que llevar a cabo auditorías de CC.

## **1.12 Métodos para promover el CCT en los departamentos**

Básicamente, los directores y jefes de departamento responsables de cada departamento deben ir a la cabeza en la promoción del CCT en cada departamento. Si es preciso, cada departamento debe designar a su propio personal para la promoción del CCT que decida la política y promueva el CCT de acuerdo con el procedimiento dado más abajo, al mismo tiempo que se educa y entrena a todos los miembros del departamento:

### **(1) Control de Calidad**

Antes de acometer ninguna acción, cada departamento debe considerar lo que debe hacer como departamento para controlar la calidad de los productos o servicios de su empresa. Probablemente estén claros los deberes de los departamentos de línea (tales como el de planificación de nuevos productos, in-

investigación y desarrollo, diseño, fabricación de prototipos y preparación de la fabricación, compras y subcontratos, fabricación, inspección, ventas y servicio post-venta), ya que estos departamentos están directamente relacionados con la garantía de calidad. Los departamentos de *staff*, no de línea, (e.g., personal, asuntos generales, contabilidad, técnicos, investigación de mercado y almacenamiento) deben considerar qué clases de servicios y cooperación deben ofrecer con el objeto de tomar parte en el control de calidad.

## **(2) Control de Calidad en sentido amplio**

Cada departamento debe ponderar lo que quiere decir buena calidad con relación a su trabajo, luego definirla claramente y controlarla.

## **(3) Control**

Los deberes de control de cada departamento se explicaron en la sección 1.5.2. El control debe realizarse de acuerdo con la filosofía básica del control.

## **(4) Control estadístico**

Cada departamento debe analizar, controlar y mejorar estadística y continuamente su trabajo. En otras palabras, cada departamento debe considerar cómo utilizar los gráficos de control y otras herramientas estadísticas. Éstas deben utilizarse donde sea posible.

El control de calidad total debe promoverse según el orden anterior. Por ejemplo, cuando se pregunta qué es el control de calidad en el departamento de personal, muchas personas piensan inmediatamente que quiere decir dibujar gráficos de control; esto es una mala interpretación del control de calidad. Elegir una herramienta y buscar un lugar para utilizarla no es, generalmente, una manera muy eficaz de trabajar. Igualmente, no sirve de nada estudiar métodos estadísticos, gráficos de control y/u otros métodos, y buscar luego a alguien para que los utilice. Es mucho más eficaz aclarar los objetivos (de calidad, beneficios, plazos de entrega, etc.) y las áreas problemáticas (ver la sección 1.9), y considerar luego qué métodos se podrían utilizar para acometerlos. Esto es especialmente importante en el CC que realizan los departamentos que no son de línea.

## **1.13 Diagnóstico de la calidad y diagnóstico del CCT**

Cuando se introduce o promueve el control de calidad, es necesario diagnosticar su situación, comprobar si se está promoviendo bien o mal en varios



sentidos, ver qué problemas existen y reflexionar sobre los progresos realizados. Explicaré aquí brevemente la necesidad del diagnóstico. Este diagnóstico puede adoptar la forma de una auditoria de calidad o de una auditoria de control de calidad (ver una explicación detallada de éstas en las secciones 7.10 y 7.11).

### **(1) Diagnóstico de la calidad**

Un diagnóstico de calidad consiste en sacar muestras de bienes o servicios de dentro de la empresa o del mercado y llevar a cabo varios ensayos para comprobar su calidad, con el fin de determinar si los clientes están o no satisfechos con ellos. Este tipo de diagnóstico se realiza con el fin de corregir faltas o defectos y mejorar los argumentos de venta. En otras palabras, es un tipo de diagnóstico que está diseñado para mejorar la calidad siguiendo el ciclo PHCA, tanto con respecto a la calidad dura (la calidad de los bienes) como a la calidad blanda (la calidad de los servicios).

### **(2) Auditorías del CC y del CCT**

El diagnóstico de control de calidad difiere del diagnóstico de calidad, que comprueba la calidad en sí misma, en que el primero valora el proceso por medio del cual la calidad se incorpora al producto o servicio. En otras palabras, examina y asesora sobre los métodos de control de calidad y del sistema de garantía de calidad de la empresa como un todo, y, a veces, también de los proveedores y distribuidores de la empresa. El diagnóstico del CCT da un paso más y abarca un intervalo un poco más amplio que el diagnóstico de CC, y examina y asesora sobre la dirección general de la empresa, haciendo hincapié en la calidad. Naturalmente, incluye la garantía de calidad, pero también abarca el control de calidad por toda la empresa, la gestión de la política, la gestión funcional, el desarrollo de nuevos productos, la investigación y desarrollo, la gestión de proveedores y distribuidores, las actividades de los círculos de CC, etc. Puesto que control de calidad quiere decir control de calidad por toda la empresa, en una organización que está poniendo en práctica el CCT todos los diagnósticos internos de calidad de esta organización pueden llamarse diagnósticos de CCT.

Este tipo de diagnóstico abarca los métodos utilizados para promover el control de calidad, incorporar la calidad en el producto o servicio por medio del proceso, gestionar las subcontrataciones, tratar las reclamaciones y promover la garantía de calidad en la etapa del desarrollo de nuevos productos; en otras palabras, está diseñado para comprobar si los sistemas de control de calidad de la empresa son satisfactorios, y la forma en que están funcionando, y

acometer las acciones para eliminar los problemas y evitar su reaparición. En resumen, examina el proceso de la puesta en práctica y la promoción del control de calidad para comprobar si son satisfactorios, y sigue el ciclo PHCA. Este tipo de diagnóstico puede ser realizado por alguien de dentro o de fuera de la empresa. El diagnóstico presidencial es un ejemplo particular del primer tipo. El segundo puede ser llevado a cabo por los compradores para comprobar si la calidad y la garantía de fiabilidad son satisfactorias.

El diagnóstico de CC presidencial no debe llevarse a cabo según la premisa de que todo está mal, utilizando las energías de la alta dirección para poner de manifiesto las negligencias y revelar las faltas. Igual que un médico que examina a un paciente con objeto de diagnosticar una enfermedad e iniciar prontamente el tratamiento para que la enfermedad no vaya a más, el diagnóstico de CC presidencial apunta a la acción. Su propósito es reclutar la cooperación de todo el mundo para localizar con precisión los puntos débiles y mejorar la situación sistemáticamente. Esto quiere decir que los directores generales nunca se han de enfadar, ni siquiera cuando se pongan de manifiesto las imperfecciones y los puntos débiles vergonzosos, y los que están siendo diagnosticados también tienen que describir sus faltas clara y honestamente, exactamente igual que los pacientes explicarían sus síntomas a un médico.

## 1.14 El papel de los ejecutivos en el CCT

El papel de los ejecutivos en el control de calidad total, especialmente el de los que están en la alta dirección, es importantísimo. Se puede decir que el liderazgo y la actitud del director general y su delegado gobiernan el éxito o el fracaso del CCT, del CC y de las actividades de los círculos de CC. Por tanto, los ejecutivos tienen que hacer lo siguiente:

- (1) Estudiar el control de calidad, el control de calidad por toda la empresa, y las actividades de los círculos de CC; investigar cómo se ponen en práctica realmente; y adquirir una comprensión clara de sus fundamentos.
- (2) Examinar la cultura de su empresa; decidir los puntos de vista que debe adoptar la empresa para el control de calidad por toda la empresa; aclarar su política con respecto a la introducción del CCT; y anunciar su introducción.
- (3) Ir a la cabeza en la promoción de la calidad, el control de calidad y el control de calidad total; con este fin, deben establecerse organizaciones que promuevan el CCT (incluyendo las actividades de los círculos de

- CC) como parte del *staff* del presidente, y formular los planes para la promoción.
- (4) Llevar a cabo la educación necesaria para poner en práctica el control de calidad; y preparar los nombramientos de *staff* a largo plazo y los planes organizativos íntimamente relacionados con éste.
  - (5) Recoger información sobre la calidad y el control de calidad, y establecer políticas prioritarias específicas relativas a la calidad; igualmente, editar una política básica de "la calidad es lo primero" y decidir las metas específicas de la calidad a largo plazo, desde un punto de vista internacional.
  - (6) Establecer un sistema de garantía de calidad.
  - (7) Comprobar si el control de calidad, el control de calidad total y las actividades de los círculos de CC están progresando con arreglo a la política y los planes; acometer las acciones correctoras, si es preciso (a través de la gestión de prioridades, la gestión diaria y el diagnóstico presidencial).
  - (8) Si es necesario, establecer sistemas de control para las funciones individuales.

Lo anterior sirve de manera similar a los directores de departamento y de sección, y a los que están por debajo de ellos.

## Algunas máximas del Control de Calidad

### (1) La relación entre el Control de Calidad y el Control de Calidad Total

- Control de calidad quiere decir hacer lo que se tiene que hacer en todas las industrias. Japón y otros países ya han demostrado que tal enfoque puede producir resultados excelentes (ver la sección 1.2).
- Los principios básicos del control de calidad son los mismos en cualquier industria.
- Mientras una empresa venda productos y servicios, nunca tiene que dejar de controlar la calidad.
- El control de calidad es aplicable a cualquier empresa; de hecho, *tiene que* aplicarse en toda empresa.
- La puesta en práctica del control de calidad beneficiará no sólo a los consumidores sino también a los empleados de la empresa (incluyendo la alta dirección) y a los accionistas, además de a la sociedad en conjunto.
- El control de calidad moderno es una revolución en el pensamiento directivo.
- El control de calidad no avanzará si la política de la alta dirección no está clara.
- Una empresa que no practique el control de calidad no durará mucho (sección 1.2).
- Cuanto más avanza la civilización y más se moderniza la fabricación, más importante se hace el control de calidad.
- ¡Promover la liberalización comercial por medio del control de calidad! (ver la explicación de la liberalización comercial de 1960 en la sección 1.2).
- ¿Cómo podemos hacer que beba un caballo cuando no quiere?
- Si usted no prueba un alimento a causa de sus prejuicios, nunca conocerá su sabor o se alimentará con él. Cuanto más se mastica el control de calidad, más sabor se le encuentra y más alimenta.
- La puesta en práctica del control de calidad requiere la educación constante de todo el mundo, desde el presidente de la empresa hasta los operarios de línea.
- El control de calidad fracasa cuando nadie lo entiende, y tiene éxito cuando todo el mundo lo comprende correctamente.

- El control de calidad es cosa de todos los empleados y de todos los departamentos. Si todos los empleados y todos los departamentos trabajan juntos, necesariamente tendrá éxito.
- El control de calidad es el esfuerzo de un grupo, que no puede ser realizado por los individuos. Tiene que hacerse a través de un sistema de trabajo en equipo y cooperación.
- El control de calidad debe continuar desde la planificación de un nuevo producto hasta su llegada a las manos del cliente.
- El control de calidad debe ampliarse desde ventas hasta los subcontratistas, proveedores y distribuidores (CCTG).
- El control de calidad debe evolucionar desde el control de calidad por toda la empresa (CCTE) o control de calidad total (CCT) hasta el control de calidad por todo el grupo de empresas (CCTG).
- El control de calidad total no es un medicamento de acción rápida como la penicilina, sino un remedio natural que actúa lentamente y que mejorará gradualmente la constitución de una empresa si se toma durante un periodo largo de tiempo (sección 1.2).
- Si el control de calidad no produce efectos, no es control de calidad. El objetivo es el control de calidad superrentable (sección 4.13).
- El control de calidad tiene que ser rapaz (sección 4.13).
- ¿Éramos realmente tan malos? (ver el "diagnóstico presidencial" en la sección 7.11).
- El siguiente proceso es su cliente (secciones 1.4.1, 1.6.1 y 6.2).
- El control de calidad sólo se puede poner en práctica y obtener resultados si el presidente de la empresa o su delegado lo comprende realmente y se pone a la cabeza en su promoción.
- La alta dirección es responsable de establecer los métodos y las normas para evaluar la calidad (sección 1.4.4).
- El control de calidad no avanzará a menos que los directores de departamento y de sección estén de su parte.

## **(2) Educación/personal/organización**

- El control de calidad empieza y termina con la educación (secciones 1.5.2 y 1.6.7).
- La educación tiene que continuar mientras sobreviva la empresa (sección 7.3).
- Si los estudiantes no entienden es porque los métodos de enseñanza son inadecuados (sección 1.5.2).

- Cuando se pone en práctica el control de calidad, todo el personal tiene que someterse a una inmersión total.
- Conforme avanza la civilización, disminuye nuestra edad mental (sección 1.6.7).
- Los directivos y técnicos que no pueden manejar a los subordinados no son más que unos novatos. Sólo se podrá decir que han alcanzado la mayoría de edad cuando puedan tratar con confianza a sus superiores y a las personas de otros departamentos, i.e., cuando sean capaces de trabajar de la forma que quieren (sección 5.5.1).
- Las personas muestran su capacidad verdadera cuando se utilizan adecuadamente sus habilidades y se les da responsabilidad (sección 1.6.7).
- En vez de expresar sus propias opiniones, escuche lo que otros tienen que decir (sección 4.7.2).
- Para dirigir es esencial favorecer a las personas en las que se puede confiar. La dirección debe basarse en la creencia de que la naturaleza humana es fundamentalmente buena.
- Criticar los fracasos y dejar de alabar los éxitos es un enfoque burocrático que desalienta el crecimiento personal y bloquea las ideas para nuevos productos y nueva tecnología. El fracaso es la semilla del éxito (sección 1.6.7).
- Los operarios de la línea de montaje conocen mejor la situación pero a menudo su juicio es parcial.
- Cuando surge un problema en un puesto de trabajo, ese puesto de trabajo es responsable en una quinta parte o una tercera parte. Otros puestos de trabajo son responsables en cuatro quintas partes o dos terceras partes (sección 1.13).
- ¡Directivos! ¡Responsabilícense de los problemas y no culpen a sus subordinados! (Sección 1.6.7).
- La gestión basada en la creencia de que la naturaleza humana es fundamentalmente mala es cara, hace que todo el mundo sea desgraciado y duplica el control.
- Pensar en las razones por las que no se puede hacer algo es una pérdida de tiempo; piense positivamente en cómo se puede hacer algo (secciones 1.2 y 1.7.4).
- No diga jamás que está demasiado ocupado para hacer el CCT. Si usted practica el CCT, tendrá el tiempo en sus manos.
- Sólo los bebés no son responsables de sí mismos (sección 1.6.7).

- Para poner en práctica el control de calidad, se tiene que racionalizar la organización.
- La organización es la aclaración de la responsabilidad y la autoridad; no siempre quiere decir establecer una jerarquía de secciones, subsecciones, etc. La autoridad se puede delegar pero no la responsabilidad (sección 1.5.2).
- Si se pone en práctica el control de calidad, quedan claros los deberes de los operarios de línea y del *staff*, se establecen los departamentos técnicos, se establece la tecnología real, y se hace posible la exportación de tecnología.
- Un técnico tiene que ser economista (sección 1.1.4).
- ¡Investigadores, técnicos y diseñadores! ¡Sean humildes! (Secciones 4.7.1 y 4.7.4).
- Las cosas mejoran cuando se hace lo contrario de lo que dicen los ingenieros que se debe hacer (sección 4.13).
- La confianza sin fundamento obstruye el progreso (sección 4.7.1).
- Los que tratan de hacerse un nombre tomando la delantera a otros no hacen más que daño (sección 4.7.1).

### **(3) Consumidores**

- Los consumidores nos proporcionan trabajo.
- Cuando fabrique productos, póngase en el lugar del comprador; pase de un mercado de vendedores a un mercado de compradores.
- El cliente puede ser el rey, pero muchos reyes son ciegos; el *staff de ventas* está obligado a educarlo adecuadamente. ("Falta de conocimiento del producto"; sección 7.7).
- Los consumidores no son conejos de indias (sección 6.3).
- Los pasteles gustan a los que los cocinan, pero no siempre a los que los compran.
- Tragarse las ofensas no es una virtud.
- Comprar barato puede costar caro.
- Las primeras frutas de la temporada siempre son caras.
- Jamás compre productos nuevos (sección 6.3).
- Es la mujer la que desarrolla el control de calidad japonés.

#### **(4) Calidad y Garantía de Calidad**

- Mejorar continuamente la calidad siguiendo el ciclo PHCA (sección 1.6.1).
- El diseño de calidad racional es el primer paso del control de calidad.
- Descubrir lo que quiere el consumidor es el primer paso para alcanzar la calidad.
- Identificar lo que el consumidor ha de comprar es el primer paso del control de calidad.
- Una empresa que realiza la inspección del cien por cien es una empresa que hace productos defectuosos.
- El control de calidad orientado a la inspección es control de calidad anticuado.
- Incorporar la calidad durante el proceso (secciones 1.3 y 1.5.2).
- La calidad no se crea por medio de la inspección; se incorpora por medio del diseño y el proceso (secciones 1.3, 1.5.2 y 6.7).
- El control de calidad que no garantiza la calidad no es control de calidad (sección 6.15).
- La garantía de calidad es el fin y la esencia del CCT (secciones 1.3, 6.1 y 6.15).
- La garantía de calidad es responsabilidad del productor (vendedor, departamento de producción, puesto de trabajo, etc.), no del comprador ni del departamento de inspección (secciones 1.6.1 y 6.1).
- La calidad no se puede definir separada del precio.
- Cuando se inicia el control de calidad, se multiplican los defectos y las reclamaciones (sección 1.4.4).
- Si los jefes se enfadan cuando se producen unidades defectuosas, éstas se ocultan (sección 1.4.4).
- Se tarda años en construir la confianza pero se pierde en un día (sección 6.4).
- ¿A cuántos años equivalen los repuestos que su empresa almacena para el servicio post-venta? (Sección 1.6.2).
- ¡Suministros para toda la vida! (secciones 1.6.2, 6.1 y 6.4).

#### **(5) Diseño y desarrollo de nuevos productos**

- Algunas empresas están constituidas para tener éxito cuando introducen nuevos productos; otras no (sección 1.6.2).



- El CCT de una empresa ha llegado a la mayoría de edad si la empresa puede desarrollar nuevos productos y empezar la producción a gran escala a tiempo, si se alcanzan rápidamente y con fluidez los porcentajes de paso directo y los volúmenes de producción, y si las ventas aumentan con regularidad y no hay reclamaciones de los consumidores o están éstos insatisfechos (ver la sección 1.6.2).
- El control de calidad de una empresa ha llegado a la mayoría de edad si sus nuevos productos siempre tienen éxito y los consumidores están contentos y confiados cuando los compran.
- Sea el primero con los nuevos productos; un producto nuevo que no lleva la delantera no es más que una copia.
- Diseñe los productos desde el punto de vista del usuario (sección 7.4).
- No diga jamás: "No pensé que el producto se utilizara así" (sección 7.4).
- Compruebe cuidadosamente las condiciones bajo las que se pueden utilizar sus productos y téngalas presente cuando haga los diseños (sección 7.4).
- Aplique el control de calidad al proceso del diseño tratándolo como si fuera un proceso de producción de productos muy variados y de poco volumen, para producir los planos, que también son unos productos (sección 7.4).
- Fomente la normalización de diseños y el uso de piezas estándar (sección 7.4).
- Haga planos con los que se puedan fabricar los productos sin hacer ningún ajuste (sección 7.4).
- Destruya la actitud de algunos diseñadores satisfechos de sí mismos por ser artistas y de que, por tanto, su trabajo está por encima de toda crítica o sugerencia de los demás.
- No se puede producir un buen diseño sin saber cómo se va a fabricar el producto (sección 4.7.5).
- El diseño no es verdadero diseño a menos que tenga en cuenta el método de fabricación (sección 7.4).
- Dibujar planos hace aparecer errores e incrementa la variedad de piezas. Reduzca el número de horas-hombre gastadas en el diseño en un ochenta por cien (esto también vale para la preparación de programas de ordenador; sección 7.4).
- Se deben determinar estadísticamente las tolerancias y los factores de seguridad (sección 7.4).

- ¿Están de acuerdo los productos piloto con los planos? (Sección 1.6.2).
- El diseño no es diseño a menos que tenga en cuenta los costes (sección 7.4).
- Elija un material peor que otro mejor si da el mismo comportamiento y la misma fiabilidad (análisis del valor; sección 7.4).
- El secreto del éxito del desarrollo de nuevos productos consiste en eliminar rápidamente la escoria (sección 1.6.2).

## **(6) Normalización**

- Normas innecesarias o ambiguas conducen a la normalización porque sí (sección 7.3).
- Las normas que no producen resultados son "normas de papel" solamente; las normas tienen que ser eficaces.
- Una norma que no se haya revisado en seis meses a partir de su preparación es una norma que no se está utilizando (secciones 1.5.2, 5.4.3, 5.4.6 y 7.3).
- Cuando no se revisan las normas, se ha detenido el progreso técnico (secciones 5.4.3 y 5.4.6).
- La normalización no es sólo para control de calidad. Las normas se preparan para asegurar una gestión eficaz y para hacer que el trabajo recompense a todos.
- Una empresa que sostiene que no puede normalizar y que tiene que depender de la experiencia es una empresa sin tecnología.
- La normalización permite que se delegue la autoridad. Esto, a su vez, deja tiempo libre a los directivos para que estudien los planes y políticas futuros, que es su responsabilidad más importante.
- El control de calidad saca lo mejor de las personas. Cuando una empresa lo pone en práctica, desaparecen las decepciones.
- La normalización es tarea de los técnicos. Los técnicos tienen que ser prácticos.
- La tecnología se tiene que normalizar, y se tiene que construir sistemáticamente un cuerpo tecnológico para la empresa (secciones 1.5.2 y 5.4.3).
- Cuando se están redactando las normas, se tienen que solicitar datos a tantas personas afectadas por ellas como sea posible. Es natural seguir las normas y reglamentos impuestos por uno mismo (sección 1.5.2).

- El propósito de la normalización es delegar la autoridad (sección 1.5.2).
- Cuando se planifique la construcción de una nueva fábrica, empezar el trabajo de la planificación del CC y de la normalización al mismo tiempo.
- Duda siempre de la validez de los estándares de los productos, los estándares de los materiales y las tolerancias, y no confíe jamás en los instrumentos de medida o los análisis químicos.
- No se pueden producir productos sin saber qué clase de producto está tratando uno de hacer (sección 1.4.4).
- ¿Está usted satisfecho con que sus productos cumplan las normas? (Sección 1.4.2.)
- ¿Se quejan los consumidores de los productos aunque cumplan las normas? (Sección 1.4.2.)
- ¿Recibe usted reclamaciones sobre puntos no tratados por las normas?
- Las normas de trabajo y los gráficos de control son las dos caras de una misma moneda.

### **(7) Control y control del proceso**

- La única manera de aclarar lo que está sucediendo realmente en el puesto de trabajo es a través del control del proceso. Permitirá el comportamiento óptimo del proceso, establecerá la tecnología y hará que el proceso y el diseño mejoren (sección 1.5.2).
- Un proceso sólo puede alcanzar su comportamiento óptimo cuando está controlado.
- Sólo se puede conseguir una mejora importante cuando se realiza un control adecuado (sección 4.1).
- Las empresas, fábricas y procesos sobre los que no se ejerce ningún control están, sin ninguna duda, fuera de control.
- El control tiene que ser global (secciones 1.4.2 y 1.5.1).
- Siga el ciclo PHCA para mejorar la calidad de todo tipo de trabajo.
- Controle los procesos de todo tipo de trabajo.
- Siga el ciclo PHCA en todo tipo de trabajo.
- Al tratar de ejercer el control se producirán mejoras de forma natural, mientras que al tratar de producir mejoras se demostrará, de forma natural, la importancia del control (sección 1.7.1).
- No confunda la inspección con el control (secciones 1.5.2, 5.2 y 5.3.1).

- El control y la mejora son dos ruedas del mismo carro (sección 1.7.1).
- Comprenda la diferencia entre control y mejora (sección 5.2).
- Comprenda la distinción entre causa y efecto (sección 5.2.1).
- No confunda los medios con los fines (sección 1.9).
- Una empresa que dice: "No tenemos problemas" es la misma que otra que dice: "Tenemos muchos problemas"; ninguna de las dos sabe cuáles de sus problemas son graves (sección 4.3.1).
- El control no puede existir sin políticas, metas y objetivos (sección 7.12).
- La normalización no puede más que avanzar, y el control no puede más que ponerse en práctica cuando se ha decidido la política de dirección.
- Todos los líderes y los que ocupan puestos de responsabilidad tienen una política (sección 1.5.2).
- Sólo se pueden formular políticas correctas basándose en una información correcta.
- ¿Son concretos sus políticas y sus planes? ¿Se dispone de criterios de evaluación? (Sección 7.12.)
- ¿Son buenos sus métodos para desplegar las políticas, y los de comunicación? (Sección 7.12.)
- ¿Están adecuadamente conectadas las políticas de los superiores y las de los subordinados? ¿Es coherente la política desde lo más alto a lo más bajo de su organización? (Sección 7.12.)
- ¿Impregna la política todos los rincones de su organización? (Sección 7.12).
- ¿Se hace la política más específica y concreta cuanto más se baja por la organización? (Sección 7.12.)
- ¿Con cuánta rapidez puede usted actuar con precaución? (Secciones 1.5.2 y 4.2.2.)
- Los problemas graves son pocos, los insignificantes, muchos ("pocos vitales, muchos triviales"; secciones 1.4.4, 1.5.2 y 2.6).
- Usualmente, sólo dos o tres causas importantes afectan gravemente a un trabajo o proceso.
- Nuestro fin es la calidad; tenemos que utilizar tecnología intrínseca, técnicas estadísticas y técnicas de control para su gestión y para promover el CCT eficaz (sección 1.8).
- Una buena normalización y un buen control son imposibles sin una tecnología intrínseca.

- Practique el control prioritario (sección 1.5.2).
- Aclarar quién tiene que verificar qué.
- Los gráficos de control y otros gráficos deben estar a la vista de, y ser usados por, los directivos de todos los niveles.
- El control sin verificación es la forma ideal de control.
- El ámbito de control es de cien personas. Una persona puede controlar a otras cien (e.g., un director de orquesta; sección 1.5.2).
- El control que no comprueba los resultados de los planes, las órdenes y las acciones es un control incompleto.
- Piense siempre qué medida adoptar. El control sin la acción es sencillamente un pasatiempo.
- Cuando los accidentes suceden siempre por las mismas razones, es que no se está ejerciendo el control.
- No confunda la regulación y el ajuste con la eliminación de las causas de las anomalías (secciones 1.5.2 y 5.2).
- En vez de eliminar los síntomas sin más, dé prioridad a eliminar las causas inmediatas y las causas básicas, y en evitar que se repitan los síntomas.
- Errar es humano. Está mal enfadarse por las equivocaciones de los subordinados (sección 1.5.2).
- Cuando un operario comete una equivocación, usualmente tiene de un cuarto a un quinto de culpa, y la dirección tiene de tres cuartos a cuatro quintos de culpa (sección 1.5.2).

## **(8) Análisis y mejora**

- Sin un análisis adecuado y unos conocimientos técnicos fiables, no se puede llevar a cabo la normalización ni las mejoras, no se puede efectuar un buen control y no se pueden preparar gráficos de control adecuados para el control (secciones 4.1 y 4.6.1).
- El buen control de calidad es imposible sin una tecnología intrínseca. Los motores que impulsan la búsqueda de las causas de los defectos son la investigación, la tecnología y la habilidad (i.e., experiencia y formación). Sin embargo, la tecnología mejorará espectacularmente cuando se realicen los análisis de calidad y de proceso según el enfoque del CC, utilizando métodos estadísticos (secciones 1.8 y 4.7.1).
- La buena normalización y el buen control son imposibles sin el análisis del proceso.

- Cuando usted cree que no tiene problemas, se detiene el avance y se empieza a ir marcha atrás (sección 1.7.1).
- No se puede resolver un problema si no se comprenden los puntos clave y los objetivos (sección 4.4).
- Cuando se comprenden los puntos y objetivos, el problema ya está medio resuelto (sección 4.4).
- Determinar los problemas prioritarios y atacarlos en masa.
- Los ingenieros deben acometer los problemas cuya solución vaya a ahorrar por lo menos un millón de dólares anuales (como en 1987).
- Rendirse es el enemigo de la mejora y de los progresos.
- Antes de pensar en las causas, identifique primero los hechos. Este es el primer paso de la puesta en práctica del control de calidad.
- Un buen control del proceso es imposible sin un análisis sólido del proceso (sección 5.1).
- Si no se pueden utilizar gráficos de control, es porque faltan la tecnología real y el análisis del proceso (sección 4.1).

### **(9) Datos y métodos estadísticos**

- Es imposible un buen control de calidad sin conocer los métodos estadísticos.
- La dispersión existe en todos los tipos de trabajo.
- La base del control son unos datos y una información exactos. ¡Abolir los datos falsos!
- Los datos son para usarlos y actuar sobre ellos. No recoja datos sin que vayan acompañados de la acción.
- De ahora en adelante los métodos estadísticos son una parte esencial de los conocimientos de todos los técnicos.
- La discusión basada únicamente en la tecnología intrínseca y la experiencia es como ir de Tokio a Kioto en un palanquín. El uso de los métodos estadísticos conjuntamente con éstos es como hacer el mismo viaje en el tren de alta velocidad.
- Son imposibles una buena normalización y un buen control sin técnicas estadísticas.
- El noventa y cinco por cien de los problemas de una empresa se pueden resolver utilizando métodos estadísticos sencillos.
- Casi todos los problemas se pueden resolver con gráficos de Pareto y diagramas de causa y efecto.

- El control y el análisis buenos son imposibles sin una buena estratificación (secciones 1.5.2 y 2.2).
- Cuando emergen datos falsos del puesto de trabajo, es culpa de los que están a su cargo.

### **(10) Gráficos de control y capacidad del proceso**

- El control de calidad empieza y termina con los gráficos de control.
- Los gráficos de control no se deben utilizar para examinar a las personas. Deben utilizarse para ayudar a las personas en su trabajo y hacer que éste vaya mejor (sección 5.6.2).
- El control conduce a la predecibilidad y la fiabilidad (sección 6.5).
- El estado del control estadístico mismo es el problema básico de la fiabilidad (sección 6.5).
- La investigación de la capacidad del proceso (calidad) es el fundamento del control de calidad (sección 4.7.6).
- ¿Cómo puede ponerse en práctica el control de calidad si no se conoce la capacidad del proceso? (Sección 4.7.6.)
- ¿Cómo se puede diseñar un producto sin conocer la capacidad del proceso? (Secciones 4.7.6, 5.2 y 7.4.)
- ¿Cómo se pueden establecer estándares de materiales sin conocer la capacidad del proceso?
- Las capacidades de los procesos mejoran muchísimo cuando se investigan adecuadamente (sección 1.6.4).

### **(11) Actividades de los círculos de CC**

- El control de calidad sólo tiene éxito cuando los encargados y los operarios de línea se responsabilizan de sus procesos.
- Las actividades de los círculos de CC no se pueden mantener vivas a menos que sean promovidas como parte integral del CCT.
- Un malentendido corriente es que llevar a cabo actividades de los círculos de calidad es lo mismo que poner en práctica el CCT (secciones 1.1.3 y 1.10).
- Un malentendido corriente es que las campañas de CC consisten en actividades de los círculos de CC (secciones 1.1.3 y 1.10).
- Un malentendido corriente es que las actividades de los círculos de CC son un modo de dirigir a la mano de obra (sección 1.10).

- Las actividades de los círculos de CC y las de los equipos de CC son diferentes (sección 4.5.2).

## **(12) Ventas y otras actividades**

- Las ventas son la puerta de entrada y de salida del CCT (secciones 1.6.2 y 7.7).
- Una empresa cuyas actividades de venta no desarrollan la conciencia del CC no crecerá.
- ¿Ha tenido éxito su empresa en el desarrollo de varios nuevos productos a partir de las sugerencias hechas por el departamento de ventas? (Sección 1.6.2.)
- Si usted piensa que las ventas no tienen relación con el CCT, usted no comprende el CCT ni el CC.
- Para vender cosas baratas no hacen falta actividades de ventas. Venda por la calidad (sección 7.7).
- Los vendedores jamás deben decir cosas como: "Este producto es absolutamente seguro" (sección 6.6).
- Si se lleva a cabo un control de costes adecuado, el efecto del control de calidad mejorará rápidamente.
- Si el control de calidad se hace bien, el control de costes se convertirá en un control de costes real.
- Una empresa bien controlada es aquella en la que no se revisan los planes de producción.
- Cuando se lleva a cabo el control de calidad, el control de la mano de obra va bien. Cuando mejora el control de la mano de obra, el control de calidad va bien. ¿Cómo se puede hacer el control de calidad sin conocer las cifras verdaderas?
- Antes de introducir máquinas y equipos nuevos, utilice las capacidades completas de lo que ya tiene (sección 1.6.4).
- CCT quiere decir usar las capacidades de las maquinarias y equipos viejos, cualitativa y cuantitativamente (sección 1.6.4).
- Tecnología quiere decir usar materiales malos para hacer buenos productos (sección 5.2.1).
- ¿Qué dicen los buenos vendedores?





---

# El enfoque estadístico y algunas herramientas estadísticas sencillas

## 2.1 Métodos estadísticos utilizados en el Control de Calidad

Empecé a estudiar los métodos estadísticos en 1948 porque creía que las personas que tienen que emitir juicios basándose en los datos debían dominar los métodos y la filosofía estadísticos. Desde entonces, he obtenido resultados excelentes con mis esfuerzos por difundir ampliamente el uso de los métodos estadísticos, no sólo para el control de calidad sino también para la gestión empresarial. Como consecuencia de la enorme experiencia que he adquirido haciendo esto, generalmente me es más fácil enseñar los métodos estadísticos bajo los siguientes encabezamientos:

- 1) El enfoque estadístico (ver la sección 2.2).
- 2) La teoría estadística.
- 3) El uso de los métodos estadísticos (introductorio, intermedio y avanzado).

Ya que es esencial la comprensión del enfoque estadístico, se tiene que enseñar a todo el mundo, y todo el mundo tiene que adquirir un mínimo de conocimientos sobre estadística. La teoría estadística no se debe enseñar en la etapa introductoria, y sólo deben tocarse unos pocos de los aspectos más básicos en la etapa intermedia. Acometo la teoría con un poco más de detalle en la etapa avanzada. Las personas que trabajan en empresas o en la sociedad en general no tienen que convertirse en estadísticos especialistas; es suficiente con que sean capaces de utilizar con habilidad las herramientas conocidas como "métodos estadísticos". Pasa lo mismo con las herramientas conocidas co-

mo "instrumentos de medida"; hasta los operarios corrientes son perfectamente capaces de utilizarlos en las fábricas, sin conocer la teoría de la metrología. Sin embargo, las personas que están a cargo de planificar la instalación del equipo de medidas tiene que conocer algo de la teoría metrológica, mientras que las personas que investigan, diseñan y desarrollan los instrumentos de medida tienen que estudiar metrología en profundidad.

Hay que tener precaución, ya que las personas quieren a menudo estudiar la teoría estadística cuando empiezan a estudiar los métodos estadísticos, pero los aficionados que se quedan fascinados con el estudio de la teoría estadística acaban por no ser ni buenos teóricos ni buenos practicantes. Los métodos estadísticos son su meta, pero se olvidan de utilizarlos como herramientas o son incapaces de utilizarlos adecuadamente, y al mismo tiempo suelen dejar que la teoría y los métodos dicten sus acciones en vez de ser al revés.

### **(1) Herramientas estadísticas**

La estadística y los métodos estadísticos siguen haciendo grandes progresos, pero no es necesario saberlo todo para promover el control de calidad y la gestión empresarial. Por el contrario, de hecho, puede ser perjudicial enseñar demasiadas cosas y los cursos de métodos estadísticos deben dividirse en tres grados, introductorio, intermedio y avanzado, para acomodarse al nivel de los estudiantes, teniendo en cuenta las condiciones reales de los puestos de trabajo en los que los métodos se vayan a utilizar. Este libro sólo trata los métodos introductorios y algunos intermedios; aquellas personas que deseen estudiar los demás métodos deben consultar trabajos más especializados.

Las herramientas estadísticas introductorias (dirigidas a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los operarios de base, pasando por los directivos medios) abarcan:

- 1) Los diagramas de Pareto (ver la sección 2.5).
- 2) Los diagramas de causa y efecto (no son estrictamente una herramienta estadística).
- 3) La idea de estratificación (mencionada en todos los capítulos).
- 4) Hojas de comprobación (ver la sección 2.6).
- 5) Histogramas y distribuciones de frecuencia (ver las secciones 2.5, 2A.2 y 2A.3).
- 6) Diagramas de dispersión (ver las secciones 2.8 y 4A.8) (los conceptos de correlación y regresión).
- 7) Gráficos y gráficos de control (ver la sección 2.7 y el Capítulo 3).

La característica que tienen en común las Siete Herramientas del CC anteriores es que todas son visuales, que tienen forma de gráficos o diagramas. Se

les llamó las Siete Herramientas del CC en memoria de las famosas siete armas del guerrero-sacerdote japonés de la era Kamakura, Benkei, que le permitieron triunfar en las batallas; así también, las Siete Herramientas del CC, si se utilizan hábilmente, permitirán que se resuelva el noventa y cinco por cien de los problemas de los puestos de trabajo. En otras palabras, las herramientas estadísticas intermedias y avanzadas se necesitan sólo en un cinco por cien de los casos.

Igualmente, cuando uno está enseñando las siete herramientas, es demasiado tratar de enseñarlas todas al mismo tiempo. Se debe enseñar primero las herramientas de la 1 a la 4 o 5, y las demás se pueden enseñar cuando los estudiantes hayan aprendido a utilizar aquellas adecuadamente y quieran aprender más. Es erróneo tratar de enseñar demasiadas herramientas desde el principio.

Además de los métodos introductorios, deben enseñarse los métodos intermedios (dirigidos a los ingenieros en general y a los supervisores jóvenes) siguientes:

- 1) Distribución de los estadísticos, estimación estadística y pruebas estadísticas.
- 2) Estimación del muestreo, teoría del error estadístico, y aditividad de la varianza.
- 3) Inspección por muestreo estadístico.
- 4) El uso del papel probabilístico binomial.
- 5) Una introducción al diseño de experimentos (uso simple de la disposición ortogonal incluyendo las tablas de contingencia; análisis de la varianza).
- 6) Correlación simple y análisis de regresión.
- 7) Técnicas sencillas de fiabilidad.
- 8) Métodos sencillos de ensayos sensoriales.

Considero que, de ahora en adelante, los métodos anteriores serán conocimientos esenciales para los ingenieros. Sin embargo, dependiendo de los estudiantes, se pueden dejar fuera algunos de los ocho métodos anteriores. Cuando una persona pueda utilizar todos los métodos anteriores con soltura, se habrá convertido en un ingeniero hecho y derecho, y será capaz de resolver muchos problemas.

Para el nivel avanzado (dirigido a ingenieros especialistas y a algunos ingenieros de control de calidad), se deben enseñar los métodos siguientes además de los métodos introductorios y los intermedios:

- 1) Diseño avanzado de experimentos.
- 2) Análisis multivariante.
- 3) Técnicas avanzadas de fiabilidad.

- 4) Métodos avanzados de ensayos sensoriales.
- 5) Análisis de series temporales, métodos de investigación operativa
- 6) Otros métodos.

Los métodos anteriores deben enseñarse a personas seleccionadas, conforme sea menester. También deben enseñarse junto con el uso de los ordenadores.

## **(2) ¿Dónde se utilizan las herramientas estadísticas?**

En el control de calidad por toda la empresa al estilo japonés, las herramientas estadísticas se usan ampliamente en una gran variedad de campos y en todos los niveles organizativos. Los japoneses son los mejores del mundo en esto, y es una de las razones principales por la que los productos japoneses dominan ahora los mercados mundiales. Por medio del uso amplio de las herramientas del nivel introductorio en combinación con la tecnología específica, en todos los departamentos y en todos los niveles organizativos, así como el uso de herramientas más avanzadas en combinación con los ordenadores y la tecnología específica, se realizan diversos análisis y se obtienen resultados excelentes. Por sí mismas, las herramientas estadísticas son inútiles; sólo pueden dar resultados significativos cuando se utilizan en combinación con la tecnología específica, i.e., la teoría, la tecnología y la experiencia concerniente al trabajo que se está realizando.

En el control de calidad y la gestión empresarial, se utilizan las herramientas estadísticas en las siguientes áreas:

- 1) Estudios: estudios de mercado, estudios de métodos de medida.
- 2) Establecimiento de políticas y de objetivos.
- 3) Análisis y mejora: análisis de procesos y análisis de calidad.
- 4) Control y gestión: control de procesos, gestión del trabajo, gestión empresarial.
- 5) Garantía de calidad e inspección: garantía de calidad (incluyendo la garantía de la fiabilidad), inspección por muestreo estadístico, control de la inspección.

## **2.2 El enfoque estadístico**

La ciencia estadística ha hecho enormes progresos recientemente y todavía sigue avanzando. Es un campo de estudio bastante prohibitivo pero no tenemos que conocer la teoría para poner en práctica el control de calidad; es bastante si comprendemos la filosofía así como los métodos. Como mínimo, de-

bemos comprender la filosofía. Si vamos detrás de la teoría y los métodos sin comprender el enfoque estadístico básico, no estaremos más que jugando con números y fórmulas.

En esta sección me gustaría centrarme en el enfoque estadístico desde el punto de vista del control de calidad y en la aplicación de los métodos estadísticos a las empresas corrientes.

## 2.2.1 El enfoque estadístico

Para empezar, debemos comprender las cuatro cosas siguientes sobre el enfoque estadístico:

1) Los resultados de cualquier trabajo que hagamos siempre contienen variación, y su distribución sigue un cierto patrón. El trabajo humano y los procesos industriales están afectados por un número casi infinito de factores diferentes, y el muestreo, las medidas, los ensayos y los estudios también están todos sujetos a error. Esto quiere decir que, inevitablemente, los datos contienen dispersión y que la distribución de los resultados del trabajo y de los procesos que producen los datos siguen un cierto patrón. Se tiene que tener en cuenta este patrón de la distribución cuando se emitan juicios sobre un proceso que forma parte del control del proceso, por ejemplo, ya que todos los procesos tienen sus propios patrones de distribución.

2) El error es un concepto básico; los datos producidos por las empresas y las organizaciones de la sociedad incluyen datos contaminados, valores anómalos y datos falsos.

3) Los datos siempre se recogen con la intención de acometer acciones. La estadística moderna se puede llamar "ciencia de acción" desde un punto de vista, ya que apunta a obtener datos exactos adecuados al fin, analizarlos estadísticamente y acometer acciones (el objeto del ejercicio).

4) La estratificación es otro concepto básico; todo debe pensarse de manera estratificada, y todo tiene que estar estratificado (i.e., segregado en ramas o grupos significativos) para recoger y analizar los datos. La estratificación de los datos individuales y básicos de varias maneras puede revelar esta dispersión y sus causas.

En esta sección me gustaría centrarme en la primera y la tercera de las cuatro ideas anteriores.

### (1) La meta de la recogida de datos es entrar en acción

Cuando se recogen datos, siempre hemos de tener algún fin en mente; siempre hemos de tener la intención de examinarlos y entrar en acción. En

otras palabras, no tenemos que recoger datos que no se vayan a utilizar. El fin de recoger datos debe ser usualmente uno de los siguientes:

- a) para el análisis o el estudio;
- b) para el control:
  - i) para establecer políticas,
  - ii) para efectuar ajustes,
  - iii) para comprobar;
- c) para la inspección.

Por ejemplo, cuando medimos la humedad y ajustamos una válvula, comprobamos la calidad de un producto para ver si el diseño y la producción avanzan con fluidez, o comprobamos la calidad, las cantidades vendidas, los porcentajes de beneficios, etc., para ver si un negocio se está gestionando con habilidad, tenemos que recoger datos. Sin embargo, las oficinas y las fábricas japonesas tienen hoy un montón de datos cuyo propósito no está claro y que no están acompañados de ninguna acción. Antiguamente, gran parte de los datos recogidos eran simplemente para estar más seguros, para los historiales, para preparar la contabilidad o para la inspección.

Lo primero que debemos hacer es mirar todos los datos que estamos recogiendo y volver a examinar el propósito de su recogida. Uno de los primeros pasos del enfoque estadístico es que recordemos bien que no recogemos datos por sí mismos sino para utilizarlos y entrar en acción. El simple hecho de reflexionar sobre este punto cambiará completamente la forma en que se recogen los datos. Usualmente se acumulan grandes cantidades de datos innecesarios, gran parte de ellos simplemente con el propósito de que la gente se quede tranquila. Debemos revisar nuestros sistemas de responsabilidad y autoridad para recoger datos y abolir, en la medida de lo posible, la recogida de datos detallados.

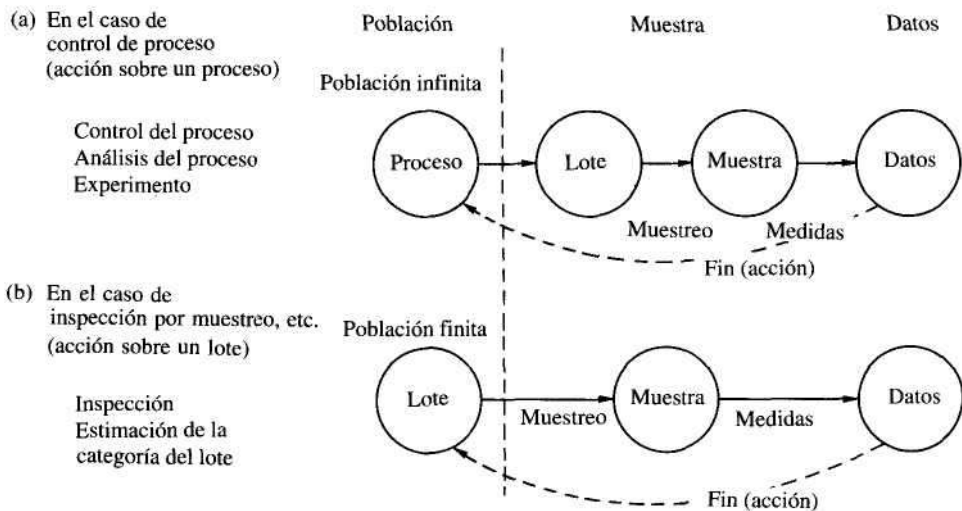
El paso siguiente del enfoque estadístico es recoger "datos de las acciones" de este modo en varios campos y examinar cómo crear una red para recoger información, proveer retroalimentación y utilizar los datos con vistas a las acciones. Estos puntos deben examinarse junto con los sistemas de información.

## **(2) Hay una relación entre los datos, la muestra y la población (el fin de la acción)**

No recogemos datos para adquirir conocimientos sobre las muestras y actuar con respecto a ellas; lo hacemos para obtener información sobre la población de la que se han tomado las muestras y actuar con respecto a ella.

Algunas cuestiones sobre la toma de muestras de productos acabados o semiacabados, y las mediciones hechas con esas muestras son los siguientes:

- (a) Sacamos una muestra de un producto con el objeto de descubrir cosas sobre el lote y actuar con respecto a ese lote. Obviamente, no acometemos acciones ni realizamos experimentos simplemente para adquirir conocimientos sobre una muestra.
- (b) Jamás se pueden eliminar completamente las omisiones en la inspección ni los errores de medida. Esto quiere decir que los datos obtenidos de una muestra jamás representarán los valores verdaderos del lote, aunque el lote se someta a una inspección del cien por cien. Por ejemplo, trate de contar las letras "d" que hay en una página de éste libro en cinco minutos. Ahora trate de contarlas otra vez. No es probable que obtenga el mismo número. Hasta la inspección del cien por cien está siempre sometida a error. Así pues, estamos tratando de descubrir cosas sobre los lotes y procesos, y de entrar en acción con respecto a los mismos a través de un velo de errores de medida, de muestreo, experimentales y otros.
- (c) Ensayar los productos producidos por un proceso quiere decir recoger datos con objeto de descubrir el estado del proceso.
- (d) Recopilar números con los resultados diarios o mensuales quiere decir recoger datos con objeto de comprobar si el proceso de gestión de una empresa o una fábrica va bien, y entrar en acción si es menester.
- (e) Cuando se realiza un experimento para obtener datos también se pretende no solamente obtener los datos de ese experimento, sino recoger los datos con objeto de descubrir los valores reales bajo condiciones



**Figura 2.1: Poblaciones y muestras**



tales como las experimentales y decidir si se pueden usar o no esos valores.

Nuestro fin es, así pues, obtener información sobre lotes de producto acabado o inacabado, sobre el estado de un trabajo o proceso, o sobre los valores reales bajo ciertas condiciones experimentales, y realizar la acción adecuada. Éstas son las entidades en las que estamos interesados; en estadística se llaman "poblaciones" o "universos". En resumen, sacamos muestras y tomamos medidas con objeto de descubrir cosas sobre las poblaciones y actuar con respecto a ellas. La relación entre los datos, la muestra y la población está dibujada en la Figura 2.1.

En el control del proceso, tratamos de controlar un proceso con objeto de producir productos buenos; por tanto, siempre tenemos que pensar en el proceso como si fuera la población. Cogemos un lote o parte de un lote (i.e., cualquier cosa que pasemos de nuestra área de responsabilidad a la siguiente persona responsable) como muestra de la población que nosotros llamamos "proceso", y medimos sus características con objeto de comprobar si el proceso (la población, i.e., la forma como estamos llevando a cabo nuestro trabajo) va bien o no. Luego tratamos de actuar racionalmente con respecto al proceso. Tratamos de llevar la población, que llamamos "proceso", a un estado controlado y mantenerla así antes de que produzca productos malos, para que produzca productos buenos. Igualmente, cuando se realiza un experimento y se alteran las condiciones deliberadamente, los datos estarán dispersos como consecuencia de los diversos errores presentes. Puede que la población tenga una distribución diferente para dos conjuntos diferentes de condiciones experimentales, y se realiza el experimento con objeto de descubrir la diferencia entre las dos distribuciones de la población y seleccionar el mejor conjunto de condiciones. Igualmente, en la inspección por muestreo, se sacan muestras de una población llamada "lote" con objeto de decidir si ese lote se debe aceptar o rechazar.

Como indica el diagrama, una población puede ser o bien una "población finita", que se considera que consiste en un número finito de elementos, o una "población infinita", que se considera que consiste en un número infinito de elementos. En el control del proceso o en los experimentos, lo que se conoce como "proceso", i.e., el trabajo realizado bajo unas normas operativas establecidas, es lo que se considera como población. Ya que semejante proceso es teóricamente el origen de un número infinito de productos, se trata estadísticamente como si fuera una población infinita, y los lotes de producto que diariamente surgen de él se consideran como muestras de esta población.

### (3) Todos los datos son dispersos

Los datos que obtenemos siempre están dispersados y nunca tienen un único valor constante. Si en un grupo de datos, todos tuvieran el mismo valor, en la mayoría de los casos sería falso; de hecho, los datos que no están dispersados son inútiles. Por ejemplo, si sacáramos muestras de un producto determinado y midiéramos su resistencia, los resultados que obtendríamos estarían dispersados, e.g., 25, 20, 28, 30, 32 kg/cm<sup>2</sup>. Antiguamente, hubiéramos sacado la media de estos valores, 27,0 kg/cm<sup>2</sup>, y hubiéramos basado nuestros juicios en ella. En otras palabras, nuestros pensamientos estaban confinados al mundo de las medias. Hoy en día también tenemos en cuenta la dispersión. En otras palabras, entramos en el mundo de la dispersión cuando estimamos la calidad de un lote y decidimos si aceptarlo o rechazarlo o cuando juzgamos si hay una anomalía presente o no en un proceso o trabajo. En la terminología estadística, a esto se le llama "probar o contrastar hipótesis".

El número de factores que causan la dispersión en cualquier proceso industrial es teóricamente infinito. Puesto que sólo podemos controlar una pequeñísima fracción de éstos por medio de la tecnología, inevitablemente habrá dispersión en las características de los productos de nuestros procesos. El muestreo y las mediciones también están sometidas a error, y los resultados siempre estarán dispersos incluso si se mide la misma cosa varias veces. ¿Qué sucede si simplemente aceptamos esta dispersión tal como resulta?

#### (a) Identificar una distribución

Cuando los datos están dispersos, la dispersión sigue un cierto patrón. En otras palabras, la población (e.g., un proceso) de la cual proceden los datos también tiene una distribución. Si medimos el grosor de doscientas planchas de acero laminado, por ejemplo, obtendremos la clase de resultados mostrada en la Tabla 2.1.

Estos datos no nos dicen nada por sí mismos, pero si los dividimos en clases o "celdas" de 0,03 mm de anchura, e.g., 3,695-3,725 mm, 3,725-3,755 mm, etc., y contamos el número de medidas en cada celda, obtenemos la Tabla 2.2. Ésta se llama "tabla de distribución de frecuencias". Ordenando los datos como en esta tabla, se aclara la forma en que los datos están dispersos, i.e., la forma de su distribución. Normalmente, es posible ver la forma general de una distribución si se recogen cien o más valores y se prepara una tabla de distribución de frecuencias con diez o veinte celdas.

La distribución se puede ver aún con mayor claridad en forma de diagrama (Figura 2.2<sup>1</sup>). Esta clase de diagrama de datos se llama histograma.

---

<sup>1</sup>

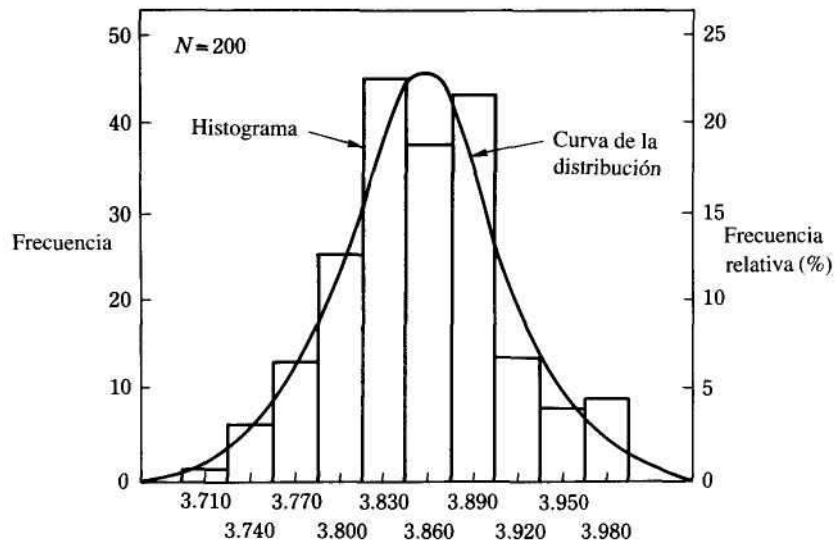
Ver los detalles de cómo preparar la distribución de frecuencias en la sección 2A. 1.

**Tabla 2.1: Espesor de las planchas de acero (unidad: mm)**

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3,88 | 3,88 | 3,84 | 3,82 | 3,83 | 3,93 | 3,86 | 3,84 | 3,90 | 3,97 |
| 3,84 | 3,85 | 3,90 | 3,87 | 3,94 | 3,89 | 3,87 | 3,87 | 3,86 | 3,87 |
| 3,84 | 3,84 | 3,85 | 3,88 | 3,89 | 3,96 | 3,84 | 3,79 | 3,81 | 3,84 |
| 3,88 | 3,83 | 3,84 | 3,85 | 3,93 | 3,81 | 3,87 | 3,83 | 3,89 | 3,87 |
| 3,81 | 3,91 | 3,90 | 3,86 | 3,83 | 3,90 | 3,87 | 3,90 | 3,86 | 3,86 |
| 3,78 | 3,92 | 3,98 | 3,74 | 3,88 | 3,81 | 3,94 | 3,91 | 3,97 | 3,75 |
| 3,88 | 3,94 | 3,90 | 3,88 | 3,85 | 3,87 | 3,90 | 3,78 | 3,86 | 3,87 |
| 3,88 | 3,79 | 3,80 | 3,80 | 3,79 | 3,82 | 3,86 | 3,84 | 3,92 | 3,83 |
| 3,90 | 3,90 | 3,83 | 3,84 | 3,95 | 3,84 | 3,97 | 3,89 | 3,86 | 3,90 |
| 3,84 | 3,81 | 3,84 | 3,98 | 3,99 | 3,86 | 3,85 | 3,79 | 3,87 | 3,78 |
| 3,93 | 3,84 | 3,88 | 3,85 | 3,91 | 3,89 | 3,84 | 3,88 | 3,89 | 3,97 |
| 3,83 | 3,90 | 3,93 | 3,87 | 3,90 | 3,92 | 3,91 | 3,70 | 3,79 | 3,73 |
| 3,97 | 3,89 | 3,78 | 3,83 | 3,87 | 3,90 | 3,84 | 3,76 | 3,81 | 3,82 |
| 3,85 | 3,83 | 3,81 | 3,83 | 3,76 | 3,77 | 3,90 | 3,79 | 3,83 | 3,90 |
| 3,89 | 3,86 | 3,84 | 3,89 | 3,83 | 3,80 | 3,86 | 3,80 | 3,89 | 3,83 |
| 3,90 | 3,77 | 3,79 | 3,83 | 3,85 | 3,85 | 3,89 | 3,84 | 3,83 | 3,95 |
| 3,88 | 3,87 | 3,81 | 3,91 | 3,89 | 3,84 | 3,79 | 3,86 | 3,78 | 3,89 |
| 3,81 | 3,77 | 3,73 | 3,85 | 3,80 | 3,77 | 3,78 | 3,83 | 3,75 | 3,83 |
| 3,94 | 3,90 | 3,75 | 3,77 | 3,83 | 3,79 | 3,86 | 3,89 | 3,84 | 3,99 |
| 3,83 | 3,94 | 3,84 | 3,93 | 3,85 | 3,79 | 3,84 | 3,88 | 3,83 | 3,80 |

**Tabla 2.2: Tabla de la distribución de frecuencias**

| Núm. celda | Fronteras celda | Punto medio celda | Recuento                    | Frecuencia | Frecuencia relativa % | Frecuencia acumulada |
|------------|-----------------|-------------------|-----------------------------|------------|-----------------------|----------------------|
| 1          | 3,395–3,725     | 3,710             | /                           | 1          | 0,5                   | 1                    |
| 2          | 3,725–3,755     | 3,740             | ///                         | 6          | 3,0                   | 7                    |
| 3          | 3,755–3,785     | 3,770             | /// //                      | 13         | 6,5                   | 20                   |
| 4          | 3,785–3,815     | 3,800             | /// // // //                | 25         | 12,5                  | 45                   |
| 5          | 3,815–3,845     | 3,830             | /// // // // // // // //    | 45         | 22,5                  | 90                   |
| 6          | 3,845–3,875     | 3,860             | /// // // // // // // // // | 37         | 18,5                  | 127                  |
| 7          | 3,875–3,905     | 3,890             | /// // // // // // // // // | 43         | 21,5                  | 170                  |
| 8          | 3,905–3,935     | 3,920             | /// //                      | 13         | 6,5                   | 183                  |
| 9          | 3,935–3,965     | 3,950             | /// //                      | 8          | 4,0                   | 191                  |
| 10         | 3,965–3,995     | 3,980             | /// //                      | 9          | 4,5                   | 200                  |
|            |                 |                   |                             | 200        | 100,0                 | 200                  |



**Figura 2.2: Histograma del espesor de las planchas de acero**

El histograma muestra claramente que el grosor de las láminas de acero sigue una distribución. Siendo así, ¿qué clase de población es el proceso que hizo las láminas? Podemos considerar que tiene la clase de distribución que se obtendría si se tomara un número infinito de estas medidas; por ejemplo, la clase de distribución mostrada por la curva de la Figura 2.2. La cuestión es que la población sigue cierta distribución. Cuando juzgamos si nuestro trabajo se está haciendo bien o no, siempre debemos recordar que la población -el proceso- y, por tanto, los productos que surgen de ese proceso, siguen una distribución.

(b) La expresión cuantitativa de las distribuciones

Para la expresión cuantitativa se usan medidas tales como la media, el recorrido, la desviación estándar, la varianza, etc. (Ver las secciones 2.3 y 2A.2.)

#### (4) Muestreo aleatorio

El que una población tenga una distribución quiere decir que tenemos que tener cuidado en sacar las muestras al azar. Por ejemplo, si la superficie de un producto pulido tiene áreas buenas y áreas malas, que los operarios experimentados pueden distinguir, el operario probablemente quiera elegir de muestra las áreas buenas. Los inspectores, por otra parte, prefieren las áreas malas. Tales muestras no son aleatorias y no se puede decir que representen fielmen-

te el proceso del cual se sacan. Elegir deliberadamente muestras buenas o malas no es un muestreo aleatorio.

Sacamos muestras con objeto de descubrir el estado de un proceso; por tanto, generalmente es insatisfactorio dejar que las personas elijan las muestras; es mejor sacar las muestras al azar. Además, la teoría estadística nos dice qué clase de valores y distribuciones deben tener la media, el recorrido, la desviación estándar y otros estadísticos de la muestra cuando se realiza el muestreo aleatorio (ver la sección 2A.3, Distribución de los estadísticos), y realizamos un muestreo aleatorio y evaluamos los datos con arreglo a los principios de la distribución de los estadísticos.

El muestreo aleatorio es fácil de entender pero no tan fácil de llevar a cabo; en la práctica, sin embargo, sacar muestras de un producto a unos intervalos de tiempo fijos es, generalmente, una buena aproximación al muestreo aleatorio.

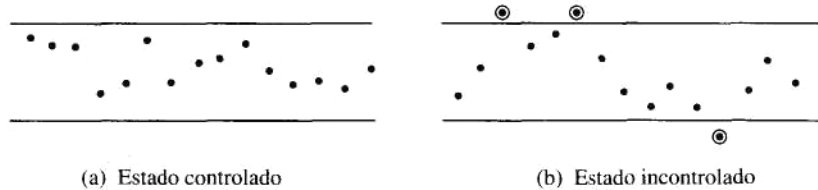
El muestreo aleatorio es el factor más importante de la puesta en práctica del control de calidad u otros tipos de control que utilicen métodos estadísticos. Si no se hace correctamente, los resultados obtenidos no tendrán prácticamente ningún significado, independientemente de que posteriormente se hagan muchos análisis estadísticos con los datos.

## **(5) Los dos tipos de causas de dispersión en los procesos**

Hay dos tipos de causas que afectan a los procesos y ocasionan la variación del producto, y también hay, por tanto, dos tipos de variación. Un tipo de causas es el que hace aparecer la variación en el producto (el resultado del proceso) aunque todas las personas relacionadas con el proceso trabajen siempre en él exactamente igual, y todo el mundo trabaje correctamente, *Le.*, de acuerdo con la norma.

Éstas son las causas que todavía no están bajo control técnico, pero están presentes teóricamente en un número casi infinito. Se llaman causas inevitables o "causas de azar", y la variación producida por ellas se llama "variabilidad controlada". Como directivos, no podemos culpar de ellas a nuestros trabajadores basándonos en las normas de trabajo o los planos actuales.

Por el contrario, el otro tipo de causas es el que produce alguna anomalía en el proceso y origina una variación particularmente grande, *e.g.*, cuando sucede algo que no está previsto por las normas de trabajo o no se siguen éstas. Tales causas se pueden eliminar por medio de la tecnología si todo el mundo implicado hace un esfuerzo cooperativo; se llaman causas evitables o "causas asignables", y la variación debida a ellas se llama "variabilidad incontrolada". Si las normas de trabajo y otras normas fueran perfectas, la presencia de la variabilidad incontrolada querría decir que los operarios no estaban haciendo lo



**Figura 2.3: Dos tipos de dispersión en los productos producidos por un proceso**

que se les había dicho. Este tipo de variabilidad indica que están entrando en el proceso materiales fuera de estándar, que los calibres y las herramientas están desgastados, que los instrumentos de medida no están calibrados, etc. Cuando aparece la variabilidad incontrolada, los directivos son responsables de reprender a los operarios y acometer acciones para asegurarse de que el trabajo se realiza de acuerdo con las normas internas. Sin embargo, estas normas generalmente son imperfectas, y estas causas usualmente exigen la acción de los directivos y del *staff*.

Como se mencionó más arriba, estos dos tipos de causas producen dos tipos de variación en los resultados de los procesos (i.e., productos, etc.). Cuando el trabajo avanza según las normas internas, se realiza el muestreo aleatorio, y se toman medidas controladas, generalmente se verá que la variación de la calidad del producto debida a las causas de azar tiene una distribución fija, usualmente la distribución normal. Esta situación se conoce como "variabilidad controlada". El estado de un proceso que produce resultados en los cuales la única dispersión es la variabilidad controlada, se llama "estado controlado" (e.g., el estado mostrado en la Figura 2.3(a)).

En contraste con esto, cuando surge una causa asignable, e.g., cuando aparece una anomalía en un proceso, la dispersión de los resultados del proceso (i.e., en el producto) es anormalmente grande. Esta dispersión anormalmente grande se llama "variabilidad incontrolada" y el estado de un proceso que produce resultados que tienen tal dispersión se llama "estado incontrolado". Por ejemplo, cuando un proceso está en un estado como el mostrado en la Figura 2.3(b), con puntos por fuera de los límites de control y que forman un patrón determinado, se dice que el proceso está "fuera de control".

Estas ideas no se limitan a la calidad; se pueden aplicar exactamente de la misma forma al rendimiento, los costes de producción, los costes unitarios, los volúmenes de ventas y otras cantidades, todas las cuales son el resultado de un proceso.

Antiguamente, los procesos eran controlados por medio de la intuición y la experiencia para distinguir entre los dos tipos de variación. Ahora, sin embargo, utilizamos herramientas estadísticas para entrar en el mundo de la dispersión, distinguir objetiva y económicamente entre los dos tipos de variación, y

desterrar las causas asignables de nuestros procesos. Para hacer esta distinción, usamos las "líneas de los límites de control" en los "gráficos de control". El par de líneas rectas de la Figura 2.3 equivalen a aquellas. El estudio del uso de los gráficos de control se centra principalmente en cómo calcular estas líneas de los límites de control para que se puedan utilizar tan eficiente, económica y fácilmente como sea posible, y en cómo se deberían utilizar para el control.

Hasta el momento he estado explicando los dos tipos de causas, principalmente en función de si se están observando o no las normas de trabajo. Sin embargo, cuando no hay normas de trabajo razonables, es imposible clasificar los dos tipos de causas de este modo solamente. En tal caso, podríamos empezar por clasificarlas según si el trabajo se estuvo realizando como antes o si se introdujo algún cambio. También podríamos clasificar las causas en aquellas que producen una variación relativamente grande y las que sólo producen una pequeña variación. En este caso, si elimináramos las causas asignables más importantes, podríamos luego separar las variaciones relativamente grandes de las que hasta entonces se habían considerado relativamente poco importantes. En otras palabras, podríamos separar las causas según el orden del tamaño de la variación que producían y eliminarlas una a una, empezando por la más grande.

## (6) Juicio estadístico

Cuando los datos están dispersados y queremos distinguir entre dos distribuciones diferentes con objeto de entrar en acción, tenemos que comprender los conceptos de probabilidad y de errores del tipo I y del tipo II.

La probabilidad puede sonar difícil, pero hacer juicios y actuar de acuerdo con la probabilidad es, en realidad, exactamente lo que siempre hemos hecho, *Le.*, decidir y actuar de acuerdo con el sentido común. Esto se ilustra fácilmente con un ejemplo.

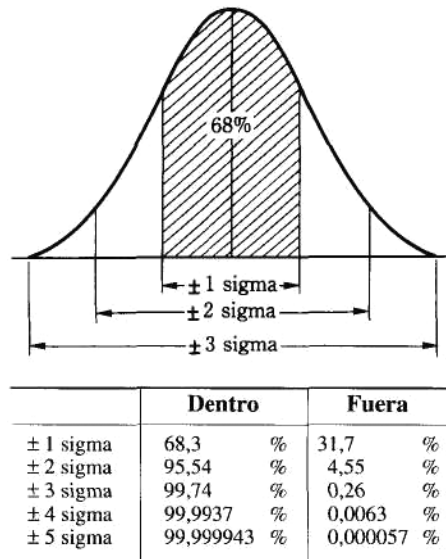
Imaginemos que usted y yo estamos lanzando un dado y estamos apostando. Decidimos que yo gano si sale un número par y que usted gana si sale un número impar, y nos ponemos a jugar. Lanzo el dado cinco veces y digo que he sacado cinco números pares seguidos. ¿Qué pensaría usted si le dijera que he ganado cinco veces jugando así? La mayoría de las personas me dirían probablemente que debo estar haciendo trampas. Analicemos el proceso mental que hay detrás de esto. Si yo lanzara el dado honradamente, la probabilidad de sacar un número par en un lanzamiento del dado sería de  $1/2$ . La probabilidad de sacar cinco números pares seguidos sería por tanto de

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{32} \approx 0.03$$

Sacar cinco números pares en cinco lanzamientos del dado es, en consecuencia, un acontecimiento que sucederá sólo unas tres veces entre cien, de media. Probablemente usted piense que es raro que suceda un acontecimiento con una probabilidad tan pequeña como ésta y, por tanto, sacará la conclusión de que la probabilidad de sacar un número par en un lanzamiento de este dado concreto no es igual a  $1/2$  como debería ser. Usted hace un juicio intuitivo de que yo estoy haciendo trampas de un modo u otro.

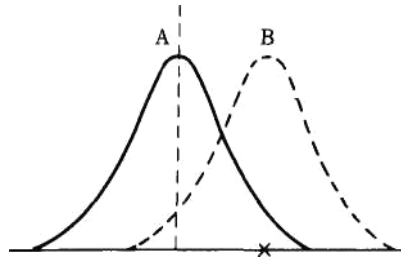
Ordinariamente, la mayoría de las personas utilizarían el sentido común para inferir que yo estaba haciendo trampas sin hacer realmente el cálculo anterior. La única diferencia entre esta clase de proceso mental y la estadística es que la segunda trata de hacer juicios basándose en probabilidades calculadas con exactitud; en otros aspectos, es exactamente lo mismo que el juicio a través del sentido común basado en la experiencia. Las herramientas estadísticas se utilizan para esta clase de cálculos de probabilidad.

Similarmente, si se toman aleatoriamente muestras de datos de una distribución, podemos esperar que muchos de los valores de las muestras estén cerca de la media o del pico de la distribución y que pocos de ellos estén cerca de las colas. En otras palabras, la probabilidad de obtener valores que caigan por fuera de ciertos límites es muy pequeña. Así pues, si de hecho obtenemos estos valores que tienen una probabilidad baja, podemos pensar que no proceden de esta distribución particular sino de cualquier otra distribución. Cuando una distribución tiene una variabilidad controlada, no se puede considerar que los valores que tienen una probabilidad baja y que están en los extremos de las



**Figura 2.4: La distribución normal con sus probabilidades**





**Figura 2.5: Se juzgó que hay dos distribuciones**

colas o por fuera de las colas formen parte de esta distribución, y se tiene que considerar que indican una variabilidad incontrolada. En otras palabras, se juzga, basándose en la probabilidad, que son datos que no proceden de la distribución controlada sino de un proceso o distribución diferentes.

La mayoría de las distribuciones con que nos encontramos normalmente se aproximan a la forma de campana mostrada en la Figura 2.4 -la distribución normal. Si usamos la desviación estándar (sigma) para dividir el área que hay debajo la curva, tal como se indica en la figura, podemos calcular las áreas de cada zona como porcentaje del área total que hay debajo de la curva. Este porcentaje es la probabilidad de obtener valores comprendidos entre los extremos superior e inferior de cada zona de la distribución cuando se sacan muestras al azar de una población que tiene esta clase de distribución. Como indica la figura, la probabilidad de encontrar un valor dentro de una sigma a cada lado de la media es aproximadamente del sesenta y ocho por cien, mientras que la probabilidad de obtener un valor por fuera de estos límites es aproximadamente del treinta y dos por cien. Similarmente, la probabilidad de que los valores caigan fuera de los límites  $\pm 3$ -sigma es pequeñísima; sólo del 0,3 por cien o del tres por mil. Puesto que un acontecimiento que tenga esta probabilidad tan baja sucede muy raramente, usualmente cuando los datos caen fuera de los límites 3-sigma sacamos la conclusión de que la distribución ha cambiado, que el proceso ha cambiado, y que hay alguna anomalía en el proceso.

Volviendo al ejemplo del dado, si usted me acusara de hacer trampas todas las veces que yo dijera haber sacado cinco números pares seguidos, ¿tendría usted razón siempre? Hay una posibilidad entre treinta y dos, por término medio, de sacar cinco números pares seguidos en cinco lanzamientos incluso cuando el dado se lanza sin trampas. En otras palabras, si usted me acusa de hacer trampas, usted tiene una posibilidad de uno entre treinta y dos de equivocarse, por tanto no siempre tendrá razón. En estadística, este tipo de error se llama "error del tipo I". Por otra parte, ¿qué pasaría si yo dijera que he sacado tres números pares seguidos y usted me dijera nada más, "¡Qué suerte! ¿no?",

sin acusarme de hacer trampas? En realidad podría haber estado haciendo trampas sin que usted se diera cuenta. En estadística, este tipo de error se llama "error del tipo II". El hecho de que siempre que emitimos un juicio existe la posibilidad de que cometamos estos dos tipos de errores es la base de las pruebas estadísticas de hipótesis (contraste).

Consideremos lo que ocurre cuando estamos pensando en actuar respecto a un proceso que está mostrando una dispersión. Si obtenemos algunos datos que caen en las colas de una distribución controlada A -e.g., el valor indicado por la cruz de la figura 2.5-, a partir de la probabilidad tan baja que tiene de aparecer tal valor, podríamos sacar la conclusión de que había aparecido en el proceso algún factor que dio lugar a una distribución anormal. Sin embargo, esto podría ser un error del tipo I en el cual sacamos la conclusión errónea de que la distribución es incontrolada (B), aunque realmente es controlada (A). Sin embargo, no podemos usar de excusa esta posibilidad para decir que el proceso está en estado controlado (A). Si hiciéramos esto, podríamos estar cometiendo el error de tipo II y no darnos cuenta de que había aparecido alguna anomalía en el proceso y que la media de la distribución se había desplazado a B. Si aceptamos que habrá algo de variación en nuestros productos, aunque estemos trabajando como siempre, también tenemos que aceptar que las personas que son responsables de controlar el proceso no pueden eliminar completamente la posibilidad de cometer estos dos tipos de errores.

Si nuestra única preocupación es no dejar que una sola anomalía se deslice por un proceso sin que nos demos cuenta, y decidimos que algo está mal en el proceso, incluso cuando los datos de él no indiquen más que una ligera variación, estaremos exagerando el error de tipo I. Aunque no haya ninguna anomalía en el trabajo o en el proceso y se esté llevando a cabo de acuerdo con las normas, iremos corriendo de acá para allá buscando vanamente las causas de las anomalías. Por esta razón, también podríamos llamar a este tipo de error un tipo de error "impulsivo". Para evitar cometerlo, podríamos dejar las cosas tal como están y no hacer nada absolutamente, por dispersos que estuviesen los datos. Pero esto querría decir que no se habría acometido ninguna acción incluso si hubiesen respondido realmente a una anomalía. Esto exageraría el error del tipo II y podría ser desastroso para el proceso. Podríamos llamar a este tipo de error el tipo de error de "despiste".

Muchos japoneses, especialmente los ejecutivos, los directivos y los supervisores no son sensibles a la dispersión. Se ponen nerviosos con facilidad y van corriendo desconcertados de un sitio a otro, un instante están encantados y al momento están deprimidos, siempre que hay una pequeña variación en los datos. Por ejemplo, protestan a voz en grito cuando las ventas disminuyen ligeramente y se ponen a regañar a la gente si los rendimientos disminuyen un poco. Todo lo que consigue este comportamiento es fomentar que los puestos de trabajo den datos falsificados.

Al controlar un proceso, tendremos problemas si somos demasiado impulsivos, y si reaccionamos demasiado lentamente o demasiado rápidamente. Las líneas de los límites de control de un gráfico de control tienen en cuenta la posibilidad de cometer los dos tipos de errores, y se dibujan para distinguir empíricamente dos distribuciones diferentes. Las utilizamos para emitir juicios. Las líneas se dibujan en los puntos  $\pm 3$ -sigma de la variación que hay dentro del subgrupo; en otras palabras, se dibujan para hacer que la probabilidad de cometer un error del tipo I sea aproximadamente 0,003, o del 0,3 por cien. Así pues, lo mismo que también nos dice el sentido común antes mencionado sobre la probabilidad, una variación que sobrepasa los límites (en el ejemplo del dado esto sería lo mismo que sacar siete u ocho números pares seguidos) indica que probablemente haya algo mal en el proceso. En tal caso, podremos, por tanto, descargar nuestras responsabilidades de control con confianza (estadística), y buscar y eliminar las causas de la anomalía por medio de las técnicas de la ingeniería y estadísticas. Las líneas de los límites de control son, pues, una forma de establecer reglas para la acción, y su uso permite que cualquier persona pueda emitir juicios objetivamente.

Si los directores cometen el tipo de error "impulsivo" y riñen a sus subordinados incluso cuando hacen bien su trabajo, el efecto sobre lo que suceda después es malísimo, y surgen datos falsos de todos los puestos de trabajo. Por esto el gráfico de control sitúa la probabilidad de cometer este tipo de error en el 0,3 por cien, un valor bajísimo.

En las pruebas estadísticas generales de las hipótesis en situaciones no controladas, la probabilidad de cometer un error del tipo I se sitúa usualmente en el cinco o el uno por cien. En estadística, esta probabilidad se llama "nivel de significación".

### **(7) Entrar en acción con respecto a la población**

Cuando hemos actuado como se describe más arriba y hemos tomado una decisión basada en los datos de la muestra, luego tenemos que acometer acciones con respecto a nuestro objetivo básico, la población. En el control del proceso, ya que podemos decir con confianza que en el proceso ha sucedido una anomalía, esto quiere decir buscar las causas, eliminarlas y evitar que vuelva a aparecer la anomalía. Como se dijo antes, desde cierto punto de vista la estadística podría llamarse "ciencia de la acción". Sólo cumplimos el propósito de la recogida de datos tal como se describe más arriba cuando acometemos una acción determinada basada en las conclusiones estadísticas.

Lo anterior no es más que un esbozo aproximado del enfoque estadístico. Utilizamos esta clase de enfoque para tratar de racionalizar nuestras organizaciones controlando estadísticamente la gestión, la calidad y otros factores.

## 2.2.2 Precauciones desde el punto de vista del control

Desde el punto de vista del control hay varias consideraciones importantes que se refieren al enfoque estadístico.

### (1) La fiabilidad de los datos

Tanto para el control, la inspección o el análisis, los datos falsos, deliberadamente amañados o que no son fiables por cualquier otra razón y que salen del puesto de trabajo, son peor que si fueran inútiles. En las empresas tradicionales, especialmente las que tienen una burocracia más centralizada, más "directores artesanos" y más "directores de departamentos artesanos", y valoran peor la variación estadística, salen más datos falsos de los puestos de trabajo, y más lejos están estos datos de los hechos verdaderos. Esto sucedía igual en la era de la economía dirigida. Con la dirección que está basada en la postura de que los seres humanos son malos básicamente, disminuye la fiabilidad de los datos.

Podríamos utilizar toda clase de métodos estadísticos para analizar estos datos falsos o pasar horas discutiendo los detalles de los errores de muestreo y de medida, pero hacerlo no tendría sentido. Antes de aplicar los métodos estadísticos, tenemos que asegurarnos de que de los puestos de trabajo salgan datos verdaderos, y para ello hace falta lo siguiente:

- (a) Todo el mundo, especialmente los directivos de alto nivel, tiene que reconocer que todos los datos contienen dispersión.
- (b) La discusión tiene que ser objetiva, y reflexionar detenidamente sobre las pruebas y estimaciones estadísticas.
- (c) Se tiene que delegar la autoridad.
- (d) Los directivos de alto nivel no deben preocuparse demasiado de la letra pequeña. Los directivos y directores de departamento tienen que actuar como ejecutivos, no como artesanos.

Especialmente cuando se están manejando grandes cantidades de elementos (e.g., grandes cantidades de botellas o de piezas), el control del volumen de producción y de los costes, y no digamos el control de la calidad, es, obviamente, imposible si no se pueden identificar correctamente las cantidades.

Dicho de otro modo, la emisión de órdenes irrazonables, ponerse nervioso, el control dictatorial, el control excesivo por parte de la oficina central, las manifestaciones confusas por parte de los superiores, la falta de comprensión de la dispersión por parte de los superiores, las normas de trabajo y métodos de evaluación malos, y una comprobación insuficiente fomentan la producción de datos falsos. Cuando el control de calidad se pone en práctica hábil-

mente en toda una empresa, desaparecen los datos falsos y todo el mundo puede decir libremente lo que piensa.

## **(2) Indicar claramente la historia de los datos y de los lotes de productos - Estratificación**

Tal como ha dejado claro la explicación anterior, el enfoque estadístico es, en efecto, un proceso para examinar los hechos, emitir juicios, trazar las causas de las anomalías y entrar en acción. Por ejemplo, quiere decir mirar la manera en que están dispersos los resultados de un proceso (i.e., la calidad del producto), buscando las causas asignables entre los muchos factores que afectan al proceso y entrando en acción.

Así pues, si la historia de los datos (en otras palabras, la historia de los lotes de producto) no está clara, nos resultará difícil identificar las causas de variación del proceso. En control de calidad es absolutamente esencial aclarar la historia de los datos y de los lotes de producto, y, por tanto, tenemos que hacer lo siguiente:

- (a) Definir claramente lo que queremos decir por lote.
- (b) Estratificar los lotes de producto.
- (c) Registrar quién hizo el muestreo y tomó las medidas.

Esto se puede hacer con relativa facilidad ideando alguna clase de sistema de tarjetas y disponiendo de recipientes y mecanismos de transporte adecuados. Si no se hace aceptar enérgicamente, aunque en el sistema haya algunas tensiones al principio, el control de calidad no avanzará y los datos que se recojan no serán muy útiles. Sin la estratificación el control de calidad se quedará en el camino.

## **(3) Estimar un proceso controlado**

Para identificar qué clase de ente es un proceso cuando está bajo control, tenemos que estimar la distribución de ese proceso (i.e., la distribución de la población).

Si un proceso ha estado controlado durante mucho tiempo, la variación de los resultados del proceso (i.e., el producto) también tiene que estar bajo control. Así pues, si la variación de los resultados de un proceso ha seguido en el estado controlado durante mucho tiempo, podemos estimar la distribución para el futuro. Esto es importantísimo para el control del proceso, ya que quiere decir que podemos suponer que, si en el futuro seguimos controlando un proceso del mismo modo, la distribución de los resultados del proceso (i.e., el producto del futuro proceso controlado) también será la misma. En otras palabras, si tomamos las líneas de los límites de control calculadas por el análisis

de los datos del pasado y las proyectamos hacia el futuro sin modificación, la variación del proceso seguirá entre los límites, siempre que el proceso siga bajo control. Esto quiere decir que también podemos estimar la forma futura de la distribución de los resultados del proceso y utilizar esta estimación para garantizar la calidad y la fiabilidad futuras.

De este modo se puede garantizar la calidad, incluso sin inspección, si un proceso se mantiene en un estado bien controlado, y podremos predecir con seguridad qué clase de producto se producirá. Inversamente, si en el futuro las características del producto caen entre las líneas de los límites, esto indica que estamos justificados para asumir que el proceso está bajo control. También quiere decir que si aparecen valores por fuera de las líneas, podremos asumir que han sucedido algunos cambios en el proceso. Así pues, si en el futuro los datos cruzan los límites, tendremos que investigar inmediatamente la anomalía del proceso y entrar en acción.

El fin del control de los procesos cuando se utilizan de este modo los gráficos de control es mantener realmente a los procesos bajo control en el futuro, y poder así proveer a la sociedad de productos fiables.

## 2.3 Los diferentes tipos de datos

Las medidas que tomamos son de dos tipos: métricas y enumerables. Por ejemplo, medidas tales como "tres tornillos defectuosos entre cien", "cinco taras en un tejido" o "x paradas en un mes en la fábrica" se dan en forma de números enteros (i.e., "un tornillo", "dos tornillos", "una tara", "dos taras", "una parada", "dos paradas"), no en forma de fracciones o decimales tales como "1,6 paradas". Las medidas que pasan así de un número entero al siguiente se llaman "discretas" o "discontinuas", y los valores discretos como los anteriores se llaman "atributos". Igualmente, cuando, por ejemplo, se encuentran tres láminas defectuosas de un producto en doscientas, se puede expresar como  $(3/200) \times 100 = 1,5\%$ , i.e., un porcentaje de unidades defectuosas del 1,5%. Porcentajes como éstos no son enteros como en los ejemplos anteriores, pero pasan (de 1 a 1,5 a 2 a 2,5 en este caso) sin valores intermedios (tales como 1,1, 1,2, etc.) y por tanto no son continuos. Por tanto, los porcentajes de defectos de este tipo son también atributos.

En contraste con esto, las medidas de, por ejemplo, el espesor (mm), el peso (g) o las horas de trabajo (h) son valores continuos. En una serie de medidas tal como 1,50 mm, 1,51 mm, etc., a primera vista puede parecer que saltan de un número al siguiente, pero todo lo que realmente queremos decir con 1,50 mm es que, debido a la precisión limitada de la medida, hemos redondeado todas las lecturas de 1,495 a 1,505 mm a la centésima parte de milímetro más próxima. El objeto real que estamos midiendo puede tener un intervalo

infinito de valores y las medidas que pueden adoptar un intervalo continuo de valores así se llaman "variables".

La naturaleza estadística de los atributos y las variables es diferente y, con frecuencia, requieren el uso de herramientas estadísticas y gráficos de control diferentes. Los atributos también forman distribuciones discretas, mientras que las variables forman distribuciones continuas.

Los atributos con que nos encontramos normalmente en control de calidad también son de dos tipos: las distribuciones del número de unidades defectuosas y de la fracción de unidades defectuosas. Las distribuciones obtenidas al clasificar los productos en conformes y no conformes con las especificaciones son estadísticamente diferentes de las distribuciones del número de defectos por muestra y del número de defectos por unidad, obtenidos al contar el número de defectos en un solo producto.

Hablando estadísticamente, las distribuciones de los números de unidades defectuosas y de las fracciones de unidades defectuosas forman distribuciones binomiales. Si el producto se clasifica en tres o más clases (e.g., primera clase, segunda clase, tercera clase, etc.), la distribución será multinomial. Por el contrario, las distribuciones de los números de defectos por muestra y de los números de defectos por unidad siguen la distribución de Poisson.

Nota: En Control de Calidad, los términos "aceptación", "rechazo", "unidad defectuosa", y "defecto" tienen unas definiciones estrictas. "Aceptación" y "rechazo" se utilizan para la aceptación y el rechazo de lotes de producto, mientras que "unidad defectuosa" y "unidad no defectuosa" se utilizan para evaluar las unidades individuales de inspección. Un "defecto" es un área o elemento de una unidad de inspección que no cumple las especificaciones o los requisitos.

## 2.4 Expresión cuantitativa de las distribuciones<sup>2</sup>

El hecho de que los datos de las muestras y las poblaciones estén distribuidos estadísticamente se mencionó en la sección 2.1. Las formas aproximadas de tales distribuciones pueden verse si los datos se indican en forma de tablas o diagramas tales como la Tabla 2.2 y la Figura 2.2, pero a menudo también es conveniente expresarlos cuantitativamente.

Una distribución está determinada por su posición (o "tendencia central"), su extensión (o "dispersión"), y su forma; en otras palabras, si su pico está desplazado hacia la izquierda o la derecha ("asimetría"), o es agudo ("apuntamiento" o "curtosis"), o plano ("aplastamiento"). Generalmente es suficiente

---

<sup>2</sup>

Ver la sección 2A.2.

con expresar cuantitativamente la tendencia central y la dispersión de una distribución, e indicar su forma (i.e., su asimetría y apuntamiento) en un histograma o un diagrama similar. A estos valores cuantitativos se les llama "medidas".

### (1) Medidas de la tendencia central

Normalmente se utiliza la media aritmética (también llamada "promedio") o la mediana para medir la tendencia central.

Promedio,  $\bar{x}$  (que se lee "x barra"): si, por ejemplo, cogemos los cinco primeros valores de los datos indicados en la Tabla 2.1 (3,88, 3,88, 3,84, 3,82, 3,83), su promedio viene dado por

$$\bar{x} = (1/5) (3,88 + 3,88 + 3,84 + 3,82 + 3,83) = 3,850$$

El promedio se puede expresar con la siguiente fórmula general:

Mediana,  $\tilde{x}$ : este es el valor central cuando los datos se disponen en orden de magnitud. Por ejemplo, la mediana de los valores anteriores (3,88, 3,88, 3,84, 3,83, 3,82) es 3,84. Cuando hay un número par de valores, la mediana es el promedio de los dos valores centrales.

Moda: es el valor correspondiente al pico de la distribución. Algunas distribuciones pueden tener más de una moda.

### (2) Medidas de la dispersión

Recorrido,  $R$ : es la diferencia entre el valor más alto,  $x_{\text{máx}}$ , y el más bajo,  $x_{\text{mín}}$ . En el ejemplo anterior,

$$R = x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}} = 3,88 - 3,82 = 0,06$$

Generalmente se utiliza  $R$  cuando el número de puntos es de diez o inferior.

Suma de los cuadrados de las desviaciones,  $S$ : una "desviación" es la diferencia entre un valor determinado y la media, y la suma de los cuadrados de estas diferencias se llama suma de los cuadrados de las desviaciones.

$$\begin{aligned} S &= (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2 \\ &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\ &= \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2/n \end{aligned}$$

El segundo término de la expresión anterior se llama "término de corrección" (TC).



Varianza de la muestra, o la estimación insesgada de la varianza de la población,  $V$ : es la suma de los cuadrados de las desviaciones dividida por  $n-1$ , donde  $n$  es el número de datos.

$$V = S/(n-1)$$

Desviación estándar,  $\hat{\sigma}$ : es la raíz cuadrada positiva de la varianza.

$$s = \sqrt{V} = \sqrt{S/(n-1)}$$

Cuando el número de datos es grande, si se divide por  $n$  en vez de  $n-1$  dará aproximadamente el mismo resultado.

## 2.5 Interpretación y uso de las distribuciones de frecuencias<sup>3</sup>

Las distribuciones de frecuencias son la herramienta más sencilla, más utilizada y eficaz. Aquel que no sepa ni siquiera utilizar las distribuciones de frecuencias seguro que no podrá utilizar los métodos estadísticos más avanzados.

Estamos rodeados de montones de datos, pero no nos dicen nada si no hacemos más que enumerarlos como en la Tabla 2.1. Si los expresamos en forma de una distribución de frecuencias como en la Tabla 2.2 o la Figura 2.2, nos dan diversas ideas. Puesto que las distribuciones de frecuencias se utilizan muy a menudo en el control de calidad, las empresas deben preparar impresos en blanco para las mismas en las que también haya espacio para notas, hacer cálculos y anotar los promedios, las desviaciones estándar, etc.

### (1) El fin de la preparación de las distribuciones de frecuencias

El fin principal de la preparación de una distribución de frecuencias es, usualmente, uno de los siguientes:

- (i) Dejar bien visible el estado de una distribución, i.e., identificar la forma de la distribución,
- (ii) Identificar la capacidad del proceso,
- (iii) Para el análisis y el control del proceso,
- (iv) Para determinar el promedio, la desviación estándar y otras medidas de una distribución,
- (v) Para probar a qué tipo de distribución matemática se puede acoplar estadísticamente una distribución empírica.

---

<sup>3</sup>

Ver los métodos para preparar las distribuciones de frecuencias y los métodos de cálculo en la sección 2A. 1.

Puesto que las distribuciones de frecuencias facilitan que todo el mundo vea y comprenda intuitivamente la forma de una distribución y el estado de un proceso, se utilizan especialmente con el objetivo (i) nombrado anteriormente. Tienen un amplio rango de aplicaciones: por ejemplo, para informar de los resultados diarios, semanales, mensuales o anuales a los superiores en un formato fácilmente comprensible, o para analizar las causas de dispersión.

Las distribuciones de frecuencias y los histogramas se interpretan más fácilmente si se incluyen valores tales como la desviación estándar, el valor de referencia, el valor especificado,  $\bar{x} \pm 3 \bar{R} / d_2$  calculado con los gráficos de control, o  $\bar{x}$

## (2) Interpretación de las distribuciones de frecuencias

Cuando se miran las distribuciones de frecuencias, se tiene que prestar atención a los puntos siguientes:

- (i) ¿Está la distribución (i.e., su promedio) en la posición adecuada?
- (ii) ¿Cómo es la extensión (i.e., la dispersión) de la distribución?
- (iii) ¿Cuál es la relación entre valores tales como la desviación estándar, el valor de referencia, y el valor especificado?
- (iv) ¿Caen algunos valores por fuera de las líneas  $\bar{x} \pm 3 \bar{R} / d_2$  o  $\bar{x} \pm 3s$ ?
- (v) ¿Hay algunos huecos, como dientes que faltan, o subidas o bajadas repentinas como las púas de un peine, en la distribución?
- (vi) ¿Hay algunos puntos aislados fuera del cuerpo principal de la distribución?
- (vii) ¿Son aceptables los valores máximo y mínimo de la distribución?
- (viii) ¿Es asimétrica la distribución, con un extremo mucho más largo que el otro, o es simétrica?
- (ix) ¿Tiene aspecto de acantilado la parte izquierda o la derecha de la distribución?
- (x) ¿Tiene más de un pico la distribución?
- (xi) ¿Es demasiado agudo o demasiado chato el pico de la distribución?

Si se preparan varios histogramas estratificados con los mismos datos y se comparan los puntos anteriores, se puede obtener más información. Los lectores deben estudiar la interpretación de las distribuciones de frecuencias utilizando las Figuras 2.6-2.9 de más abajo.

### (3) Cómo utilizar las distribuciones de frecuencias

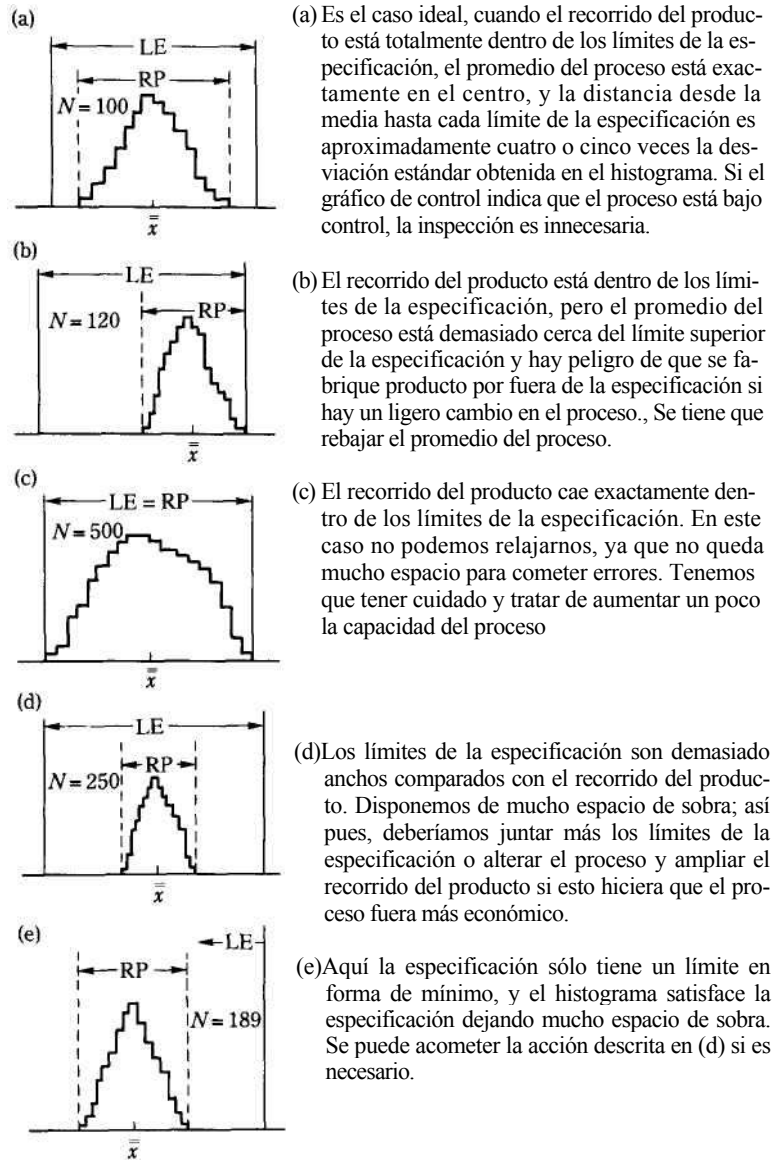
Las distribuciones de frecuencias se utilizan para descubrir la forma de una distribución o el estado de un proceso cuando se interpretan de la forma descrita más arriba. Tienen las siguientes aplicaciones:

- (1) Para preparar informes: si los informes mensuales de la calidad y otros informes se presentan no simplemente como una ordenación de los datos sino en forma de histograma, y se añade el número de valores  $N$  y su promedio y desviación estándar, pueden ser comprendidos fácilmente por cualquier persona.
- (2) Para análisis: si se separan las distribuciones de frecuencia estratificadas con arreglo a las posibles causas asignables (e.g., operario, máquina, materia prima, mes/día, etc.), como se muestra en las Figuras 2.9 y 2.10, se puede identificar inmediatamente las diferencias. La estratificación es el secreto de la preparación de buenas distribuciones de frecuencias, y su interpretación según se describe en la Figura 2.8 puede hacer que se descubran las causas de los datos distantes. También hace que se identifique rápidamente las relaciones entre las especificaciones, los valores estándar y los valores de referencia.
- (3) Para estudios de la capacidad de proceso y de la capacidad de equipo: las distribuciones de frecuencias se utilizan frecuentemente para mostrar las capacidades de los procesos, la maquinaria y el equipo, tanto cualitativa como cuantitativamente.
- (4) Para control: al exponer las distribuciones de frecuencias en el puesto de trabajo (y en algunos casos estratificándolas y actualizándolas diariamente) transmite el concepto de dispersión a los encargados de la planta y a los operarios de base, y les ayuda a ser más conscientes del control. Igualmente, si se dibujan las líneas  $\bar{x} \pm 3\bar{R}$  /  $d_2 = \bar{x} + E_2 \bar{R}$  en las distribuciones de frecuencias (ver la sección 3A.2), se pueden utilizar para el control del mismo modo que las líneas de control en un gráfico de control.

### (4) Los inconvenientes de las distribuciones de frecuencias

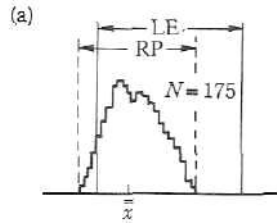
Como se explicó más arriba, la variedad de aplicaciones de las distribuciones de frecuencias es amplísimo, y son muy eficaces. Sin embargo, sí que tienen las desventajas siguientes:

- (a) No indican los cambios con el tiempo. Puesto que para hacer una distribución de frecuencias, se juntan todos los datos de un mismo lote, mes, etc., éste método no se puede utilizar para identificar las causas

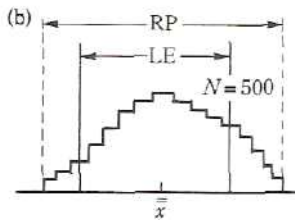


LE: Límites de la especificación RP: Recorrido del producto

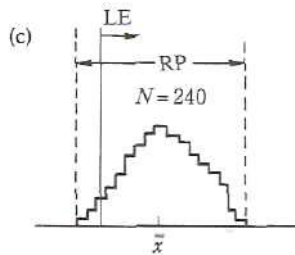
**Figura 2.6: Comparación entre la especificación y el histograma (en un caso en que se cumplen las especificaciones)**



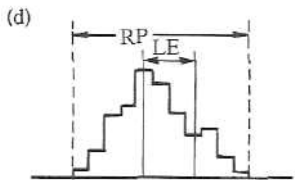
(a) El promedio del proceso se ha desplazado demasiado hacia la izquierda. Cuando sea un problema sencillo de ingeniería cambiar el promedio del proceso, se debe cambiar para que coincida con el punto medio de los límites de la especificación.



(b) La dispersión del proceso es demasiado grande. O se tiene que cambiar el proceso o se tiene que cambiar los límites de la especificación. Es necesario un cribado del cien por cien del producto.

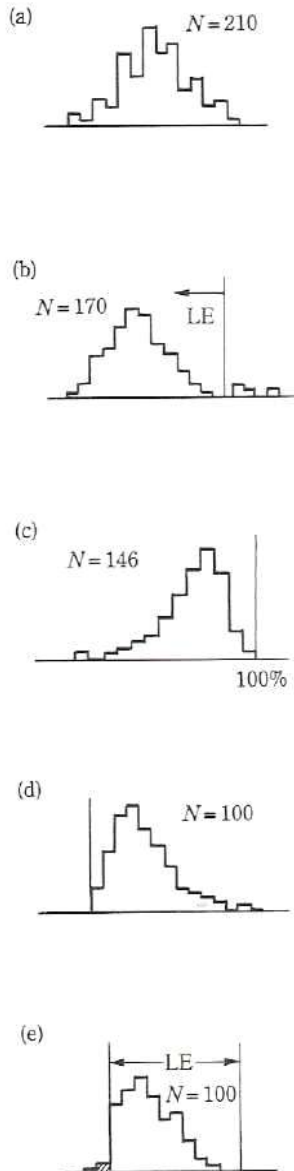


(c) En este caso, la especificación está en forma de un máximo, e.g., por lo menos  $x$  kg/cm<sup>2</sup>. Se tiene que aumentar el promedio del proceso y reducir la dispersión o hacer otros cambios.



(d) Aquí la capacidad del proceso es totalmente inadecuada para cumplir la tolerancia de la especificación o el proceso, se tiene que estratificar el producto de varias maneras y realizar un cribado del cien por cien para seleccionar el producto aceptable.

**Figura 2.7: Comparación entre la especificación y el histograma (en un caso en que no se cumplen las especificaciones)**



(a) Histograma con dientes o en forma de peine. Comprobar si hay algo mal en los métodos de medida o de cálculo. ¿Se agruparon los datos convenientemente cuando se preparó el histograma?

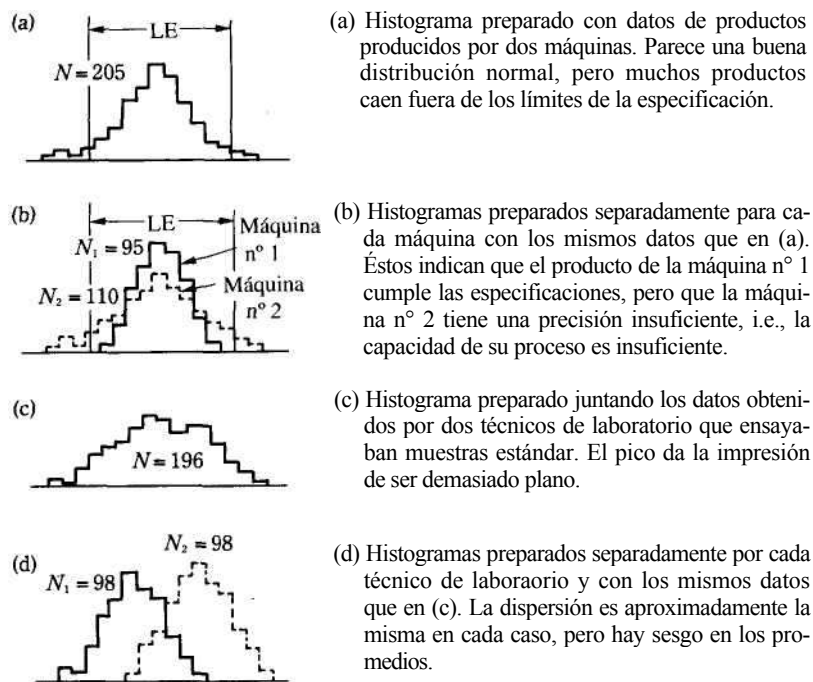
(b) Histograma con "islas separadas". Este tipo de histograma indica alguna anomalía y se tiene que buscar su causa y erradicarla. Si se puede eliminar la causa de los datos que caen fuera, se puede fabricar producto que esté completamente dentro de los límites de la especificación.

(c) Histograma con una cola izquierda extendida. Esto ocurre a menudo cuando hay un límite superior -e.g., un máximo teórico o un límite en la especificación- por encima del cual no pueden pasar los datos; por ejemplo, cuando el rendimiento de un proceso o la pureza de un producto es ía próxima al cien por cien. El rendimiento promedio, la pureza promedio, etc., mejorará en tal caso si se acometen acciones para eliminar la causa de la cola de la izquierda.

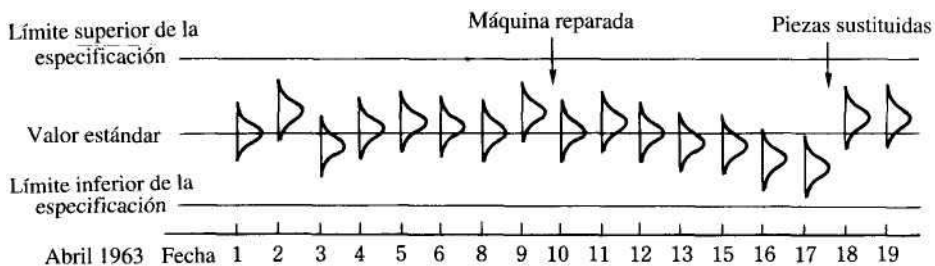
(d) Histograma con una cola derecha extendida. Esto ocurre cuando hay un límite inferior por debajo del cual no pueden pasar los datos, e.g., cuando los valores de las impurezas están próximos al cero por cien, o las unidades defectuosas o los defectos próximos a cero. Cuando la distribución presenta una cola como la indicada, se debe investigar las razones técnicas de ello.

(e) Histograma en forma de acantilado. Esta forma se obtiene a menudo cuando un proceso tiene una capacidad inadecuada y sus productos están sometidos a una inspección del cien por cien para seleccionar sólo los que cumplen las especificaciones. Los pocos valores que caen fuera del límite inferior representan productos que han pasado la red de cribado como consecuencia de errores de medida o de inspección.

**Figura 2.8: Varias formas de histogramas**



**Figura 2.9: Histogramas estratificados**



**Figura 2.10: Distribuciones de frecuencias ordenadas en secuencia temporal, que indican claramente las tendencias de la media y la dispersión**

de variación dentro de cada lote o cada mes. Para superar esta limitación podemos estratificar los datos por tiempos todo lo posible cuando se preparen las distribuciones de frecuencias y hojas de comprobación, o podemos usar otros métodos (tales como los gráficos de control descritos más adelante) para comprobar el estado de control al mismo tiempo.

- (b) Para expresar la limitación anterior (a) en términos un poco más estadísticos, utilizando la terminología de los gráficos de control, podemos decir que las distribuciones de frecuencias no dan mucha idea de la variación dentro de un grupo o entre grupos.
- (c) Para preparar una distribución de frecuencias e identificar su forma hacen falta muchos datos -por lo menos cincuenta valores y, si es posible, más de cien. Esto es inevitable si queremos identificar la forma de la distribución y otros factores esenciales.

A pesar de estas desventajas, las distribuciones de frecuencias son útiles si empleamos la estratificación y otros mecanismos, y si hacemos bien su preparación y su interpretación y las aplicamos sensatamente.

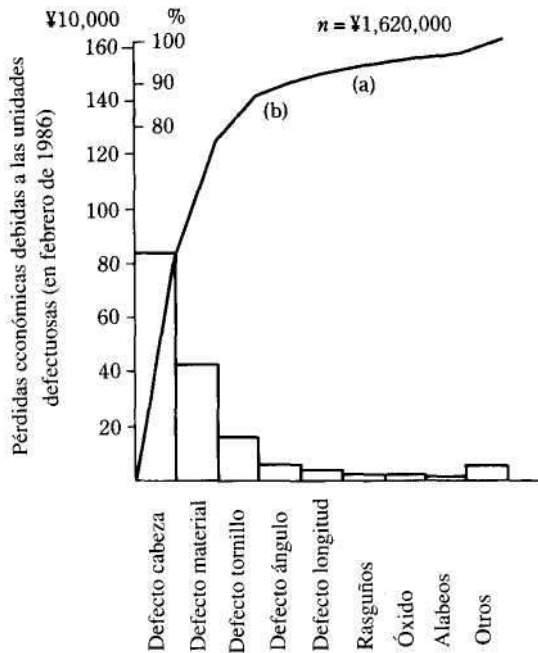
## 2.6 Diagramas de Pareto y curvas de Pareto

### (1) ¿Qué es un diagrama de Pareto?

El diagrama de Pareto es un tipo de distribución de frecuencias. Se prepara recogiendo datos de, por ejemplo, el número de diferentes tipos de defectos, reprocesos, desechos y reclamaciones, o de pérdidas en dinero y pérdidas en porcentajes, junto con sus varias causas, y luego se representan por orden decreciente de frecuencia, como se muestra en la Figura 2.11.

Cuando ordenamos así los datos y representamos los totales acumulados como indica la línea continua de la figura, vemos a menudo que los dos o tres primeros tipos de defectos, por ejemplo, suponen como mínimo el setenta u ochenta por cien del total. Está claro que si eliminamos estos defectos concretos, habremos eliminado la mayoría de los defectos, y la fracción de unidades defectuosas disminuirá espectacularmente. Aunque generalmente en las empresas hay una enorme variedad de defectos, pérdidas, accidentes y otros problemas, que tienen una multitud de causas diferentes, la mayor parte de los efectos indeseables se debe a menudo, con mucha diferencia, a sólo dos o tres problemas o causas principales. Esto se llama principio de Pareto ("pocos vitales, muchos triviales"), que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a sólo unos pocos graves. Los diagramas de Pareto nos





**Figura 2.11: Diagrama de Pareto**

permiten identificar objetivamente los problemas graves que tenemos delante actualmente, y acometer los verdaderamente importantes como cuestión de política.

La identificación y eliminación de estos problemas nos permite alcanzar enormes beneficios. Si no identificamos así los problemas verdaderamente importantes, malgastaremos mucho esfuerzo; por ejemplo, si decimos que nuestro problema es el quinto elemento de la Figura 2.11 (defectos de longitud) y hacemos grandes esfuerzos para resolverlo, sólo ahorraremos unos cincuenta mil yenes (cuatrocientos dólares) al mes aunque tengamos éxito. Este tipo de esfuerzo es un "esfuerzo quisquilloso". Se pueden alcanzar resultados incomparablemente mejores si todos los departamentos cooperan para eliminar los problemas más grandes. Desgraciadamente, a menudo se eluden los problemas más grandes porque implican a un número elevado de departamentos y se considera que son demasiado problemáticos, mientras que los problemas pequeños se acometen con gusto. En control de calidad es importante construir un sistema de cooperación en el cual todos trabajen juntos para eliminar los problemas y sus causas por orden, empezando por los mayores.

## **(2) Algunas cuestiones que se deben observar cuando se preparan los diagramas de Pareto**

- (a) Registrar siempre el número total de elementos, cantidades de dinero y las fechas o las horas en que se recogieron los datos.
- (b) En la medida de lo posible, estratificar los datos según diferentes causas, tipos de defectos, etc. El método de estratificación dependerá del propósito de la recogida de datos.
- (c) Si es posible, expresar las pérdidas en términos monetarios en vez de en números, cantidades, porcentajes de defectos, etc. Según el problema, la dispersión a la que contribuye cada causa también se puede expresar en términos de la varianza (en forma de un porcentaje de contribución).
- (d) Pensar en el propósito de la preparación del diagrama cuando se decida el periodo para el cual se van a recoger los datos. Este periodo no debe ser demasiado corto ni debe ser tan largo que incluya los resultados de varias acciones correctoras.
- (e) Si se ejerce alguna acción, dibujar los diagramas de Pareto antes y después con objeto de comprobar los resultados.
- (f) En la medida de lo posible, estratificar los diagramas de Pareto por horas, máquinas, etc.
- (g) Desglosar los problemas mayores con más detalle y preparar diagramas de Pareto individuales para ellos.

## **(3) Algunas cuestiones que se deben observar cuando se interpretan y usan los diagramas de Pareto**

- (a) Empezar siempre con el problema que vaya a traer los mayores beneficios de ser resuelto.
- (b) Formar equipos de personas de todos los departamentos pertinentes, hacer que cada departamento discuta las propuestas para resolver el problema, y hacer que cooperen para encontrar una solución.
- (c) Preparar diagramas de Pareto para cada mes y cada periodo contable.
  - (i) Si los defectos o las pérdidas más frecuentes decrecen súbitamente, esto indica que o bien ha tenido éxito el esfuerzo cooperativo o que el proceso u otros factores han cambiado súbitamente aunque nada se haya hecho al respecto.
  - (ii) Si diferentes tipos de defectos o pérdidas decrecen de una forma aproximadamente uniforme, esto indica generalmente que el control ha mejorado.
  - (iii) Si el defecto o la pérdida más frecuente cambia todos los meses pero no disminuye mucho el porcentaje global del defecto o de la

pérdida (en otras palabras, si el diagrama de Pareto es inestable), esto indica falta de control.

El diagrama de Pareto es una herramienta sencilla pero potentísima. Por esta razón, debe utilizarse ampliamente, no sólo en control de calidad sino en toda situación posible.

## 2.7 Hojas de comprobación

### (1) ¿Qué son las hojas de comprobación?

Registrar los números uno a uno es una tarea pesada cuando se recogen los datos en el puesto de trabajo, y estratificar y recoger los datos durante la inspección afecta negativamente a la eficiencia de la inspección. En la práctica es difícil recoger los datos sobre los daños estratificados según su situación, por ejemplo. Las hojas de comprobación son utilísimas en tales casos, especialmente cuando se estratifican los datos. Hacen que los datos se separen y recojan por grupos tan sólo marcando unas señales.

### (2) Cómo preparar una hoja de comprobación

- (a) Distribuciones de frecuencias. Incluso con datos continuos, recoger una gran cantidad de datos y utilizarlos luego para preparar una distribución de frecuencias, es duplicar el esfuerzo. En tales casos, a menudo no se necesitan realmente los valores individuales, y es suficiente con saber la forma de la distribución y si cumple la norma. Por tanto, podemos registrar los valores de antemano en un impreso en blanco para la distribución de frecuencias y hacer que los operarios pongan trazos tal como se indica en la Tabla 2.2. Esto simplifica el registro de datos y produce una distribución de frecuencias, terminada una vez se hayan completado las mediciones. Este impreso es también una especie de lista de comprobación. Cuando no se toma más que un pequeño número de valores cada vez, hacer que los operarios los tomen a intervalos determinados de tiempo es también una forma adecuada de ver los cambios temporales.
- (b) Distribuciones de frecuencias para los defectos individuales. Cuando hay varios tipos de defectos, si sólo se conoce el número global de defectos, ello no nos da ninguna pista para actuar. Sin embargo, si se enumeran los diferentes tipos de defectos o causas en unas hojas de inspección en blanco y los inspectores ponen trazos en las casillas

adecuadas, esta estratificación de los datos de los defectos será útil tanto para el análisis como para la planificación de las modificaciones. En tales casos, si se encuentran unidades defectuosas con más de un tipo de defectos, se debe realizar la inspección analítica, comprobándose todas las características del elemento que se está comprobando a efectos del análisis. También es bueno disponer que los defectos se anoten con arreglo a la hora de producción.

- (c) Hojas de comprobación de posición. Cuando el problema es que hay arañazos, grietas y otras imperfecciones, si se conoce la posición del daño a menudo se simplifica el trazado de las causas y la adopción de medidas correctoras. En este tipo de situación, se deben preparar esquemas o diagramas de desarrollo del producto y dividirlos en varias zonas. Los inspectores deben registrar los resultados directamente en estos diagramas por medio de códigos de colores y otros símbolos. Cuando se hace esto, las zonas deben tener, en la medida de lo posible, áreas iguales. Cuando se sumen los trazos podremos ver fácilmente si los defectos están concentrados en unas posiciones determinadas, en productos determinados, o en horas determinadas, o si se encuentran repartidos al azar, y entonces podremos entrar en acción adecuadamente.
- (d) Hoja de comprobación del diagrama de causa y efecto. Se puede preparar un diagrama de causa y efecto que indique las causas asignables, los diferentes tipos de defectos, etc., que sea fácilmente comprendido por las personas que están en planta. Este se hace llegar a planta, donde se dice a los trabajadores que pongan una señal junto a la flecha pertinente siempre que se encuentren con una causa o situación determinadas. Esto nos indica pronto qué causas debemos controlar.

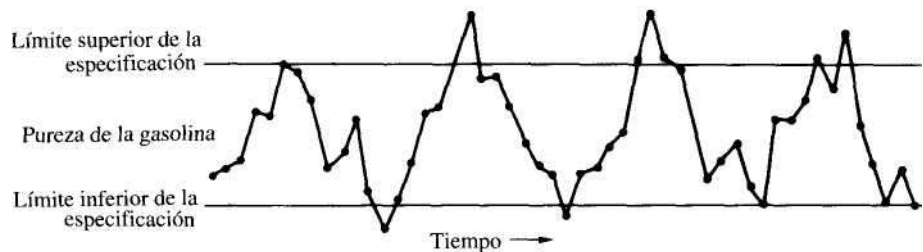
Los anteriores no son más que unos pocos ejemplos de los muchos tipos posibles de hojas de comprobación. Si se preparan unas hojas de comprobación bien meditadas, de acuerdo con las condiciones de cada puesto de trabajo, es posible obtener los datos estratificados con facilidad y preparar los diagramas de Pareto. Las hojas de comprobación son una herramienta utilísima cuyo amplio uso recomiendo. El uso hábil de las hojas de comprobación junto con las herramientas tales como las distribuciones de frecuencias, los diagramas de Pareto y los diagramas de causa y efecto permite la resolución del ochenta al noventa por cien de los problemas de los puestos de trabajo.

## 2.8 Diagramas de la capacidad de los procesos

Los diagramas de las capacidades de proceso indican la capacidad de un proceso con respecto a la calidad. En el caso de la maquinaria y los equipos, utilizamos el término "capacidad de la máquina". La cuestión de la capacidad del proceso es un problema importante del control de calidad y se explica con detalle en la sección 4.7.7. Aquí sólo me gustaría mencionar el método para preparar los diagramas de capacidad del proceso y señalar algunas cuestiones a tener presente en su preparación. Los tres métodos enumerados más abajo se utilizan con frecuencia para ilustrar las capacidades de procesos por medio de un diagrama. Tratamos de identificar la capacidad real de la calidad de un proceso por medio de estos diagramas.

- (a) Distribuciones de frecuencias.
- (b) Gráficos de control.
- (d) Gráficos que muestran valores especificados (ver las Figuras 2.12 y 2.13).

Las distribuciones de frecuencias indican claramente la distribución de la capacidad y permiten que se calcule fácilmente su promedio y su desviación estándar, pero no indican cómo cambia con el tiempo. Puesto que los datos se anotan en los gráficos de control y otros gráficos por orden de producción, indican claramente los cambios temporales, pero no indican claramente cómo está distribuida la capacidad del proceso. Sin embargo, se pueden alcanzar estos dos objetivos si se traza una distribución de frecuencias en un extremo del



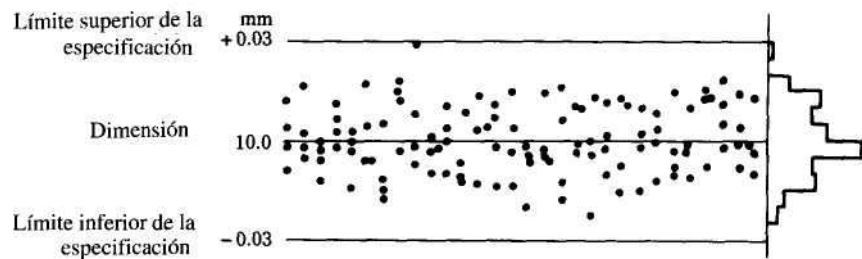
Cuando se toman medidas a intervalos fijos de tiempo, hay una periodicidad muy estable en el proceso, que indica que la capacidad del proceso es insatisfactoria. El diagrama indica que la capacidad del proceso sería bastante buena si se controlara esta periodicidad.

**Figura 2.12: Gráfico de la capacidad de un proceso (1) para mostrar los cambios temporales**

gráfico como se indica en la Figura 2.13. Se dice que un proceso manifiesta toda su capacidad si un gráfico de control correctamente trazado indica que está en estado controlado.

Cuando utilizamos (a), (b) o (c) para encontrar la capacidad de un proceso, tenemos que utilizar los datos obtenidos después que el proceso haya sido totalmente analizado y esté bien controlado, y cuando el proceso o el equipo esté ejerciendo su capacidad óptima. No se puede decir que la capacidad de un proceso calculada sólo a partir de datos de un proceso que no está en el estado controlado sea la verdadera capacidad del proceso.

La capacidad del proceso se expresa por medio del índice de la capacidad del proceso,  $C_p$  (ver la sección 4.7.7).



Cuando se obtienen los datos de muestras aleatorias de  $n$  unidades ( $n = 4$  en este caso) tomados a intervalos fijos de tiempo, el diagrama indica que los valores caen justo dentro de las especificaciones y no queda espacio de sobra. Tenemos que hacer funcionar el proceso con sumo cuidado o bien aumentar algo la capacidad del proceso.

**Figura 2.13: Gráfico de la capacidad de un proceso (2) para mostrar los cambios temporales**

## 2.9 Diagramas de dispersión (diagramas de correlación)

Los métodos tales como dibujar las distribuciones de frecuencias nos permiten identificar la forma aproximada de la distribución de un conjunto de datos de un tipo, pero no indican la relación entre dos conjuntos diferentes de datos. Para identificar la relación entre dos conjuntos de datos podemos utilizar el diagrama de dispersión. Por ejemplo, los diagramas de dispersión pueden utilizarse para conjuntos "correspondientes" de medidas tales como la temperatura y el rendimiento, las dimensiones antes y después del procesado, la composición de la materia prima y la fracción de unidades defectuosas, la dureza y la resistencia a la tracción del producto, etc. Cuando se hace esto, es

importante recoger los datos por parejas (a esto se le llama "correspondencia"); si tenemos datos sobre la composición de la materia prima y la fracción de unidades defectuosas, por ejemplo, ello no nos permitirá dibujar los diagramas de dispersión descritos más abajo y realizar el análisis a menos que conozcamos qué fracción de unidades defectuosas aparecieron cuando se utilizaba el material de una composición determinada. Como ya he mencionado con frecuencia, para ello es indispensable la estratificación de los lotes.

Si disponemos de datos así emparejados, podremos dibujar los diagramas de dispersión y las tablas de correlación por medio de los métodos descritos más abajo.

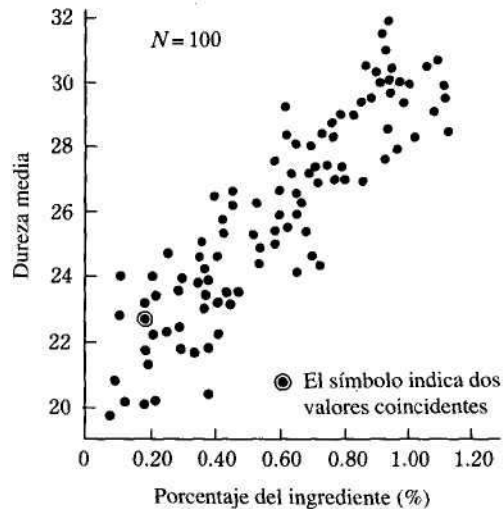
La Tabla 2.3 es una tabla de los valores de la dureza de un producto de acero y de los porcentajes de cierto componente de la materia prima utilizada. Los datos se obtuvieron midiendo la dureza media del producto correspondiente a unos lotes determinados de materia prima. Cuando se anotan los valores en un gráfico, aparecen como indica la Figura 2.14, que indica claramente que la dureza media aumenta conforme aumenta el porcentaje del componente de la materia prima. El gráfico de la Figura 2.14 es un diagrama de dispersión. Aunque la composición de la materia prima afecta claramente a la dureza del producto, también la afectan otros diversos factores, incluso con la misma composición. Por ello es por lo que la misma composición no siempre da la misma dureza. No obstante, dibujar los datos en un diagrama como éste nos dice varias cosas y nos da más información de la que podríamos obtener de una lista de valores como la de los datos de la Tabla 2.3.

### **(1) Algunas cuestiones que se deben observar al preparar los diagramas de dispersión**

- (a) Cuando se investiga la correlación, cuantos más pares de datos, mejor. Debería haber por lo menos cincuenta pares y, si es posible, más de cien.
- (b) Los datos que se crea que son la causa, deben dibujarse sobre el eje horizontal ( $x$ ), en una escala que aumente de valor de izquierda a derecha.
- (c) Los datos que se crea que son el efecto, deben dibujarse sobre el eje vertical ( $y$ ), en una escala que aumente de valor de abajo a arriba.
- (d) Se deben elegir las escalas  $x$  e  $y$  de forma que den una dispersión aproximadamente igual de ancha para los datos  $x$  e  $y$ . Los datos que se crea que son anómalos deben aislarse y considerarse por separado. Los datos deben estar todo lo estratificados que sea posible, y los datos procedentes de diferentes fuentes se deben dibujar sobre diagramas de dispersión separados, o sobre el mismo diagrama pero con colores diferentes.

**Tabla 2.3: Ingrediente de la materia prima (en porcentaje) frente a la dureza del producto (N = 100)**

| Porcentaje del ingrediente | Dureza media | Porcentaje del ingrediente | Dureza media | Porcentaje del ingrediente | Dureza media | Porcentaje del ingrediente | Dureza media | Porcentaje del ingrediente | Dureza media | Porcentaje del ingrediente | Dureza media |
|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| $x$                        | $y$          | $x$                        | $y$          | $x$                        | $y$          | $x$                        | $y$          | $x$                        | $y$          | $x$                        | $y$          |
| 0,52                       | 26,2         | 0,45                       | 23,5         | 0,70                       | 27,2         | 0,99                       | 29,4         | 0,35                       | 23,8         | 0,36                       | 23,1         |
| 0,58                       | 25,4         | 0,73                       | 28,4         | 0,41                       | 23,3         | 0,07                       | 19,8         | 1,10                       | 30,7         | 0,62                       | 29,2         |
| 0,66                       | 24,2         | 0,28                       | 23,6         | 0,40                       | 26,4         | 0,93                       | 27,7         | 0,18                       | 22,7         | 0,65                       | 26,3         |
| 0,18                       | 22,7         | 0,45                       | 26,2         | 0,65                       | 26,4         | 0,97                       | 30,0         | 0,18                       | 21,6         | 0,93                       | 28,5         |
| 1,00                       | 30,0         | 0,38                       | 21,9         | 0,63                       | 27,1         | 0,76                       | 27,0         | 0,40                       | 22,1         | 0,11                       | 24,0         |
| 0,71                       | 26,9         | 0,67                       | 25,4         | 0,87                       | 30,5         | 0,10                       | 22,8         | 0,36                       | 23,9         | 0,65                       | 28,1         |
| 0,87                       | 27,0         | 0,37                       | 23,6         | 0,18                       | 21,4         | 0,69                       | 28,1         | 0,58                       | 27,6         | 0,82                       | 29,0         |
| 0,36                       | 25,3         | 1,03                       | 28,4         | 0,88                       | 29,5         | 0,35                       | 24,5         | 0,32                       | 21,8         | 0,79                       | 27,3         |
| 0,62                       | 25,6         | 0,29                       | 23,9         | 0,44                       | 23,3         | 0,54                       | 25,0         | 0,20                       | 22,4         | 0,36                       | 24,4         |
| 0,73                       | 27,3         | 0,70                       | 24,4         | 0,94                       | 30,1         | 0,65                       | 26,0         | 0,80                       | 29,0         | 0,08                       | 28,0         |
| 0,76                       | 28,7         | 0,58                       | 25,1         | 1,13                       | 28,6         | 0,96                       | 27,9         | 1,11                       | 29,6         | 0,21                       | 20,2         |
| 0,40                       | 24,6         | 0,59                       | 26,5         | 0,25                       | 27,7         | 0,85                       | 29,4         | 0,18                       | 23,1         | 0,91                       | 31,5         |
| 0,24                       | 22,4         | 0,20                       | 24,1         | 0,27                       | 22,5         | 1,07                       | 30,5         | 0,42                       | 25,4         | 0,79                       | 27,1         |
| 0,94                       | 31,0         | 0,18                       | 20,1         | 0,60                       | 25,8         | 0,37                       | 20,4         | 0,71                       | 24,4         | 0,29                       | 21,8         |
| 0,94                       | 29,8         | 0,21                       | 23,5         | 0,76                       | 28,4         | 0,42                       | 25,6         | 0,52                       | 24,3         | 0,92                       | 30,0         |
| 0,90                       | 30,3         | 0,45                       | 26,4         | 0,62                       | 28,3         | 1,09                       | 29,2         | 0,95                       | 30,5         | 1,11                       | 29,8         |
| 0,52                       | 25,1         | 0,93                       | 31,8         | 0,11                       | 20,1         | 0,72                       | 27,3         |                            |              |                            |              |



**Figura 2.14: Ejemplo de diagrama de dispersión (diagrama de correlación): Relación entre el porcentaje del ingrediente en la materia prima y la dureza media del producto**



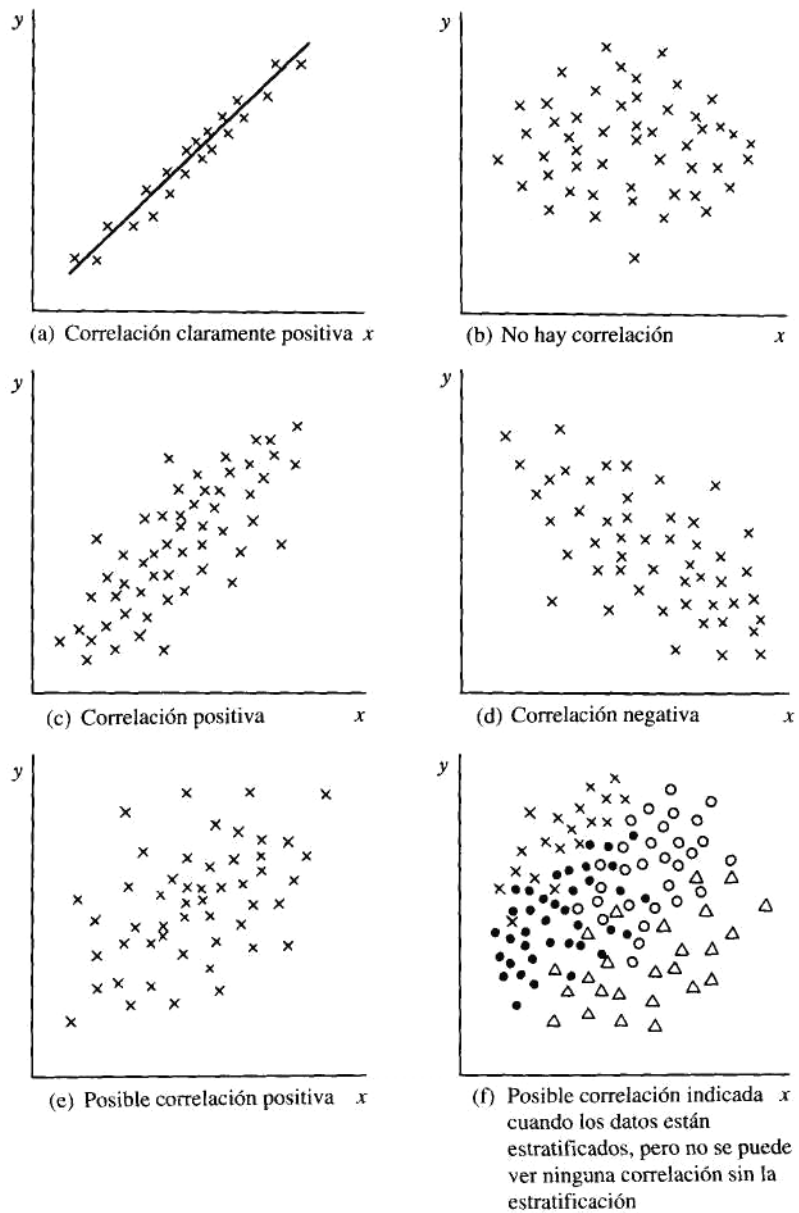
## (2) Tablas de correlación

Los diagramas de dispersión indican claramente la relación entre dos conjuntos de datos, pero las tablas de correlación (distribuciones de frecuencias en dos dimensiones), tales como la Tabla 2.4, pueden ser utilizadas con el mismo propósito. Cuando se dibuja una tabla de correlación con los datos de la Tabla 2.3, adopta la forma de la Tabla 2.4.

Los diagramas de dispersión mostrados en la Figura 2.15 ilustran varios tipos de correlación. Cuando los datos están bien alineados como en la Figura 2.15(a), inmediatamente vemos la relación entre ellos. Una relación como ésta en la que  $y$  aumenta cuando  $x$  aumenta se llama "correlación positiva", mientras que una relación en la que  $y$  disminuye cuando  $x$  aumenta (y viceversa) se llama "correlación negativa". En la Figura 2.15(c) los datos están dispersos pero indican una correlación positiva. La Figura 2.15(d) muestra una correlación negativa. Cuando los datos están tan dispersos como en la Figura 2.15(e), no está claro si podemos o no afirmar que haya una correlación positiva. De hecho, también tenemos que ser cautos en afirmar una correlación cuando los datos están tan dispersos como en (c) y (d). En tales casos cometeremos todo tipo de equivocaciones a menos que basemos nuestros juicios en pruebas estadísticas (ver la sección 4A.8).

**Tabla 2.4: Ejemplo de tabla de correlación.  
Porcentaje del ingrediente ( $x$ )**

| Número de celda<br>Valores de las fronteras<br>de la celda $x$ |                  | Número de celda |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Frecuencia $f_x$ |
|--|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
|  |                  | 1               | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |                  |
| Número de celda<br>Valores de las fronteras<br>de la celda $y$ |                  | 0               | 0.105 | 0.205 | 0.305 | 0.405 | 0.505 | 0.605 | 0.705 | 0.805 | 0.905 | 1.005 | Frecuencia $f_y$ |
|  |                  | 0.105           | 0.205 | 0.305 | 0.405 | 0.505 | 0.605 | 0.705 | 0.805 | 0.905 | 1.005 | :::   |                  |
| 12   | 30.05 -          |                 |       |       |       |       |       |       |       | //    | ///   | //    | 9                |
| 11   | 29.05 - 30.05    |                 |       |       |       |       |       | /     |       | ///   | ////  | ///   | 13               |
| 10   | 28.05 - 29.05    |                 |       |       |       |       |       | ///   | ///   |       | //    | //    | 10               |
| 9  | 27.05 - 28.05    |                 |       |       |       |       | /     | /     | ///   | /     | /     |       | 10               |
| 8  | 26.05 - 27.05    |                 |       |       | /     | //    | //    | ///   | /     |       |       |       | 9                |
| 7  | 25.05 - 26.05    |                 |       |       | /     | //    | ///   | ////  |       |       |       |       | 10               |
| 6  | 24.05 - 25.05    |                 |       | //    | //    | /     | /     | /     | //    |       |       |       | 9                |
| 5  | 23.05 - 24.05    |                 | //    | ///   | ////  | ///   |       |       |       |       |       |       | 12               |
| 4  | 22.05 - 23.05    | /               | //    | ///   | /     |       |       |       |       |       |       |       | 7                |
| 3  | 21.05 - 22.05    |                 | //    | /     | //    |       |       |       |       |       |       |       | 5                |
| 2  | 20.05 - 21.05    | /               | //    | /     | /     |       |       |       |       |       |       |       | 5                |
| 1  | 19.05 - 20.05    | /               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1                |
|  | Frecuencia $f_x$ | 3               | 8     | 10    | 12    | 8     | 7     | 13    | 12    | 8     | 12    | 7     | 100              |



**Figura 2.15: Diagramas de dispersión de diversas formas**

Cuando se mira en conjunto, la Figura 2.15(f) parece no indicar ninguna correlación, pero cuando se dibujan las diferentes materias primas con símbolos diferentes, cada conjunto de datos muestra una correlación positiva. La preparación de los diagramas de dispersión requiere cuidado, ya que podemos pasar por alto una correlación si no estratificamos los datos de este modo.

## 2.10 ¿Qué es el error?

No hace falta decir que es ventajoso basar nuestras discusiones sobre diversas cuestiones en los datos, pero también es peligroso exagerar éstos. A continuación hay unos ejemplos de este peligro.

- (1) Si tomamos una muestra al azar de veinte artículos de un lote que contiene mil, y encontramos que ninguno de los artículos muestreados es defectuoso, ¿podemos decir que no hay unidades defectuosas en el lote?
- (2) Hasta el momento, la fracción de unidades defectuosas media era del diez por cien, pero hoy es del doce por cien. ¿Podemos decir que el resultado de hoy es especialmente malo?
- (3) Se analizó determinado producto químico y se encontró que tenía una pureza de 87,5%. ¿Podemos decir realmente que el producto tiene una pureza de 87,5%?
- (4) Un termómetro da una lectura de 850°C. ¿Podemos decir que la temperatura del horno del cual se tomó la lectura era realmente de 850°C?

La respuesta a todas las preguntas anteriores es "no" porque el proceso de obtención de datos introduce varios errores, tales como el error de muestreo, el error de medición, el error de cómputo, el error de redondeo, etc. Tenemos que tratar de identificar el verdadero estado de la cuestión a través de un velo de errores.

Convencionalmente, sin embargo, o bien se han ignorado totalmente estos errores o bien se ha jugueteado un poco con la palabra "error" y su significado ha sido extremadamente ambigua. De ahora en adelante tenemos que pensar en los errores bajo los siguientes nombres:

- (a) Errores de muestreo.
- (b) Errores de medida.
- (c) Errores de cómputo y otros.

Si nuestros métodos de muestreo son deficientes y no sabemos por qué estamos recogiendo datos, o si el error de muestreo es demasiado grande, las variaciones del proceso y otras variaciones estarán enmascaradas por los errores, y seguiremos sin conocerlas. Así pues, cuando se ponen en vigor diversos tipos de control en los que se hacen uso de datos numéricos, primero tenemos que racionalizar nuestros métodos de muestreo<sup>4</sup>. Se dice a menudo que las personas no son buenas con los números porque fácilmente se creen un conjunto de números cuando se les muestra, y se olvidan de los grandes errores de muestreo que hay en él. Especialmente cuando se pone en práctica el control de calidad, tenemos que racionalizar nuestros métodos de muestreo y preparar el terreno para recoger datos exactos.

Igualmente, a menudo los errores de análisis, de medida y experimentales son grandes. Estos errores son especialmente horriblos cuando los datos se toman en días diferentes, en diferentes lugares, por personas diferentes o en equipos diferentes. Cuando se pone en práctica el control, estos errores tienen que mantenerse pequeños. Para lograrlo, tenemos que realizar un control global de las medidas y un control del análisis en su sentido amplio.

Siempre que se estén manejando números, habrá equivocaciones de transcripción y de cálculo. Esto quiere decir que, al mismo tiempo que nos aseguramos de que se tenga mucho cuidado en la manipulación de los datos, tenemos que establecer sistemas que permitan la detección rápida de estas equivocaciones.

Los errores también pueden clasificarse en:

- (i) Errores de fiabilidad,
- (ii) errores de precisión, y
- (iii) errores de sesgo y de exactitud.

Este método de clasificación hace hincapié en que hay que acometer acciones correctoras para minimizar los errores de muestreo, los errores de medida y otros tipos de errores descritos más arriba. Primero, demos algunas definiciones:

El error es la diferencia entre un valor medido y el valor verdadero de la población de referencia.

La fiabilidad es el grado en que se puede confiar en los datos; en otras palabras, si se utilizara el mismo método de muestreo para todos los datos y si el trabajo analítico y el experimental estuviesen libres de causas asignables tales

---

<sup>4</sup> Para más detalles, ver Kaoru Ishikawa, *Sanpuringu-ho Nyumon* (Introducción a los métodos de muestreo),

como las equivocaciones y las omisiones. La fiabilidad también puede considerarse con los nombres diferentes de fiabilidad de precisión y fiabilidad de exactitud. Cualquiera que sea el método de clasificación utilizado, asegurar la fiabilidad es una cuestión de controlar el trabajo de tomar las muestras y las medidas.

Observaciones tales como: "Hay algo raro en estos datos", "El muestreo no se hizo correctamente", "El análisis es malo", y "El cálculo está mal" indican la falta de fiabilidad y de control. Los datos no fiables no sirven de nada excepto para dar una falsa sensación de seguridad.

La precisión implica el grado de dispersión de los datos: si algo se mide un número infinito de veces con el mismo método, o se toma un número infinito de muestras del mismo lote y con el mismo método de muestreo, siempre habrá dispersión en los datos; el grado de esta dispersión (la anchura de la distribución) se llama precisión. La precisión se puede indicar de diversas maneras tales como la desviación estándar, la varianza, la desviación estándar multiplicada por dos, los límites de control del recorrido ( $R$ ), el valor medio de  $R$ , etc. Afirmaciones escuchadas antiguamente como: "El error está alrededor de  $\pm 0,5\%$ " están mal definidas y son, por tanto, extremadamente ambiguas, y no está nada claro lo que significan.

El sesgo, o la exactitud, es la diferencia entre un valor verdadero y la media de la distribución de los valores obtenidos en un número infinito de medidas con el mismo método. Por ejemplo, la afirmación: "Nuestros valores parecen ser, de media,  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  más altos que los de ellos" indica un sesgo.

Nota: Ya que hay cierta confusión sobre el uso de palabras tales como "error", "exactitud" y "precisión", surgirán malentendidos cuando se lea la bibliografía a menos que se preste mucha atención a sus definiciones.

Asegurar la precisión y la exactitud es principalmente un problema de las técnicas de medida y de muestreo y de los estudios estadísticos. Cuando se investiga el error, es mejor hacerlo en el orden de (i) a (iii) anterior, i.e., empezando con la fiabilidad, pasando a la precisión y finalmente al sesgo.

La clasificación y el análisis de los errores con los nombres anteriores, nos dice qué debemos hacer para minimizarlos. Cuando los datos no son fiables, puede que sea una cuestión de controlar la recogida de datos al formular unas buenas normas para los métodos de muestreo y asegurarse de que se ponen en práctica; cuando hay sesgo, tenemos que buscar la causa de la desviación de la media y acometer acciones correctoras; y cuando la precisión es deficiente, tenemos que acometer acciones para reducir la dispersión.

La relación entre los diferentes tipos de error se muestra con diagramas en la Figura 2.16 para que sea fácilmente comprensible.

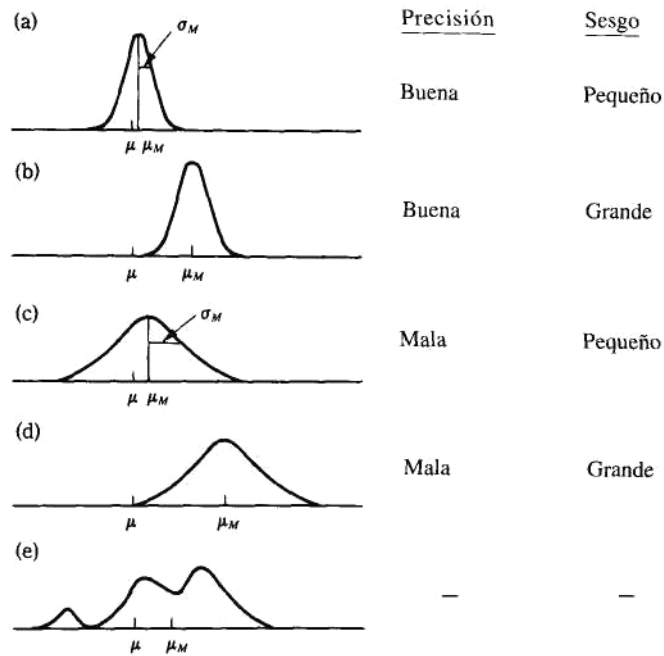


Figura 2.16: Tipos de errores

## 2A.1 Preparación de las distribuciones de frecuencias

Las tablas e histogramas de las distribuciones de frecuencias, como los gráficos de control, son unas herramientas importantes para organizar varias clases de datos, particularmente en control de calidad. Por tanto, explicaré brevemente cómo se preparan.

Cuando dibujamos las distribuciones de frecuencias, tenemos que considerar lo siguiente:

- (a) Cuántas celdas<sup>5</sup> poner.
- (b) Cómo decidir el ancho de las celdas.
- (c) Cómo determinar las fronteras de las celdas.

### (1) Número de celdas

Para mostrar la forma de una distribución, se debe elegir el número de celdas como se indica en la Tabla 2A. 1. En la práctica, el número exacto estará

5

Sinónimos de celda: intervalo, clase, e intervalo de clase. (TV. de los T.)

determinado de forma natural si se decide el ancho y los límites de las celdas con referencia a esta tabla. Es mejor un número mayor de celdas para los cálculos estadísticos, pero los números aproximados indicados en la tabla 2A.1 son satisfactorios cuando se tiene en cuenta el error de muestreo.

**Tabla 2A.1: Número recomendado de celdas para las distribuciones de frecuencias**

| Número de valores | Número de celdas |
|-------------------|------------------|
| 50-100            | 6-10             |
| 100-250           | 7-12             |
| $\geq 250$        | 10-20            |

## (2) Ancho de la celda

El ancho de la celda se determina como sigue:

Primer paso: Encontrar los valores máximo y mínimo de los datos, pero no incluir los datos anómalos extremos cuando se haga esto. Los valores máximo y mínimo de los datos de la Tabla 2.1 son 3,99 y 3,70.

Segundo paso: Dividir la diferencia entre los valores máximo y mínimo por el número de celdas. En este ejemplo, tenemos  $(3,99 - 3,70)/10 = 0,029$ .

Tercer paso: Fijar el ancho de la celda en un valor conveniente cercano al valor obtenido en el segundo paso y que sea un múltiplo entero de la unidad de medida más pequeña. En este ejemplo, la unidad de medida más pequeña es 0,01, por tanto establecemos el ancho de la casilla en 0,03.

## (3) Fronteras<sup>6</sup> de las celdas

Las fronteras de las celdas se determinan como sigue:

Primer paso: Tomar la mitad de la unidad de medida más pequeña como unidad para las fronteras de las celdas.

Segundo paso: Establecer los límites de las casillas para que los valores máximo y mínimo de los datos queden aproximadamente equidistantes de las fronteras de las respectivas celdas más extre-

<sup>6</sup>

La diferencia entre límite y frontera de clase se puede consultar en MINER, "Calidad Industrial, Glosario Terminológico", MINER 1986, pp. 62-63. (*N. de los T.*)

mas. Sin embargo, no hay necesidad de ser demasiado estricto con esto. En este ejemplo, si establecemos las fronteras de las celdas en 3,695-3,725,... 3,965-3,995, tenemos  $3,70-3,695=0,005$  y  $3,995-3,99=0,005$ .

Nota: cuando queramos hacer comparaciones con los estándares u otros valores, es conveniente establecer las fronteras de las celdas para que coincidan aproximadamente con estos valores.

#### **(4) Preparación de la tabla**

Una vez se haya decidido el número, al ancho y la posición de las celdas tal como se ha descrito antes, dispondremos los datos en una tabla. Como en las dos columnas de la izquierda de la Tabla 2.2, se anotan los números de las celdas y las fronteras de las mismas en orden creciente, desde la parte superior a la inferior de la tabla. Los puntos medios de las celdas<sup>7</sup>, que representan los valores de las mismas, se toman como los promedios de las fronteras de las celdas. En este ejemplo tenemos  $(3,695+3,725)/2=3,710$ , etc.

Si todo lo que hacemos es preparar una tabla de la distribución de frecuencias, sólo tenemos que llegar hasta las columnas del recuento y de las frecuencias (con las frecuencias relativas y las frecuencias acumuladas, si es necesario). Si estamos calculando la media, la desviación estándar u otros valores, tenemos que incluir también las columnas extra mostradas en la Tabla 2A.2.

#### **(5) Recuento**

El recuento consiste en tomar secuencialmente los datos tal como se obtienen y poner trazos en la columna correspondiente. Los trazos se hacen como sigue: /, //, ///, ////, #####. Puesto que es fácil cometer equivocaciones cuando se hace esta operación de recuento, siempre se debe hacer dos veces. La Tabla 2.2 se preparó según el procedimiento anterior.

---

7

Marcas de clase. (N. de los T.)



## 2A.2 Métodos para calcular los estadísticos<sup>8</sup>

Tabla 2A.2: Cálculo de  $x$  y  $s$  a partir de la tabla de distribución de frecuencias

| Número de celda | Punto medio de la celda | Frecuencia $f_i$ | $u_i$ | $f_i u_i$ | $f_i u_i^2$ | Frecuencia acumulada | Frecuencia acumulada relativa (%) |
|-----------------|-------------------------|------------------|-------|-----------|-------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1               | 3,710                   | 1                | -5    | -5        | 25          | 1                    | 0,5                               |
| 2               | 3,740                   | 6                | -4    | -24       | 96          | 7                    | 3,5                               |
| 3               | 3,770                   | 13               | -3    | -39       | 117         | 20                   | 10,0                              |
| 4               | 3,800                   | 25               | -2    | -50       | 100         | 45                   | 22,5                              |
| 5               | 3,830                   | 45               | -1    | -45       | 45          | 90                   | 45,0                              |
| 6               | 3,860=a                 | 37               | 0     | (-163)    | 0           | 127                  | 63,5                              |
| 7               | 3,690                   | 43               | 1     | 43        | 43          | 170                  | 85,0                              |
| 8               | 3,920                   | 13               | 2     | 26        | 52          | 183                  | 91,5                              |
| 9               | 3,950                   | 8                | 3     | 24        | 72          | 191                  | 95,5                              |
| 10              | 3,980                   | 9                | 4     | 36        | 144         | 200                  | 100,0                             |
| Total           | -                       | 200              | -     | (129)     | 694         | -                    | -                                 |
|                 |                         |                  |       | -34       |             |                      |                                   |
| Media           | Dividir por 200         |                  |       | -0,170    | 3,470       |                      |                                   |

### (1) Métodos para calcular la media

La media se puede calcular de la forma usual, sumando los valores de los datos y dividiendo por el número de valores. Aunque esto es bastante fácil, se puede simplificar más eligiendo una de las siguientes fórmulas:

$$\bar{x} = (1/n) \sum_{i=1}^n x_i \quad (2A.1)$$

$$= a + (1/n) \sum (x_i - a) \quad (2A.2)$$

$$= a + (h/n) \sum (x_i - a)/h \quad (2A.3)$$

donde  $a$  y  $h$  son las constantes pertinentes.

<sup>8</sup>

Los cálculos descritos más abajo pueden hacerse fácilmente hoy en día utilizando los microordenadores, miniordenadores o las calculadoras de bolsillo.

Ejemplo:

| Fórmula 2A.1                | Fórmula 2A.2                         | Fórmula 2A.3 $\left( \begin{matrix} a = 184 \\ h = 1/10 \end{matrix} \right)$ |
|-----------------------------|--------------------------------------|---|
| $x_i$                       | $x_i - 184$                          | $(x_i - 184) \times 10$   |
| 184,2                       | 0,2                                  | 2   |
| 183,8                       | -0,2                                 | -2  |
| 185,1                       | 1,1                                  | 11  |
| 184,7                       | 0,7                                  | 7   |
| 185,3                       | 1,3                                  | 13  |
| <hr/>                       | <hr/>                                | <hr/>   |
| $n=5) \frac{923,1}{184,62}$ | $n=5) \frac{3,1}{0,62}$              | $n=5) \frac{31}{6,2}$   |
| $\bar{x} = 184,62$          | $\bar{x} = 184 + 0,62$<br>$= 184,62$ | $\bar{x} = 184 + 6,2 (1/10)$<br>$= 184,62$                                    |

Cuando los cálculos se realizan manualmente, las fórmulas 2A.2 y 2A.3 los simplifican mucho y reducen el tamaño del error si se comete una equivocación en el cómputo.

## (2) Métodos para calcular la dispersión

Se utilizan diversos estadísticos para expresar la dispersión, y que incluyen, e.g., el recorrido ( $R$ ), la suma de los cuadrados de las desviaciones ( $S$ ), la varianza ( $s^2$ ), la estimación insesgada de la varianza de la población ( $V$ ), la desviación estándar de la muestra ( $s$ ), y la raíz cuadrada de la estimación insesgada de la varianza de la población ( $\sqrt{V}$ ). Aquí se explican brevemente algunos métodos de cálculo.

- (a) Recorrido,  $R$ :  $R = \text{valor máximo} - \text{valor mínimo}$   
 $= X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$

Ejemplo: para el conjunto de valores 8,8, 8,2, 8,4, 8,8, 8,3,  $R = 8,8 - 8,2 = 0,6$ .

(b) Suma de los cuadrados de las desviaciones,  $S$  (conocida también simplemente como "suma de cuadrados")- Este cálculo es el más largo pero pue-

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2A.4)$$

$$= \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} = \sum x_i^2 - \left( \frac{T^2}{n} \right) = \sum x_i^2 - TC \quad (2A.5)$$

donde  $T = \sum x_i$  = total de todos los valores de los datos. El término TC está dado por  $TC = T^2/n$  y se llama "término de corrección".

$$S = \sum (x_i - a)^2 - \frac{(\sum (x_i - a))^2}{n} = \sum (x_i - a)^2/n - T^2/n \quad (2A.6)$$

donde  $T = \sum (x_i - a)$ .

$$S = h^2 [\sum \{(x_i - a)/h\}^2 - \{\sum (x_i - a)/h\}^2/n] \quad (2A.7)$$

Si se utiliza la fórmula 2A.4 en el ejemplo anterior, tenemos

$$\begin{aligned} S &= (8,8 - 8,50)^2 + (8,2 - 8,50)^2 + (8,4 - 8,50)^2 + (8,8 - 8,50)^2 + (8,3 - 8,50)^2 \\ &= 0,30^2 + 0,30^2 + 0,10^2 + 0,30^2 + 0,20^2 = 0,32 \end{aligned}$$

Cuando se calcula a mano, el cálculo es tanto más pesado cuanto mayor sea la cantidad de cifras significativas de  $x$ ; un miniordenador simplifica muchísimo éste cálculo.

En el caso de la fórmula 2A.5,

$$\begin{aligned} S &= 8,8^2 + 8,2^2 + 8,4^2 + 8,8^2 + 8,3^2 - 42,5^2/5 \\ &= 361,57 - 1.806,25/5 = 361,57 - 361,25 = 0,32 \end{aligned}$$

Este cálculo es bastante pesado.

En el caso de la fórmula 2A.6, podemos simplificar considerablemente el cálculo si tomamos  $a = 8$ :

$$\begin{aligned} S &= 0,8^2 + 0,2^2 + 0,4^2 + 0,8^2 + 0,3^2 - 2,5^2/5 \\ &= 1,57 - 1,25 = 0,32 \end{aligned}$$

En el caso de la fórmula 2A.7, tomando  $a = 8$  y  $h = 1/10$ :

$$\begin{aligned} S &= 1/10^2(8^2 + 2^2 + 4^2 + 8^2 + 3^2 - 25^2/5) \\ &= 32/100 = 0,32 \end{aligned}$$

(c) Varianza de la muestra  $V^2$

$$\begin{aligned} V &= [1/(n-1)] \sum (x_i - \bar{x})^2 \\ &= S/(n-1) \end{aligned}$$

En el ejemplo anterior,  $V = 0,32/4 = 0,08$ . Cuando  $n$  es grande, se puede hacer la aproximación de tomar  $n$  en vez de  $n - 1$ .

(d) Desviación estándar de la muestra  $s$

$$s = \sqrt{V} = \sqrt{[1/(n-1)] \sum (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{S/(n-1)}$$

En el ejemplo anterior,  $\sqrt{V} = \sqrt{0,08} = 0,283$

### (3) Método para calcular la media y la desviación estándar a partir de las tablas de distribuciones de frecuencias

El procedimiento de este método de cálculo, para el cálculo manual, es:

- Primer paso: Preparar una tabla como la Tabla 2A.2.
- Segundo paso: En la columna «-», darle el valor 0 al valor que se crea que es aproximadamente igual a la media, y dar los valores -1, -2, -3, etc., a los valores por encima de éste, y los valores 1, 2, 3, etc., a los que están por debajo.
- Tercer paso: Multiplicar la frecuencia  $f_i$  por  $u_i$  de cada casilla y anotar el resultado en la columna  $f_i u_i$ . Dejar en blanco la fila  $u_i = 0$ . En este ejemplo, el valor de  $f_i u_i$  de la casilla número 1 es  $1 \times (-5) = -5$ .
- Cuarto paso: Sumar todos los números (negativos) por encima de la línea correspondiente a  $u = 0$ , y anotar el total en el espacio  $u_i = 0$ . Sumar todos los valores (positivos) por debajo de la línea  $u_i = 0$ , y anotar el resultado como se muestra en la tabla. Sumar los dos totales y anotar el resultado en el espacio apropiado de la fila de "totales". En este ejemplo, tenemos  $-163 + 129 = -34$ .
- Quinto paso: Dividir el valor obtenido en el cuarto paso por el número total de valores (la suma de los números de la columna  $f_i$ ) y llamar a este valor  $E_1$ :
- $$E_1 = (1/n) \sum (x_i - a) / h$$
- $$= (1/n) \sum$$
- $$= -34/200 = -0,170$$
- Sexto paso: Calcular la media a partir de la fórmula siguiente (ver la fórmula 2A.3):
- $$\bar{x} = a + hE_1$$

donde  $a$  es el punto medio de la casilla  $u_i = 0$  ( $a = 3,860$  en este ejemplo),  $h$  es el ancho de las casillas ( $h = 0,03$  en este ejemplo), y  $E_1$  es el valor obtenido en el quinto paso ( $E_1 = -0,170$  en este ejemplo):

$$\bar{x} = 3,860 + (0,03)(-0,170) = 3,860 - 0,0051 = 3,8549$$

- Séptimo paso: Para cada casilla, multiplicar  $f_i u_i$  por  $u_i$ , y anotar los resultados en la columna  $f_i u_i^2$ . Todos estos valores serán cero o positivos.
- Octavo paso: Sumar todos los valores  $f_i u_i^2$ . En este ejemplo, el total es 694.
- Noveno paso: Dividir el valor obtenido en el octavo paso por el número de valores y llamar al resultado  $E_2$ .
- $$E_2 = \{1/(n-1)\} \{(x_i - a)/h\}^2$$
- $$\approx (1/n) \sum \{(x_i - a)/h\}^2$$
- $$= (1/n) f_i u_i^2$$
- $$= 694/200 = 3,470$$

cuando  $n = 200$  como en este ejemplo, podemos dividir por  $n$  en vez de  $n - 1$ .

Décimo paso: Calcular las desviaciones estándar a partir de la fórmula siguiente (ver la fórmula 2A.7):

$$\begin{aligned} s &= h \sqrt{E_2 - E_1^2} \\ &= 0,03 \sqrt{3,470 - (0,170)^2} = 0,03\sqrt{3,441} \\ &= 0,03 \times 1,855 = 0,0556 \end{aligned}$$

Debe observarse que el cálculo anterior es un método simplificado que supone que todos los valores dentro de cada casilla son iguales al punto medio de la casilla, Le., es lo mismo que redondear. Sin embargo, el método es aceptable en la práctica.

Son pertinentes unas pocas observaciones referentes a estos cálculos. Primero, al calcular cada frecuencia como porcentaje del total como en la Tabla 2.2. y mostrar una distribución en función de las "frecuencias relativas" resultantes nos permite ver fácilmente la forma de la distribución, y es especialmente conveniente para comparar varias distribuciones preparadas con diferentes datos numéricos.

Segundo, los totales arrastrados de los datos numéricos por encima de cierto valor (valor frontera), como en la penúltima columna de la Tabla 2A.2, se llaman "frecuencias acumuladas". Son convenientes para hacer comparaciones con las especificaciones y para calcular estadísticamente las curvas de distribución. El porcentaje de las frecuencias acumuladas respecto del total se muestran en la columna del extremo derecho; se llaman "frecuencias acumuladas relativas". En algunos casos, es más conveniente calcular éstas partiendo de un valor más grande y desplazándose hacia arriba por la tabla, e.g., cuando una especificación se da en la forma de un valor máximo permisible.

Y tercero, cuando el cálculo se hace con un ordenador, en el segundo paso se debe dar a  $w$ , el valor de cero para la casilla número 1, y a las restantes casillas se deben asignar los valores 1, 2, 3, etc. hacia abajo de la tabla.

## 2A.3 Distribuciones de los estadísticos

Cuando se sacan muestras al azar de una población, los datos de la muestra estarán dispersados. Por tanto, los valores de la media, el recorrido, la fracción de unidades defectuosas y otros estadísticos de las muestras también estarán dispersados. Esta distribución de los estadísticos sigue ciertas leyes.

Estas distribuciones están determinadas por su media (esperanza  $E()$ ) y dispersión (desviación estándar  $D()$ ) o varianza  $V()$  junto con su forma. Esto se muestra en las Tablas 2A.3 y 2A.4.

**Tabla 2A.3: Distribuciones de los estadísticos (para variables).**

Población infinita (media de la población  $\mu$ , varianza de la población  $\sigma^2$ )

| Estadístico         | Símbolo   | Hipótesis           | Media $E()$    | Desviación estándar $D()$       | Varianza $V()$           | Forma de la distribución                             |
|---------------------|-----------|---------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------|--|
| Media               | $\bar{x}$ | Ninguna             | $\mu$          | $\sigma/\sqrt{n}$               | $\sigma^2/n$             | Se aproxima a la distribución normal al aumentar $n$ |
| Varianza            | $V$       | Distribución normal | $\sigma^2$     | $\sqrt{\frac{2}{n-1}} \sigma^2$ | $\frac{2}{n-1} \sigma^4$ | La cola se extiende hacia el lado del valor más alto |
| Desviación estándar | $s$       | "                   | $c_2 * \sigma$ | $c_3 * \sigma$                  | $(c_3 * \sigma)^2$       | "  |
| Recorrido           | $R$       | "                   | $d_2 \sigma$   | $d_3 \sigma$                    | $(d_3 \sigma)^2$         | "  |

$C_2^*$ ,  $C_3^*$ ,  $d_2$  y  $d_3$  son coeficientes para la distribución normal cuyos valores varían con  $n$ . Se obtienen en tablas (ver la Tabla 2A.5 y la Tabla 3.3). Sus valores no cambian mucho aunque la distribución de la población no sea exactamente normal.

**Tabla 2A.4: Distribuciones de los estadísticos (para enumerables)**

| Estadístico                        | Símbolo   | Población | Media | Desviación estándar $D()$ | Distribución | Forma de la distribución                             |
|------------------------------------|-----------|-----------|-------|---------------------------|--------------|--|
| Proporción de unidades defectuosas | $p$       | $P$       | $P$   | $\sqrt{P(1-P)/n}$         | Binomial     |  |
| Número de unidades defectuosas     | $r = pn$  | $P$       | $nP$  | $\sqrt{nP(1-P)}$          | Binomial     | La cola se extiende hacia la derecha                 |
| Número de defectos por unidad      | $u = c/n$ | $U$       | $U$   | $\sqrt{U/n}$              | Poisson      | Se aproxima a la distribución normal al aumentar $n$ |
| Número de defectos                 | $c$       | $C$       | $C$   | $\sqrt{C}$                | Poisson      |  |

Esta distribución de los estadísticos es una de las características básicas importantes de las herramientas estadísticas.

**Tabla 2A.5: Coeficientes para la distribución de la desviación estándar**

| Tamaño de la muestra | Media $C_2^*$ | Desviación estándar $C_3^*$ | Tamaño de la muestra | Media $C_2^*$ | Desviación estándar $C_3^*$ |
|----------------------|---------------|-----------------------------|----------------------|---------------|-----------------------------|
| 2                    | 0,798         | 0,603                       | 10                   | 0,973         | 0,232                       |
| 3                    | 0,886         | 0,463                       | 15                   | 0,982         | 0,187                       |
| 4                    | 0,291         | 0,839                       | 20                   | 0,987         | 0,161                       |
| 5                    | 0,940         | 0,341                       | 30                   | 0,991         | 0,113                       |
| 6                    | 0,952         | 0,308                       | 40                   | 0,994         | 0,113                       |
| 7                    | 0,959         | 0,282                       | 50                   | 0,995         | 0,101                       |
| 8                    | 0,965         | 0,262                       | 100                  | $1-1/4n$      | $1/\sqrt{2n}$               |
| 9                    | 0,969         | 0,246                       |                      |               |                             |

---

# Preparación y uso de los gráficos de control

## 3.1 ¿Qué son los gráficos de control?

En sentido amplio, los gráficos de control incluyen toda clase de gráficos utilizados con fines de control. Se han usado durante mucho tiempo, desde que el Dr. W. A. Shewhart acuñó el término por primera vez en 1926. Definámoslo aquí como "una herramienta estadística utilizada con fines de control, que consiste en unos gráficos con unas líneas que son los límites de control calculadas estadísticamente". No nos preocuparemos aquí de una definición más exacta y llamaremos gráfico de control a cualquier gráfico obtenido según los métodos descritos más abajo. Sin embargo, tenemos que trazar una distinción clara entre los gráficos de ajuste y los de control, ya que a veces se confunde el uso de los primeros (descritos en la sección 3.9.1) con el de los segundos. Puesto que los gráficos de control se pueden utilizar para todos los tipos de control, es mejor evitar el término "gráfico de control de calidad".

El papel básico de los gráficos de control en el ciclo de control se mencionó en la sección 1.5. Sin embargo, también tienen otras diversas aplicaciones.

## 3.2 Tipos de gráficos de control

Hay muchas clases de gráficos de control que muestran varios estadísticos y datos, cuyos límites de control se calculan por medio de varios métodos estadísticos. Aquí hablaremos de los que emplean los límites de control 3-sigma,



ya que son el tipo más básico, práctico y ampliamente utilizado. Su uso hábil permite que casi todas las formas de control vayan bien.

Como se explicó en la sección 2.3, las variables y los atributos son estadísticamente diferentes. También hay diferencias incluso entre los atributos; los datos de la fracción de unidades defectuosas y del número de unidades defectuosas están distribuidos de forma diferente a los datos del número de defectos, y requieren diferentes tipos de gráficos de control. Los gráficos de control se pueden clasificar en los tres tipos principales descritos más abajo, de acuerdo con la naturaleza de los datos que representan.

### **(1) El gráfico $\bar{x} - R$ , el gráfico $\tilde{x} - R$ , y el gráfico $x$ (ver las secciones 3.3, 3A.1 y 3A.2)**

Estos tipos de gráficos de control se utilizan cuando la característica del proceso que se ha de controlar es una variable continua tal como la longitud, el peso, la resistencia, la pureza, el tiempo o el volumen de producción. Sin embargo, también se pueden utilizar para otros tipos de datos.

El gráfico  $\bar{x}$  se utiliza principalmente para observar los cambios en la media de una distribución. El gráfico  $\tilde{x}$  (mediana) se utiliza a veces en lugar del gráfico  $\bar{x}$ . El gráfico  $R$  se utiliza para observar los cambios en la dispersión, o la variación, de una distribución. El gráfico  $s$  (desviación estándar) se utiliza a veces en lugar del gráfico  $R$  en casos muy especiales, pero no se trata en este libro.

Los gráficos  $\bar{x}$  y  $R$  se utilizan juntos generalmente, ya que sólo su uso conjunto nos permite identificar el estado cambiante de un proceso en forma de distribución. De todos los tipos diferentes de gráficos de control, estos dos nos dan la máxima información técnica, lo que les hace utilísimos para el análisis técnico y los estudios de la capacidad de proceso. Cualquiera de ellos solo, sin embargo, no es suficiente para mostrar el cambio de una distribución, *Le.*, el cambio de la media y de la variación. El gráfico de control  $\bar{x} - R$  es la forma de gráfico de control más fundamental y útil, particularmente en las etapas iniciales del control de calidad. Los principiantes deben comenzar por utilizar este tipo de gráfico de control en diversas situaciones, con objeto de sentirse cómodos con la técnica del control de proceso.

El gráfico de control  $x$  se utiliza para trazar las variables individuales de datos sin más modificación, pero a menudo se utiliza incorrectamente, y se tiene que tener muchísimo cuidado en su uso.

### **(2) El gráfico $p$ y el gráfico $pn$ (ver las secciones 3.4 y 3.5)**

Cuando se controla un proceso en el que la característica vital es un atributo tal como el número de unidades defectuosas en una muestra de un determi-

nado tamaño (e.g., "tres planchas de acero defectuosas de cien"), se utiliza o bien el gráfico de control  $p$  o el gráfico de control  $pn$ . Estos gráficos también se utilizan para representar los porcentajes de presencia, los datos obtenidos en lecturas instantáneas, el número de máquinas inservibles, etc. Sin embargo, ya que manejan datos expresados como conformidad o no conformidad, su uso requiere unos conocimientos técnicos del trabajo considerables.

El gráfico  $p$  se utiliza cuando el número de unidades defectuosas de una muestra se expresa como fracción de unidades defectuosas ( $p$ ), mientras que el gráfico  $pn$  se utiliza cuando se expresa como número de unidades defectuosas ( $pn$ ). Si el tamaño de la muestra (i.e., el número de productos de una muestra) se expresa por  $n$ , el gráfico  $pn$  se utiliza generalmente cuando  $n$  es constante, y el gráfico  $p$  cuando  $n$  varía. Estadísticamente, la fracción de unidades defectuosas ( $p$ ) y el número de unidades defectuosas ( $pn$ ) siguen la distribución binomial. Puesto que estos tipos de gráficos de control los comprende fácilmente cualquier persona, y los datos que requieren se recogen con facilidad, pueden ser utilizados por los operarios, los encargados de los puestos de trabajo, los directores de fábrica, etc.

Dos cuestiones tienen que señalarse concernientes a los gráficos  $p$  y  $pn$ . Primero, aun cuando se inspeccionen todos los productos producidos en un día, constituyen un lote que no es más que una muestra del proceso, y se debe utilizar un gráfico  $p$  o  $pn$  para controlar el proceso.

Segundo, incluso con datos expresados en porcentajes tales como las purezas o los rendimientos, se deben utilizar los gráficos  $\bar{x} - R$  o  $\bar{x}$ , no el gráfico  $p$ , cuando los porcentajes son continuos y los datos no pueden ser enumerados.

### (3) El gráfico $c$ y el gráfico $u$ (ver las secciones 3.6 y 3.7)

Estos gráficos para atributos se utilizan cuando nos preocupa la variación del número de defectos de un único artículo o producto, e.g., el número de grietas, roturas, rasguños o manchas en la superficie de una sola plancha de acero, el número de motas en diez centímetros cuadrados de papel, el número de agujeros en una superficie pintada o niquelada, el número de defectos de un coche, etc.

Además de la calidad del producto, también se utilizan para investigar datos discretos tales como el número de personas lesionadas en una fábrica, el número de accidentes, el número de errores de cálculo, el número de errores al copiar en el diario, etc.

Los gráficos  $c$  y  $u$  se parecen mucho a los gráficos  $p$  y  $pn$ ; sin embargo, difieren en que los últimos, cuando  $r$  es el número de unidades defectuosas de una muestra de  $n$  unidades,  $r$  jamás puede ser superior a  $n$ , mientras que el número de defectos ( $c$ ) en un gráfico de control  $c$  o  $u$  puede ser mayor que  $n$ . Estadísticamente se utilizan cuando los datos siguen la distribución de Poisson.

El gráfico de control  $c$  se utiliza cuando el tamaño de la muestra es fijo, e.g., cuando se toma como muestra una plancha de un área determinada (5 m de tejido, 1 televisor, etc.)- También se utiliza para trazar los números relativos a personas individuales, e.g., el número de errores de cálculo, el número de errores de copiado o el número de lápices u hojas de papel utilizados. En este aspecto, es muy similar al gráfico  $pn$ .

El gráfico de control  $u$  se utiliza para mostrar la variación del número de defectos por unidad cuando el tamaño de la muestra no es fijo, e.g., cuando el área de una plancha de acero o de hojas de papel tomados como muestra cambian con el tiempo. También se puede utilizar, por ejemplo, para el número de lesiones o el consumo de material de papelería en diferentes secciones de una fábrica cuando varía el tamaño de las secciones. En este aspecto, es muy similar al gráfico  $p$ .

Podemos decidir qué tipo de gráfico de control se debería utilizar al examinar la naturaleza de nuestras medidas y teniendo en cuenta las cuestiones anteriores.

### 3.3 Preparación de los gráficos de control de la media y el recorrido ( $\bar{x} - R$ )

Como se explicará más adelante en la sección 3.9, los gráficos de control tienen varias aplicaciones. Primero, sin embargo, me gustaría explicar el procedimiento para preparar los gráficos de control a partir de los datos existentes, i.e., los pasos para dibujar tales *gráficos con el propósito de analizar los datos del pasado*.

Explicaré cómo dibujar el tipo más importante de gráficos, el gráfico  $\bar{x} - R$ , pero la filosofía y el enfoque para hacerlo son exactamente los mismos que para los gráficos de control  $p$ ,  $pn$ ,  $c$  y  $u$ . Para preparar buenos gráficos de control hace falta mucho de ingenio y experiencia, pero primero y principal, uno tiene que conocer la manera básica de hacerlo.

#### (1) Recoger los datos

Es necesario recoger por lo menos cien elementos de datos relativamente recientes sobre las características del proceso (i.e., resultados) que suministrarán conocimientos técnicos y estadísticos importantes sobre el proceso desde el punto de vista del control. Los datos deben obtenerse bajo las mismas condiciones técnicas aproximadas que las probables previstas para el proceso en el futuro. Si los datos son escasos, cincuenta o incluso veinte valores serán suficientes, pero es mejor recoger cien o más si es posible. Los gráficos de con-

trol dibujados con datos escasos (e.g., con cincuenta o veinte elementos) siempre se deben volver a representar cuando haya más datos acumulados. Cuando se vuelvan a representar los gráficos, tendremos que, en la medida de lo posible, aclarar la historia de los datos y de los lotes de los que se tomaron. La calidad de los datos recogidos es tan importante como la cantidad.

## (2) Estratificar los datos

Los datos se deben estratificar con arreglo a factores tales como la hora de la medición y el orden en que se produjeron los lotes y, si es posible, por proceso. Por ejemplo, la Tabla 3.1 muestra los datos sobre el espesor de unas planchas de acero. Se midieron cinco planchas cada hora; los datos están dispuestos, según el orden de la medición, en veinticinco grupos de izquierda a derecha, empezando por la esquina superior izquierda.

## (3) Organizar los datos en subgrupos

Primero, los datos se disponen en subgrupos de tres a cinco elementos. En los gráficos de control, estos subgrupos también se conocen como "muestras". El número de datos puntuales de cada subgrupo se llama "*tamaño del subgrupo*" o "*tamaño de la muestra*" y usualmente se designa con la letra  $n$ . En la Tabla 3.2 los datos de la Tabla 3.1 han sido dispuestos por orden en subgrupos de tamaño  $n = 5$ . El *número total de subgrupos* obtenidos cuando los datos se disponen de este modo, llamado también "*número de muestras*" se designa con la letra  $k$ . En la Tabla 3.2,  $k = 25$ .

El paso siguiente es hacer los subgrupos (ver la sección 3.9.2) que, junto con la estratificación, es una operación vital que puede resultar útil o estropear un gráfico de control. En la mayoría de los casos, los subgrupos deben consistir en datos de cada día, turno, proceso, lote, etc., para que la variación dentro de los subgrupos debida a los factores técnicos sea relativamente pequeña, esto es, para que las causas que tengan el mayor efecto sobre el proceso aparezcan entre los subgrupos. En este ejemplo, puesto que se miden cinco planchas cada hora, hemos tomado las medidas horarias como subgrupos, con  $n = 5$ . Éste es el principio básico para hacer los subgrupos, pero los datos también se pueden agrupar según el orden de producción o el de medida si es difícil encontrar una base técnica para hacer los subgrupos. En la práctica se debe intentar hacer varios subgrupos basados en consideraciones técnicas, y se debe adoptar el método más conveniente para controlar el proceso.

El tamaño del subgrupo ( $n$ ) debe ser el mismo, si es posible, para cada subgrupo. Por ejemplo, si un día se tomaron cuatro medidas, cinco otro, etc., los datos se deben dividir en subgrupos iguales (e.g., de cinco elementos), en secuencia temporal, siempre que no se piense que haya alguna diferencia partí-

**Tabla 3.1: Espesor de las planchas (en milímetros)**

(Número de datos puntuales (N) = 125)

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2,1 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 2,0 | 2,3 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,1 |
| 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 2,3 | 2,0 |
| 2,1 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 2,2 |
| 1,8 | 1,8 | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 1,9 | 2,0 | 1,9 |
| 2,0 | 1,8 | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 2,0 | 2,0 | 1,7 |
| 1,8 | 1,9 | 1,9 | 3,4 | 2,1 | 1,9 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,9 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 1,8 |
| 1,9 | 1,8 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,6 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,0 |
| 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,6 | 2,1 | 2,2 |
| 2,4 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| 2,0 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,3 | 2,2 | 1,8 |
| 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 2,2 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,4 | 2,0 |
| 1,7 | 2,1 | 2,1 | 1,8 | 1,9 |     |     |     |     |     |

cular de un día a otro. Sin embargo, si hay razones técnicas para creer que el día supone una diferencia significativa, los datos se deben agrupar por días, con diferentes tamaños para los subgrupos ( $n = 4$ ,  $n = 5$ , etc.). Puesto que, generalmente, la preparación y el uso de los gráficos de control se complican cuando los datos se disponen en subgrupos de tamaño diferente, el tamaño de los subgrupos debe mantenerse constante siempre que sea posible. Por ejemplo, si los datos del pasado caen de manera natural en subgrupos de tamaño  $n = 5$  y  $n = 4$ , se puede eliminar un valor al azar de cada uno de los subgrupos de  $n = 5$ , lo que hace que el subgrupo tenga un tamaño constante de  $n = 4$ . Aquí sólo explicaré la situación cuando  $n$  es constante.

El tamaño del subgrupo se toma a veces como  $n = 6 - 10$  en casos especiales, pero es mejor dividir los subgrupos más grandes como éstos en otros más pequeños de tamaño 5 o menor. El tamaño de  $n = 2 - 5$  es el más utilizado para los subgrupos.

#### **(4) Preparar hojas de datos (impresos para el registro de datos)**

Es conveniente decidir desde el principio que los datos se registren en hojas de un formato especificado. Puesto que no sólo es una lata copiar los datos de los informes diarios y de otras fuentes, sino también antieconómico y hay tendencia a cometer errores, es mejor diseñar los impresos para los informes diarios como se muestra en la Tabla 3.2, que organiza los datos en subgrupos y permite que se hagan fácilmente diversos cálculos. Estos impresos deben dejar espacio para toda la información que sea posible relativa al proceso y a los datos a registrar.

**Tabla 3.2: Ejemplo de hoja de datos para el gráfico de control  $\bar{x} - R$**

| Para el gráfico de control $\bar{x} - R$ |          | Registro de control de calidad N°. 0208 |       |       |       |       | Director de fábrica                       | Director de departamento | Director de sección                | Supervisor | Líder de grupo | Encargado |
|--|----------|---|-------|-------|-------|-------|---|--------------------------|------------------------------------|------------|----------------|-----------|
| Impreso N°. 1                            |          |   |       |       |       |       |   |                          |                                    |            |                |           |
| Nombre                                   |          | Plancha                                 |       |       |       |       | Fábrica                                   |                          |                                    |            |                |           |
| Característica de calidad                |          | Espesor                                 |       |       |       |       | Sección                                   |                          |                                    |            |                |           |
| Medidor                                  |          | Taro Showa                              |       |       |       |       | Grupo de inspección                       |                          |                                    |            |                |           |
| Método de medida                         |          | Número de equipo: N°. 3                 |       |       |       |       | De:                                       | Año                      | Mes                                | Día        |                |           |
| Unidad de medida                         |          | 0,1 mm                                  |       |       |       |       | A:  | Año                      | Mes                                | Día        |                |           |
| Núm. de subgrupo                         | Día-Hora | $x_1$                                   | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $\bar{x}$                                 | $R$                      | Iniciales inspector                |            |                |           |
| 1  | 1-9      | 2,1                                     | 1,9   | 1,9   | 2,2   | 2,0   | 2,02                                      | 0,3                      |                                    |            |                |           |
| 2  | 10       | 2,3                                     | 1,7   | 1,8   | 1,9   | 2,1   | 1,96                                      | 0,6                      |                                    |            |                |           |
| 3  | 11       | 2,1                                     | 2,1   | 2,2   | 2,1   | 2,2   | 2,14                                      | 0,1                      |                                    |            |                |           |
| 4  | 12       | 2,0                                     | 1,9   | 1,9   | 2,3   | 2,0   | 2,02                                      | 0,4                      |                                    |            |                |           |
| 5  | 14       | 2,1                                     | 2,2   | 2,0   | 2,0   | 2,1   | 2,08                                      | 0,2                      |                                    |            |                |           |
| 6  | 15       | 2,1                                     | 1,7   | 1,8   | 1,7   | 2,2   | 1,90                                      | 0,5                      |                                    |            |                |           |
| 7  | 16       | 1,8                                     | 1,8   | 2,0   | 1,9   | 2,0   | 1,90                                      | 0,2                      |                                    |            |                |           |
| 8  | 2-9      | 2,2                                     | 2,2   | 1,9   | 2,0   | 1,9   | 2,04                                      | 0,3                      |                                    |            |                |           |
| 9  | 10       | 2,0                                     | 1,8   | 2,0   | 1,9   | 2,0   | 1,94                                      | 0,2                      |                                    |            |                |           |
| 10                                       | 11       | 1,8                                     | 1,7   | 2,0   | 2,0   | 1,7   | 1,84                                      | 0,3                      |                                    |            |                |           |
| 11                                       | 12       | 1,8                                     | 1,9   | 1,9   | 2,4   | 2,1   | 2,02                                      | 0,6                      |                                    |            |                |           |
| 12                                       | 14       | 1,9                                     | 2,2   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,02                                      | 0,3                      |                                    |            |                |           |
| 13                                       | 15       | 2,2                                     | 1,9   | 1,6   | 1,9   | 1,8   | 1,88                                      | 0,6                      |                                    |            |                |           |
| 14                                       | 16       | 2,0                                     | 2,0   | 2,1   | 2,1   | 1,8   | 2,00                                      | 0,3                      |                                    |            |                |           |
| 15                                       | 3-9      | 1,9                                     | 1,8   | 2,1   | 2,1   | 2,0   | 1,98                                      | 0,3                      |                                    |            |                |           |
| 16                                       | 10       | 1,6                                     | 1,8   | 1,9   | 2,0   | 2,0   | 1,86                                      | 0,4                      |                                    |            |                |           |
| 17                                       | 11       | 2,1                                     | 2,2   | 2,1   | 2,0   | 1,8   | 2,04                                      | 0,4                      |                                    |            |                |           |
| 18                                       | 12       | 1,8                                     | 1,8   | 1,6   | 2,1   | 2,2   | 1,90                                      | 0,6                      |                                    |            |                |           |
| 19                                       | 14       | 2,4                                     | 2,1   | 2,1   | 2,1   | 2,0   | 2,14                                      | 0,4                      |                                    |            |                |           |
| 20                                       | 15       | 2,1                                     | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 1,94                                      | 0,2                      |                                    |            |                |           |
| 21                                       | 16       | 2,0                                     | 1,9   | 1,9   | 2,0   | 2,2   | 2,00                                      | 0,3                      |                                    |            |                |           |
| 22                                       | 4-9      | 2,0                                     | 2,0   | 2,3   | 2,2   | 1,8   | 2,06                                      | 0,5                      |                                    |            |                |           |
| 23                                       | 10       | 2,2                                     | 2,2   | 2,0   | 1,8   | 2,2   | 2,08                                      | 0,4                      |                                    |            |                |           |
| 24                                       | 11       | 1,9                                     | 1,9   | 2,0   | 2,4   | 2,0   | 2,04                                      | 0,5                      |                                    |            |                |           |
| 25                                       | 12       | 1,7                                     | 2,1   | 2,1   | 1,8   | 1,9   | 1,92                                      | 0,4                      |                                    |            |                |           |
| Total                                    |          |   |       |       |       |       | 49,72                                     | 9,3                      |                                    |            |                |           |
| Promedio                                 |          |   |       |       |       |       | $\bar{\bar{x}} = 1,9888$                  |                          | $\bar{R} = 0,372$                  |            |                |           |
| Gráfico de control $\bar{x}$ : (LC)      |          |   |       |       |       |       | $\bar{\bar{x}} = 1,989$                   |                          |                                    |            |                |           |
| (LCS)                                    |          |   |       |       |       |       | $\bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 2,204$     |                          | $A_2 \bar{R} = 0,577 \times 0,372$ |            |                |           |
| (LCI)                                    |          |   |       |       |       |       | $\bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 1,774$     |                          | $= 0,215$                          |            |                |           |
| Gráfico de control $R$ : (LC)            |          |   |       |       |       |       | $\bar{R} = 0,372$                         |                          |                                    |            |                |           |
| (LCS)                                    |          |   |       |       |       |       | $D_4 \bar{R} = 2,115 \times 0,372 = 0,79$ |                          | Gráfico de control<br>N°. AC103    |            |                |           |
| (LCI)                                    |          |   |       |       |       |       | $D_3 \bar{R} = (\text{no aplicable})$     |                          |                                    |            |                |           |

### (5) Calcular la media del subgrupo ( $\bar{x}$ )

Se calcula la inedia ( $\bar{x}$ ) de cada subgrupo. Para el grupo n° 1, el cálculo se realiza como se indica más abajo.

Aquí es pertinente una observación respecto al redondeo: en este cálculo, no es un problema grave cuando  $n = 4$  o  $5$ , puesto que podemos dividir exactamente por estos números; pero no ocurre lo mismo en muchos casos, cuando  $n = 3$  o  $6$ , que dan decimales periódicos. Para los gráficos de control, cuando se calculan las medias de los subgrupos, generalmente es suficiente calcular dos cifras significativas más que las medidas y redondear la última cifra. Por ejemplo, con estos datos, el cálculo es como sigue para los subgrupos de tamaño  $n = 5$  y  $n = 3$ :

$$(2,1 + 1,9 + 1,9 + 2,2 + 2,0)/5 = 10,1/5 = 2,02$$

$$(2,1 + 1,9 + 1,9)/3 = 5,9/3 = 1,966 - 1,97$$

Para evitar introducir un sesgo cuando se calcula la media u otros estadísticos, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- (a) La cifra que se ha de redondear debe redondearse hacia abajo cuando es 4 o inferior a 4, y hacia arriba cuando es 6 o superior; así pues,  $1,834 \rightarrow 1,83$ ;  $1,976 \rightarrow 1,98$ .
- (b) Cuando la cifra que se ha de redondear es 5, se debe redondear hacia arriba o hacia abajo dependiendo del valor de las cifras que le siguen:
  - i) Redondear hacia arriba cuando las cifras siguientes son mayores que 0, i.e.:  
 $2,0451 \rightarrow 2,05$ ;  $2,04501 \rightarrow 2,05$ .
  - ii) Cuando la cifra siguiente es 0 o no hay más cifras, redondear hacia abajo cuando la cifra anterior a la que se va a redondear es par y hacia arriba cuando es impar, i.e.:  
 $2,0250 \rightarrow 2,02$ ;  $2,01500 \rightarrow 2,02$ ;  $2,025 \rightarrow 2,02$ ;  $2,015 \rightarrow 2,02$ .
- (c) Redondear siempre de una vez para alcanzar el número de cifras requerido. Se puede obtener un resultado erróneo si se redondea en pasos sucesivos, e.g.:  
 $2,5498 \rightarrow 2,550 \rightarrow 2,55 \rightarrow 2,5$  (correcto)  
 $2,5498 \rightarrow 2,550 \rightarrow 2,55 \rightarrow 2,6$  (incorrecto)  
 $2,4502 \rightarrow 2,5$

### (6) Calcular los recorridos de los subgrupos ( $R$ )

Se pueden calcular los recorridos ( $R$ ) de cada subgrupo al restar el valor mínimo del subgrupo del valor máximo del mismo.

$$\text{Para el subgrupo n° 1, } R = 2,2 - 1,9 = 0,3$$

Obsérvese que  $R$  es siempre 0 o mayor y jamás tiene un valor negativo. Por ejemplo, en un grupo tal como  $(-1, -3, -5, -4)$ ,  $R = (-1) - (-5) = 4$

### (7) Calcular el promedio general ( $\bar{\bar{x}}$ )

El promedio general ( $\bar{\bar{x}}$ ) se calcula con los promedios de cada subgrupo ( $\bar{x}$ ). Obsérvese que el promedio general ( $\bar{\bar{x}}$ ) debe calcularse normalmente con tres cifras significativas más que las medidas y redondearse a dos cifras significativas más que las mismas.

### (8) Calcular el promedio de los recorridos de los subgrupos ( $\bar{R}$ )

El recorrido promedio ( $\bar{R}$ ) se calcula con los valores de  $R$  para todos los subgrupos. Es suficiente con calcular  $\bar{R}$  con dos cifras significativas más que las medidas. Cuando se registra su valor en un gráfico de control, es suficiente una exactitud de una cifra significativa más que las medidas.

### (9) Calcular las líneas de control

El gráfico  $\bar{x} - R$  requiere *líneas de control* para  $\bar{x}$  y para  $R$ . Cada tipo de gráfico de control tiene las tres líneas de control siguientes:

- El límite de control superior, LCS
- La línea central, LC
- El límite de control inferior, LCI

El término *límite de control* se refiere a los límites de control superior e inferior. Si los puntos dibujados en un gráfico de control caen dentro de los límites, el gráfico indica un estado de control. Si algunos puntos caen por fuera de los límites, el gráfico indica que ha habido alguna anomalía en el proceso.

Las líneas de control se calculan de la siguiente forma (ver la Tabla 3.2):

(a) Líneas de control para el gráfico  $\bar{x}$

- Línea central:  $LC = \bar{\bar{x}}$
- Límite de control superior:  $LCS = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$
- Límite de control inferior:  $LCI = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$

$A_2$  es un coeficiente cuyo valor depende del tamaño del subgrupo,  $n$ .

La Tabla 3.3 da el valor de 0,577 para  $A_2$  cuando  $n = 5$ .

$A_2 \bar{R}$  se tiene que calcular con el mismo número de cifras significativas que



**Tabla 3.3: Coeficientes para los gráficos de control  $\bar{x}$ - $R$** 

| Tamaño del subgrupo | Gráfico de control $\bar{x}$ |       | Gráfico de control $R$ |       |       |       | Relación entre $\hat{\sigma}$ y $\bar{R}$ , $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$ |         |       |
|---------------------|------------------------------|-------|------------------------|-------|-------|-------|--|---------|-------|
|                     | $A$                          | $A_2$ | $D_1$                  | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $d_2$  | $1/d_2$ | $d_3$ |
| 2                   | 2,121                        | 1,880 | –                      | 3,686 | –     | 3,267 | 1,128  | 0,886   | 0,853 |
| 3                   | 1,732                        | 1,023 | –                      | 4,358 | –     | 2,575 | 1,693  | 1,591   | 0,888 |
| 4                   | 1,500                        | 0,729 | –                      | 4,698 | –     | 2,282 | 2,059  | 0,486   | 0,880 |
| 5                   | 1,342                        | 0,577 | –                      | 4,918 | –     | 2,115 | 2,326  | 0,430   | 0,864 |
| 6                   | 1,225                        | 0,483 | –                      | 5,078 | –     | 2,004 | 2,534  | 0,395   | 0,848 |
| 7                   | 1,134                        | 0,419 | 0,205                  | 5,203 | 0,076 | 1,924 | 2,704  | 0,270   | 0,883 |
| 8                   | 1,061                        | 0,373 | 0,387                  | 5,307 | 0,136 | 1,864 | 2,847  | 0,351   | 0,820 |
| 9                   | 1,000                        | 0,337 | 0,546                  | 5,394 | 0,184 | 1,816 | 2,970  | 0,337   | 0,808 |
| 10                  | 0,949                        | 0,308 | 0,687                  | 5,469 | 0,223 | 1,777 | 3,078  | 0,325   | 0,797 |

$\bar{x}$ , i.e., con dos cifras significativas más que las medidas. Obsérvese que los límites de control del gráfico  $\bar{x}$  dependen de  $R$  (la variación que hay dentro de los subgrupos).

(b) Líneas de control para el gráfico  $R$

— Línea central:  $LC = \bar{R}$

— Límite de control superior:  $LCS = D_4 \bar{R}$

— Límite de control inferior:  $LCI = D_3 \bar{R}$

$D_4$ , y  $D_3$ , son coeficientes cuyos valores dependen del tamaño del subgrupo. Por ejemplo, si  $n=5$ , la Tabla 3.3 indica que  $D_4=2,115$ , mientras que  $D_3$  no es aplicable.

La diferencia entre el gráfico de control  $R$  y el  $\bar{x}$  es que los LCS y LCI del primero se calculan multiplicando directamente  $\bar{R}$  por una constante, sin sumar ni restar nada. El límite de control inferior no es aplicable cuando  $n \leq 6$ .

$D_3 \bar{R}$  y  $D_4 \bar{R}$  se deben calcular con el mismo número de cifras significativas que  $\bar{R}$ , i.e., una cifra significativa más que las medidas.

### (10) Preparar los impresos de los gráficos de control

Los gráficos de control se dibujan sobre papel para gráficos; lo más fácil es utilizar papel con, por ejemplo, divisiones horizontales de 2-3 mm y divisio-

nes verticales de 1 mm. Las rayas del papel deben ser todo lo finas y tenues posible, ya que será difícil ver las líneas de control y los puntos si el rayado es demasiado grueso. Es conveniente que los impresos estén diseñados para que se puedan sacar copias fácilmente una vez hayan sido rellenas las hojas.

Los gráficos de control  $\bar{x}$  y  $R$  se representan uno encima del otro, y usualmente es suficiente una separación entre ambos de quince centímetros. El papel debe ser bastante largo, ya que los gráficos de control se extienden durante un periodo considerable de tiempo. Se debe dejar espacio en la parte inferior

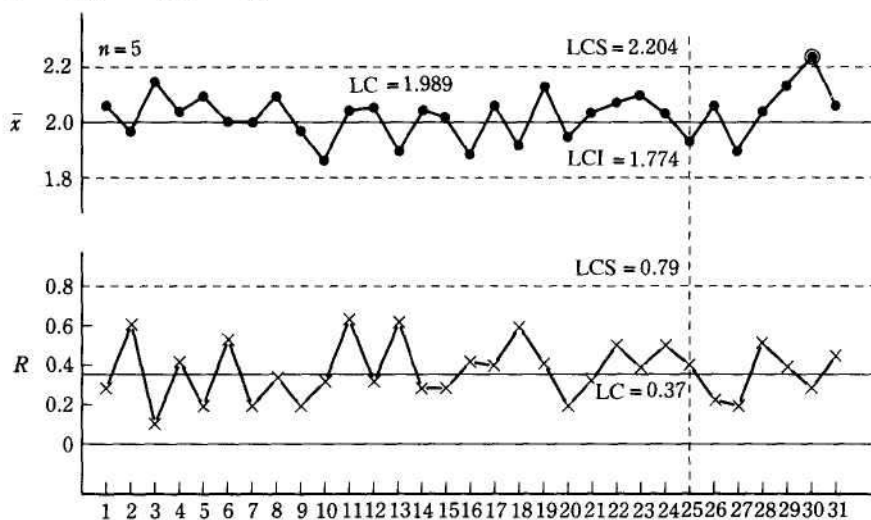
Para el gráfico de control  $\bar{x} - R$   
Impreso n° 1

Gráfico de control n° 0208

|                     |                          |                     |            |                |                               |
|---------------------|--------------------------|---------------------|------------|----------------|-------------------------------|
| Director de fábrica | Director de departamento | Director de sección | Supervisor | Líder de grupo | Sección de control de calidad |
|---------------------|--------------------------|---------------------|------------|----------------|-------------------------------|

|                      |         |                           |         |
|----------------------|---------|---------------------------|---------|
| Elemento de control  | Plancha | Característica de calidad | Espesor |
| Unidad de medida: mm |         |                           |         |
| De:                  | Año     | Mes                       | Día     |
| A:                   | Año     | Mes                       | Día     |

|                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| Fábrica                      |                      |
| Sección                      |                      |
| Grupo                        |                      |
| Responsabilidad del control: | Líder de grupo Ishii |
| Preparado por:               | Nakano               |



|                           |  |
|---------------------------|--|
| Iniciales del controlador |  |
|---------------------------|--|

Observaciones

| Número de subgrupo | Observaciones (razones por las que los puntos caen fuera de los límites de control, acciones acometidas detalles cuando las causas son desconocidas) | Persona a cargo |
|--------------------|--|-----------------|
| 25                 | Analizar los datos de los subgrupos 1 al 25 y empezar a representar los datos del subgrupo 26 en adelante diariamente                                |                 |
| 30                 | Causa: galga estropeada. Acción: de ahora en adelante comprobar la galga todas las mañanas   |                 |

Número del gráfico de control: AC 103

Figura 3.1: Gráfico de control  $\bar{x} - R$

del gráfico para anotar información adicional. El papel debe ser de la mejor calidad posible puesto que puede ser necesario utilizar y guardar el gráfico durante mucho tiempo.

Cuando el control de calidad ha comenzado a llevarse a cabo en serio, los impresos de las hojas de datos y de los gráficos de control deben ser diseñados e impresos especialmente.

### **(11) Representar las líneas de control**

El gráfico de control  $\bar{x}$  se traza en la parte superior del impreso, y el gráfico de control  $R$  debajo de aquel. Los números de los subgrupos (o la fecha, el número del lote, etc.) deben anotarse sobre el eje horizontal.

Tanto para el gráfico de control  $\bar{x}$  como el  $R$ , la escala vertical se debe elegir de forma que la anchura de los límites de control (i.e., la distancia entre el límite de control superior y la inferior) sea *aproximadamente de 30 mm*, y luego se anotan las *unidades*. Esto quiere decir que las escalas para los gráficos de control  $\bar{x}$  y  $R$  pueden ser diferentes. A menudo me encuentro con gráficos de control dibujados según el enfoque convencional de ingeniería que deja un hueco de diez centímetros o más entre los límites de control. Sin embargo, en los gráficos de control usualmente sólo nos interesa *si los puntos caen dentro o fuera de los límites*, y es una equivocación agrandar la escala vertical y, por tanto, centrar la atención en pequeños movimientos de los puntos situados entre los límites. En vez de ello, debemos tratar de hacer la escala todo lo pequeña posible y el papel todo lo largo posible con objeto de ver la tendencia a lo largo de un periodo extenso de tiempo. Es suficiente un intervalo de dos o tres milímetros entre los subgrupos -i.e., entre los puntos del eje horizontal; es suficiente con que se puedan distinguir los puntos individuales.

Los gráficos de control deben ser aseados, para que sean fáciles de usar y agradables a la vista, pero uno tiene que ser consciente de que se mancharán de grasa y suciedad durante su uso serio. La Figura 3.1 muestra un gráfico de control preparado con los datos de la Tabla 3.2.

Cuando los datos del pasado hayan sido analizados y hayan sido trazadas las líneas de control haciendo uso de tales datos, se debe indicar la línea central con un trazo continuo - y las líneas de los límites con trazos discontinuos ---- en todo tipo de gráfico de control. Estas líneas de control deben dibujarse hasta el número del subgrupo de la última medida utilizada para el análisis.

### **(12) Representar los puntos**

La media ( $\bar{x}$ ) y el recorrido ( $R$ ) de cada subgrupo se representan según el orden del subgrupo en el gráfico  $\bar{x}$  y en el  $R$  respectivamente, y el valor de  $R$

de cada subgrupo se representa directamente debajo del valor de  $\bar{x}$  para ese subgrupo. Cuando se representan los puntos se debe observar lo siguiente:

- (a) Los puntos se deben señalar con claridad. No dibuje puntos menuditos porque la escala sea pequeña; trácelos sin miedo para que sobresalgan y dejen ver el patrón que siguen de un vistazo.
- (b) Es mejor utilizar símbolos diferentes para los puntos de los gráficos  $\bar{x}$  y  $R$ ; por ejemplo, el  $\bar{x}$  se puede dibujar utilizando puntos (.) y el  $R$  utilizando cruces (x).
- (c) Si los datos están agrupados por turno, máquina, equipo, etc., si se estratifican los datos y se utilizan colores o símbolos diferentes para distinguir entre los diferentes estratos de datos, las cosas son más fáciles de ver.
- (d) Los puntos que caen por fuera de los límites de control (Le., puntos anómalos) deben señalarse claramente utilizando símbolos especiales tales como  $\odot$  o  $\otimes$  o en rojo.
- (e) Los puntos que caen cerca de la línea central deben representarse con símbolos tales como  $\bullet$  o  $\ominus$  para indicar que están por arriba o por debajo de la línea.
- (f) Cuando se hayan representado los puntos, deben unirse por medio de una línea continua fina siguiendo el orden de los subgrupos. Cuando haya varios puntos para cada día o cada semana, el gráfico estará más claro si están unidos sólo los puntos de cada periodo, y se deja un hueco entre un periodo y el siguiente.

Resumiendo, los puntos deben representarse de modo que sean fáciles de ver, y deben estratificarse si es necesario.

### (13) Registrar otras informaciones necesarias

Poner  $\bar{x}$  en el extremo izquierdo del gráfico de control  $\bar{x}$ , y  $R$  en el extremo izquierdo del gráfico de control  $R$ . Arriba del gráfico de control, anotar toda la información necesaria pertinente, e.g., el producto, la característica de calidad, las unidades de medida, el nombre de la persona responsable de controlar el proceso, el nombre de la persona que rellena el gráfico, el periodo de tiempo durante el que se tomaron los datos, el número de referencia del gráfico de control, etc. En la esquina superior izquierda del gráfico de control  $\bar{x}$ , anotar el tamaño de los subgrupos, e.g.,  $n = 5$ . Ponga el nombre de LCS, LC y LCI a las líneas de control como se muestra en la Figura 3.1, y anote sus valores.

### (14) Resumen

La explicación anterior sobre la representación de los gráficos de control  $\bar{x} - R$  muestra que aunque el estudio de la estadística misma no es tan fácil, los gráficos de control se pueden preparar haciendo uso de las operaciones arit-

méticas sencillas de sumar, restar, multiplicar y dividir. En las fábricas japonesas que están adelantadas en el control de calidad, los supervisores de los puestos de trabajo y otras personas responsables del control utilizan los gráficos de control de manera rutinaria, al igual que los operarios de base, tanto hombres como mujeres.

Algunas diferencias entre los gráficos de control y los gráficos ordinarios son las siguientes:

- (a) Con los gráficos de control, los datos se dividen en subgrupos.
- (b) Los gráficos de control muestran los cambios de  $\bar{x}$  y de  $R$ .
- (c) Los gráficos de control muestran los límites de control que tienen significado estadístico.

Es eficazísimo representar los datos de este modo y permite que la situación de la fábrica se identifique mucho mejor que con los informes diarios usuales que no son más que un montón de números. El uso de las líneas de control también facilita la entrada en acción con respecto a un proceso.

Debe observarse que lo anterior es el procedimiento natural para representar los gráficos de control cuando se analizan los datos del pasado. Sin embargo, en los seminarios de control de calidad de las empresas, se pueden utilizar los datos procedentes de los *experimentos con bolas* o los datos reales de un puesto de trabajo para que proporcionen unas explicaciones fácilmente comprensibles de los conceptos de la variación debida a la dispersión de las muestras, y de los límites de control. En tales situaciones, se debe hacer que los participantes dibujen gráficos de control con arreglo al procedimiento siguiente para que lo comprendan fácilmente:

1. Preparar hojas de datos.
2. Llevar a cabo experimentos con bolas, y hacer subgrupos con los datos.
3. Preparar impresos para gráficos de control en blanco.
4. Calcular los valores de  $\bar{x}$ .
5. Representar  $\bar{x}$  (cuando se haga esto, hacer que los participantes utilicen una escala que de una distancia aproximada de treinta milímetros entre los límites de control).
6. Calcular los valores de  $R$ .
7. Representar  $R$  (hacer también que los participantes elijan una escala que dé una distancia de treinta milímetros entre los límites de control en este caso, y hacer que representen  $R$  directamente debajo de  $\bar{x}$  para cada subgrupo).
8. Calcular  $\bar{\bar{x}}$  y anotarlo.
- 9- Calcular  $\bar{\bar{R}}$  y anotarlo.
10. Calcular las líneas de control de  $\bar{x}$  y representarlas.
11. Calcular las líneas de control de  $R$  y representarlas.
12. Anotar otras informaciones pertinentes.

### 3.4 Preparación de los gráficos de control para la fracción<sup>1</sup> de unidades defectuosas ( $p$ )

Los gráficos  $p$  de control se utilizan para controlar los procesos de los cuales se recogen los datos como valores de la fracción de unidades defectuosas o el porcentaje de unidades defectuosas, e.g., cuando se han ensayado cien hojas o cien unidades (o, en general,  $n$  unidades) de producto terminado o semiterminado para ver si son conformes o no conformes; si hay cinco unidades defectuosas en cien (o, en general,  $r$  o  $pn$  unidades), la fracción de unidades defectuosas está dada por  $p = 5/100 = 0,05$ , y el porcentaje de unidades defectuosas es de 5%. También se puede utilizar la fracción de unidades no defectuosas ( $q$ ). La preparación de este tipo de gráfico de control se explica en las secciones siguientes:

#### (1) Recoger los datos

Uno tiene que recoger tantos datos como sea posible sobre la fracción de unidades defectuosas. Se tiene que conocer el número de unidades inspeccionadas,  $n$ , y el número de unidades defectuosas,  $pn$ , para cada fracción de unidades defectuosas<sup>2</sup>.

Es bueno disponer de tantos datos como sea posible, puesto que esto también es conveniente para fines tales como el análisis del proceso; también es deseable disponer datos de por lo menos veinte lotes, i.e., por lo menos veinte valores de la fracción de unidades defectuosas (i.e., el número de subgrupos). Los datos se pueden recoger de tantos tipos de unidades defectuosas como se desee, pero se deben estratificar todo lo posible, con arreglo a la naturaleza de las unidades defectuosas y sus causas.

#### (2) Organizar los datos en subgrupos<sup>3</sup>

Los datos se deben dividir en subgrupos racionales tal como se explicó en la sección 3.3. En general, es mejor formar lotes racionales y hacer los subgrupos por lote. Por ejemplo, se deben tomar datos de pequeños lotes formados con el fin de controlar el proceso en vez de lotes para expedir. Los datos son más fáciles de manejar si el tamaño del lote es constante. Igualmente, si  $n$

<sup>1</sup> Los términos "fracción" y "proporción" son sinónimos. DIVISIÓN DE ESTADÍSTICA DE LA ASQC. "Glossary and Tables for Statistical Quality Control". QUALITY PRESS. Second Edition, 1983, p. 15. (*N. de los T.*)

<sup>2</sup> Esto es porque (como se verá más adelante en las fórmulas de los límites de control) cinco unidades defectuosas entre cien y diez unidades defectuosas entre doscientas tienen distribuciones estadísticamente diferentes, aunque la fracción de unidades defectuosas (0,05) sea la misma en ambos casos.

<sup>3</sup> Una muestra es un subgrupo elegido para su inspección o ensayo con el fin de inferir unas características de la población a la que pertenece. (*N. de los T.*)

es demasiado pequeño, la potencia estadística de la prueba del gráfico de control es deficiente. Cuando  $n$  es demasiado grande, los datos deben estratificarse y agruparse en subgrupos de diversas maneras.

### (3) Calcular la fracción de unidades defectuosas para cada subgrupo, $p_i$ (ver la Tabla 3.4)

Esta se calcula con la sencilla fórmula siguiente:

$$p_i = \frac{\text{número de unidades defectuosas}}{\text{número de unidades en la muestra (tamaño del subgrupo)}} = \frac{r_i}{n_i}$$

### (4) Calcular la fracción de unidades defectuosas media, $\bar{p}$

La fracción de unidades defectuosas media ( $\bar{p}$ ) es el número total de unidades defectuosas dividido por el número total de unidades inspeccionadas (Le., el número total de muestras). En general, no es igual a la media de la fracción de unidades defectuosas de cada subgrupo ( $\bar{p}_i$ ). Sin embargo, es igual a la media aritmética de los  $p_i$  de cada subgrupo cuando los subgrupos tienen todos el

En este ejemplo,  $\bar{p} = \frac{187}{1250} = 0,150$

### (5) Calcular los límites de control

Los límites de control  $\pm 3$ -sigma del gráfico  $p$  se calculan con las fórmulas siguientes:

- Límite de control superior:  $LCS = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$

- Límite de control inferior:  $LCI = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$

El LCI no es aplicable cuando  $LCI < 0$ . En este ejemplo,

$$\bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,150 \pm 0,152$$

-  $LCS = 0,302$

-  $LCI = (\text{no aplicable})$

**Tabla 3.4: Ejemplo de hoja de datos para los gráficos de control de las fracciones de unidades defectuosas y del número de unidades defectuosas**

Para los gráficos de control  $pn$  y  $p$

Fábrica \_\_\_\_\_

Año \_\_\_\_\_

Mes \_\_\_\_\_ Día \_\_\_\_\_

Producto \_\_\_\_\_

Proceso \_\_\_\_\_

Método de inspección \_\_\_\_\_

Tipo de unidad defectuosa \_\_\_\_\_

Número de producto \_\_\_\_\_

Persona a cargo del proceso \_\_\_\_\_

Persona a cargo de la inspección \_\_\_\_\_

Observaciones \_\_\_\_\_

| Número del subgrupo | Número de unidades inspeccionadas<br>$n$ | Número de unidades defectuosas<br>$pn$ | Fracción de unidades defectuosas<br>$p$ | LCS   | LCI |
|---------------------|--|--|---|-------|-----|
| 1                   | 50                                       | 3                                      | 0,06                                    |       |     |
| 2                   | "  | 8                                      | 0,16                                    |       |     |
| 3                   | "  | 3                                      | 0,06                                    |       |     |
| 4                   | "  | 5                                      | 0,10                                    |       |     |
| 5                   | "  | 4                                      | 0,08                                    |       |     |
| 6                   | "  | 10                                     | 0,20                                    |       |     |
| 7                   | "  | 10                                     | 0,20                                    |       |     |
| 8                   | "  | 9                                      | 0,18                                    |       |     |
| 9                   | "  | 4                                      | 0,08                                    |       |     |
| 10                  | "  | 6                                      | 0,12                                    |       |     |
| 11                  | "  | 9                                      | 0,18                                    |       |     |
| 12                  | "  | 8                                      | 0,16                                    |       |     |
| 13                  | "  | 12                                     | 0,24                                    |       |     |
| 14                  | "  | 6                                      | 0,12                                    |       |     |
| 15                  | "  | 8                                      | 0,16                                    |       |     |
| 16                  | "  | 8                                      | 0,16                                    |       |     |
| 17                  | "  | 10                                     | 0,20                                    |       |     |
| 18                  | "  | 13                                     | 0,16                                    |       |     |
| 19                  | "  | 9                                      | 0,18                                    |       |     |
| 20                  | "  | 5                                      | 0,10                                    |       |     |
| 21                  | "  | 7                                      | 0,14                                    |       |     |
| 22                  | "  | 9                                      | 0,18                                    |       |     |
| 23                  | "  | 5                                      | 0,10                                    |       |     |
| 24                  | "  | 3                                      | 0,06                                    |       |     |
| 25                  | "  | 13                                     | 0,26                                    |       |     |
| Total               | 1250                                     | 187                                    | -                                       | -     | -   |
| Promedio            | $\bar{n} = 50$                           | -                                      | $\bar{p} = 150$                         | 0,302 | -   |

LC  $\bar{p} = 0,150$

LCS  $\bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} = 0,150 + 0,152 = 0,302$

LCI  $\bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} = 0,150 - 0,152 = (\text{no aplicable})$



Está claro en estas fórmulas que si  $n_i$  varía, la distancia entre los límites de control cambiará y las líneas de control variarán de posición en vez de ser rectas continuas. Así pues, cuando el número de artículos inspeccionados en cada lote ( $n_i$ ) cambia, no tendremos líneas de control rectas continuas y tendremos que señalar límites de control individuales para cada subgrupo. Cuando se controlan procesos es, por tanto, más sencillo asegurarse de que  $n_i$  sea constante en la medida de lo posible.

Unas pocas cuestiones que debemos observar son:

Primero, que la línea central,  $\bar{p}$ , no cambia aunque cambie  $n_i$ .

Segundo, que la distancia entre los límites de control disminuye al aumentar  $n_i$  para el mismo valor de  $\bar{p}$ , y aumenta si  $\bar{p}$  aumenta (cuando  $\bar{p} < 0,5$ ).

Tercero, que en la práctica, cuando la variación del tamaño de los subgrupos ( $n_i$ ) es tan grande que  $n_i$  llega a ser más del doble o menos de la mitad del número medio de unidades inspeccionadas de cada lote ( $\bar{n}$ ), donde  $\bar{n} = (n_1 + n_2 + \dots + n_k)/k$  (e.g., para  $\bar{n} = 100$ , cuando el máximo  $n_i = 200$  y el mínimo  $n_i = 50$ ), las líneas de control deben dibujarse inicialmente para  $\bar{n} = 100$ . Luego deben comprobarse los puntos para tener en cuenta un cambio de  $n_i$  sólo en los casos siguientes:

- (a) Cuando  $n_i > \bar{n}$  y un punto cae justo dentro de las líneas de control, los límites de control deben calcularse con precisión para ese valor de  $n_i$ . Si un punto cae ligeramente por fuera de una de las líneas de control, siempre está fuera de los límites de control (esto es porque la separación entre los límites disminuye cuando  $n_i$  aumenta).
- (b) Cuando  $n_i < \bar{n}$ , los límites de control deben calcularse con precisión para ese valor de  $n_i$ , cuando un punto cae justo por fuera de una de las líneas de control. No es necesario un cálculo preciso cuando un punto cae aunque sea ligeramente por dentro de una línea de control porque siempre estará entre los límites de control en este caso.

Cuarto, en el gráfico  $p$  la anchura de los límites está determinada por la propia  $\bar{p}$ . Esto difiere del gráfico  $\bar{x}$  en el que la anchura depende de  $\bar{R}$ .

Quinto, cuando se usa el porcentaje de unidades defectuosas, los límites se calculan como sigue:

$$100\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{100\bar{p}(100-100\bar{p})}{n}} \%$$

Sexto, puesto que es tedioso calcular los límites de control para cada valor de  $n_i$ , se han ideado varios gráficos y tablas para simplificar esta tarea (e.g., "Tabla estadística JUSE (A)" publicada por JUSE).

Y séptimo, cuando  $\bar{p} \leq 0,1$  -i.e., cuando el porcentaje de unidades defectuosas es de diez por cien o inferior- se considera que  $1 - \bar{p}$  es aproximada-

mente igual a 1, y los límites de control se calculan aproximadamente con la fórmula siguiente:

$$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}}{n_i}}, 100\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{100\bar{p}}{n_i}}$$

### (6) Representar el gráfico de control

En el gráfico se dibujan la línea central y las dos líneas de control, se anotan sus valores, y se dibujan los valores de  $p_i$ . La distancia entre los límites de control debe ser aproximadamente de treinta milímetros como en el gráfico  $\bar{x} - R$ . Puesto que los límites varían con el tamaño del subgrupo ( $n_i$ ), se debe anotar el valor de  $n_i$  debajo del número del subgrupo cuando varía el tamaño de los subgrupos.

## 3.5 Preparación de los gráficos de control para el número de unidades defectuosas ( $pn$ )

Puesto que este tipo de gráficos de control se parece mucho al gráfico de control de la fracción de unidades defectuosas ( $p$ ), aquí sólo mencionaré algunas cuestiones particularmente notables (ver la Figura 3.2).

Las líneas de control del gráfico  $pn$  se calculan con las fórmulas siguientes:

|                           |                                  |                     |                          |                     |            |
|---------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------|
| Gráfico de control número |                                  | Director de fábrica | Director de departamento | Director de sección | Supervisor |
| Artículo                  | Característica                   |                     |                          |                     |            |
| Especificación            | Tamaño de los subgrupos $n = 50$ | Fábrica             | Sección                  | Equipo              |            |
| Método de medida          |                                  | De:                 | Año                      | Mes                 | Día        |
| Medidor                   |                                  | A:                  | Año                      | Mes                 | Día        |

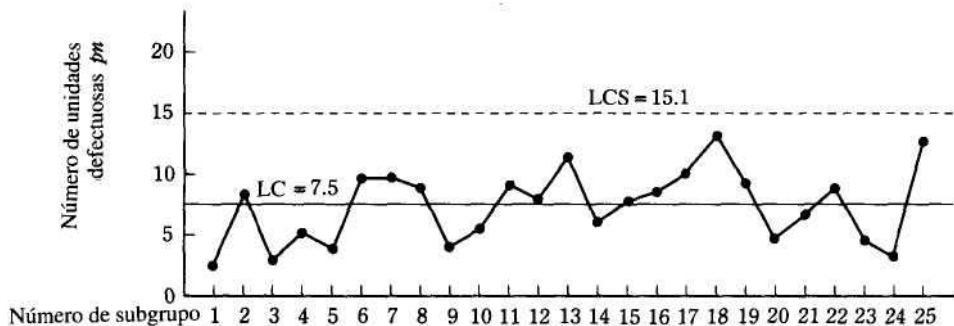


Figura 3.2: Gráfico de control  $pn$

Línea central = número promedio de unidades defectuosas

$$= \frac{\text{número total de unidades defectuosas}}{\text{número de subgrupos}}$$

$$= \frac{\sqrt{\sum r_i}}{k} = \frac{\sqrt{\sum p_i n_i}}{k} = \bar{p}n$$

$$- \text{Límite de control superior: } LCS = \bar{p}n + 3 \sqrt{\bar{p}n(1 - \bar{p})}$$

$$- \text{Límite de control inferior: } LCI = \bar{p}n - 3 \sqrt{\bar{p}n(1 - \bar{p})}$$

Como se puede ver en las fórmulas anteriores, la línea central del gráfico  $pn$  de control,  $\bar{p}n$ , varía con  $n$ . Así pues, cuando  $n$  varía, varían la línea central y los límites, y las posiciones de los puntos cambian muchísimo. Puesto que esto haría que el gráfico fuese muy difícil de utilizar, el gráfico  $pn$  sólo se utiliza cuando el tamaño de los subgrupos,  $n$ , es constante. Si  $n$  es constante, el número de unidades defectuosas ( $pn$ ) puede representarse directamente en el gráfico, lo que hace que éste sea adecuado para su uso en planta.

### 3.6 Preparación de los gráficos de control para el número de defectos por unidad ( $u$ )

Este tipo de gráficos de control se utiliza cuando el control se hace por medio de datos tales como el número de imperfecciones en una pieza de tejido, los agujeros en una superficie pintada, los defectos (de un alambre, papel u otro producto continuo, o en máquinas, equipos eléctricos, televisores, muebles y otros productos montados), los accidentes, las roturas mecánicas, partículas de polvo (en productos químicos, disolventes, etc.), los errores tipográficos, los visitantes diarios, etc. Se utiliza el gráfico de control cuando el tamaño de la muestra es constante, y se utiliza el gráfico  $u$  (al convertir  $c$  en el número de defectos por unidad,  $u$ ) cuando varía el tamaño de la muestra. Los pasos para preparar el gráfico son como sigue:

#### (1) Recoger los datos

Se muestrea un producto y se anota el número de defectos,  $c$ , al mismo tiempo que el área, la longitud, el peso, el volumen, etc., cuando el producto es una cantidad de plancha de acero, hilo, producto químico, disolvente, etc. Cuando el producto es un montaje, se cuenta el número de defectos por mon-

taje. Con los accidentes, las paradas, etc., se anotan los datos para un periodo de tiempo determinado, un número de personas determinadas, un número de máquinas determinadas, etc. Puede que haya más de un tipo de defectos, pero no se deben juntar datos de dos o más tipos de defectos cuando haya una correlación entre ellos. En la medida de lo posible, cuando se preparan los gráficos de control los defectos deben estratificarse con arreglo a su naturaleza y causa.

## (2) Organizar los datos en subgrupos

Los datos deben organizarse en subgrupos racionales, tratando como si fuera un subgrupo a los datos tomados del mismo lote o sistema. El número de unidades ( $n_i$ ) dentro de cada subgrupo, e.g., el número de metros, de metros cuadrados, de gramos, litros, máquinas, personas, etc., no tienen que ser necesariamente constantes, pero se debe indicar claramente.

## (3) Calcular el número de defectos por unidad ( $u_i$ ) para cada subgrupo

La fórmula para calcular  $u_i$  es:

$$u_i = \frac{\text{número total de defectos } (c_i) \text{ de todas las unidades de un subgrupo}}{\text{número de unidades del subgrupo } (n_i)}$$

Por ejemplo, con un subgrupo de 5 m<sup>2</sup> y una unidad de 1 m<sup>2</sup>,  $n_i = 5$ .

## (4) Calcular $\bar{u}$

La fórmula para calcular  $\bar{u}$  es:

$$\bar{u} = \frac{c_i \text{ total para todos los grupos}}{n_i \text{ total para todos los grupos}} = \frac{\sum c_i}{\sum n_i}$$

Esta es la línea central.

## (5) Calcular los límites de control

Estos vienen dados por  $\bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$

El LCI no es aplicable cuando es menor que cero. Los límites de control fluctúan de un grupo a otro cuando  $n_i$  varía, como en el gráfico  $p$ . Los pasos restantes son los mismos que para el gráfico  $p$ .

### 3.7 Preparación de los gráficos de control para el número de defectos (c)

Puesto que el número de defectos,  $c$ , se representa directamente en un gráfico  $c$ , este tipo de gráfico es conveniente cuando  $n$  es constante. La diferencia entre éste y el gráfico de control  $u$  es que  $c_i$  se representa directamente sin calcular  $u_i$  y las líneas de control se calculan de la siguiente manera:

$$\text{- Línea central: } \bar{c} = \frac{\text{número total de defectos en todos los subgrupos}}{\text{número de subgrupos}} = \frac{\sum c_i}{k}$$

$$\text{- Límite de control superior: } \text{LCS} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$\text{- Límite de control inferior: } \text{LCI} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

(no aplicable cuando  $\bar{c} < 9$ )

En la Tabla 3.5 y la Figura 3.3 se muestra un ejemplo.

**Tabla 3.5: Ejemplo de hoja de datos para el gráfico de control del número de defectos**

|  |  |                   |  |  |
|--|--|-------------------|--|--|
| Para los gráficos de control $c$ y $u$ |  | Fábrica _____     |  |  |
|  |  | Año Mes Día _____ |  |  |
| Producto _____                         |  |                   | Número de producto _____               |  |
| Proceso _____                          |  |                   | Persona a cargo del proceso _____      |  |
| Método de inspección _____             |  |                   | Persona a cargo de la inspección _____ |  |
| Tipo de defecto _____                  |  |                   | Observaciones _____                    |  |

| Número del subgrupo | Tamaño del subgrupo | Número de defectos ( $c$ ) | Número de defectos por unidad ( $u$ ) | Observaciones  |
|---------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------------------|--|
| 1                   |                     | 18                         |                                       | Línea central $\bar{c} = 16,8$<br>LCS = $\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$<br>= $16,8 + 3 \times 4,1$<br>= 29,1 |
| 2                   |                     | 13                         |                                       |  |
| 3                   |                     | 13                         |                                       |  |
| 4                   |                     | 15                         |                                       |  |
| 5                   |                     | 21                         |                                       |  |
| 6                   |                     | 17                         |                                       | LCL = $\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$<br>= $16,8 - 3 \times 4,1$<br>= 4,5                                    |
| 7                   |                     | 28                         |                                       |  |
| 8                   |                     | 10                         |                                       |  |
| 9                   |                     | 23                         |                                       |  |
| 10                  |                     | 16                         |                                       |  |
| 11                  |                     | 15                         |                                       |  |
| 12                  |                     | 22                         |                                       |  |
| 13                  |                     | 18                         |                                       |  |
| 14                  |                     | 12                         |                                       |  |
| 15                  |                     | 24                         |                                       |  |
| 16                  |                     | 11                         |                                       |  |
| 17                  |                     | 19                         |                                       |  |
| 18                  |                     | 16                         |                                       |  |
| 19                  |                     | 13                         |                                       |  |
| 20                  |                     | 14                         |                                       |  |
| 21                  |                     | 12                         |                                       |  |
| 22                  |                     | 25                         |                                       |  |
| 23                  |                     | 16                         |                                       |  |
| 24                  |                     | 13                         |                                       |  |
| 25                  |                     | 15                         |                                       |  |
| Total               |                     | 419                        |                                       |  |
| Promedio            |                     | $\bar{c} = 16,8$           |                                       |  |

|                      |                                      |     |     |     |
|----------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|
| Modelo               | Gráfico de control número            |     |     |     |
| Característica       | De:                                  | Año | Mes | Día |
| Método de medida     | A:                                   | Año | Mes | Día |
| Especificación       | Plano de producción número           |     |     |     |
| Fábrica              | Persona responsable del control      |     |     |     |
| Orden de circulación | Persona responsable de la inspección |     |     |     |

Supervisor → Director de Sección → Director de Departamento  
 → Sección de inspección → Sección técnica  
 → Puesto de trabajo

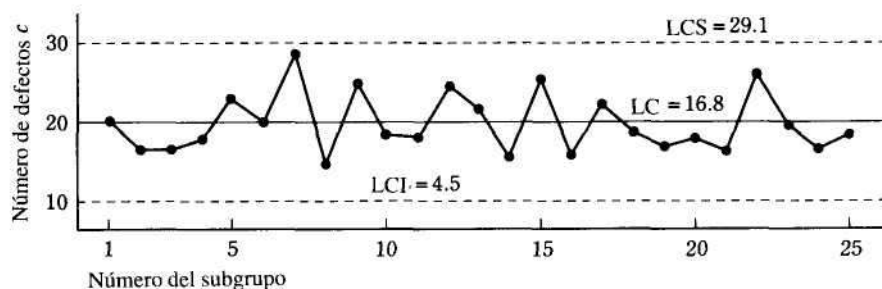


Figura 3.3: Gráfico de control  $c$

### 3.8 Interpretación de los gráficos de control

La representación de los gráficos de control sin más no es muy útil; éstos no sirven de nada a menos que los examinemos detenidamente, leamos en ellos la información sobre el estado de la calidad, del proceso y del trabajo, y busquemos y eliminemos las causas de las anomalías. Para ello, tenemos que aprender a leer los gráficos de control y practicar cómo obtener información de los movimientos de los puntos. Tenemos que ser capaces de decir, de un vistazo, lo que ha sucedido a un proceso, qué clase de cambios han tenido lu-

gar en la distribución, y qué clases de causas asignables han surgido. Los principios para leer los gráficos de control se describen brevemente a continuación:

- 1) Los puntos no deben considerarse como puntos individuales sino *como una distribución*. En otras palabras, tenemos que pensar en lo que le ha sucedido a la distribución del proceso (Le., la población) que representan los puntos.
- 2) No es conveniente dedicar mucha atención al movimiento de los puntos entre los límites de control. Los resultados estarán dispersados al azar entre los límites aun cuando no haya causas de anomalías y el trabajo proceda normalmente.
- 3) Si los puntos caen dentro de los límites, en principio se considera que el proceso está en estado controlado. Debe señalarse, sin embargo, que, hablando con rigor, el estado controlado en el gráfico de control i se da cuando los puntos están dispersos al azar entre los límites de control, y forman una distribución normal que tiene a la línea central en el medio (ver la subsección 6 más abajo).
- 4) Si algunos puntos caen fuera de los límites, seguro que ha tenido lugar una anomalía en el proceso, y el proceso está *fuera de control*. También se considera que el proceso está fuera de control si algunos puntos caen justo en una línea de control. Esta situación se llama estado "*incontrolado*" o "*fuera de control*".
- 5) Cuando los puntos de un gráfico de control utilizado para análisis satisfacen las condiciones siguientes, se considera que, de momento, el proceso está en estado de control. Se considera que las líneas de control representan al proceso y se extrapolan al futuro, lo que permite el uso del gráfico para controlar el proceso. Los puntos deben estar dispersados al azar y deben satisfacer las condiciones siguientes:
  - (a) Veinticinco puntos consecutivos caen dentro de los límites de control.
  - (b) En treinta y cinco puntos consecutivos, no hay más de uno que caiga fuera de los límites de control.
  - (c) En cien puntos consecutivos, no hay más de dos que caigan fuera de los límites de control.

En los dos últimos casos, se deben buscar las causas de la anomalía.

- 6) Un número consecutivo de puntos que caen a un lado u otro de la línea central se llama "*racha*". Es anómalo que un número grande de puntos consecutivos caiga por arriba o por abajo de la línea central. Generalmente, se considera que hay presente una anomalía cuando tiene lugar una *racha de siete o más puntos*. Sin embargo, cuando falta una línea de control (e.g., la línea de control inferior del gráfico de control  $R$  cuando  $n$  es seis o menor), no se considera que hay presente una anomalía aunque siete o más



- puntos tengan lugar en ese lado de la línea central (i.e., una racha por debajo de  $\bar{R}$  en este caso).
- 7) En los gráficos de control utilizados para análisis, existe la posibilidad de que haya tenido lugar una anomalía en el proceso si varios puntos aparecen al mismo lado de la línea central, como se describe más abajo:
    - (a) diez u once puntos de once puntos consecutivos,
    - (b) doce o más puntos de catorce puntos consecutivos,
    - (c) catorce o más puntos de diecisiete puntos consecutivos,
    - (d) dieciséis o más puntos de veinte puntos consecutivos.
  - 8) Cuando los puntos muestran una tendencia hacia arriba o hacia abajo, puede haber presente una anomalía.
  - 9) Cuando más de la mitad de los puntos caen fuera de los límites de control, o cuando la mayoría de los puntos están apiñados alrededor de la línea central en una banda la mitad de ancha que la de los límites de control, esto indica que fue inadecuada la formación de subgrupos o la estratificación de los datos para ese gráfico de control. Cuando ocurre esto, se debe volver a dibujar el gráfico utilizando una forma diferente de formar los subgrupos o de estratificar.
  - 10) Con el gráfico de control  $\bar{x}-R$ , empezar por examinar el gráfico  $R$ .

## 3.9 Uso de los gráficos de control

### 3.9.1 Aplicaciones

Desde varios puntos de vista, se puede decir que el gráfico de control es la herramienta estadística principal para el control. Dicho claramente, no es ninguna exageración decir que "el control de calidad empieza y termina con el gráfico de control".

Las áreas principales de aplicación de los gráficos de control son:

- (1) para control,
- (2) para análisis,
- (3) como gráficos,
- (4) para ajuste,
- (5) para inspección.

Aunque los gráficos de control pueden utilizarse con todos los fines anteriores, su *papel esencial* sigue siendo el de control de proceso, seguido por el análisis de proceso. El análisis también puede ser considerado como una etapa

preparatoria en la cual se preparan los gráficos de control útiles para el control del proceso. El análisis de proceso se explica en el Capítulo 4.

La tercera de estas aplicaciones, *el uso de los gráficos de control como gráficos*, quiere decir que los datos se representan en forma de gráfico de control pero que no se utilizan como tal. Aunque se representen los límites de control, estos gráficos sólo se ojean, incluso cuando algunos puntos caen fuera de los límites; no se buscan las causas de las anomalías y no se entra en ningún tipo de acción. Tales gráficos se dibujan mecánicamente según las instrucciones de los superiores, y muchos de los llamados gráficos de control preparados en las fábricas en las que el análisis y la normalización de los procesos son inadecuados son de este tipo. Son gráficos de control en su forma pero no en su fondo y deben llamarse sólo gráficos. Sin embargo, si los datos se dibujan en forma de gráfico de control, sí que indica las formas en que un proceso cambia a lo largo del tiempo y también puede tener un buen efecto motivador. Por tanto, no estoy diciendo que se deba abolir este tipo de gráficos. Si la presentación de los datos en forma de gráfico produce buenos resultados, deben utilizarse ampliamente; pero no quisiera que las personas cometieran la equivocación de creer que la preparación de esta clase de gráficos de control quiere decir que estén llevando a cabo el control de calidad u otros tipos de control. Además, inevitablemente aparece el aburrimiento cuando este tipo de gráficos ha sido utilizado durante algún tiempo y las personas empiezan a argumentar que los gráficos de control son inútiles. Por esta razón, se deben hacer esfuerzos, tan pronto como sea posible, para empezar a analizar y normalizar los procesos, revisar las características a representar en los gráficos de control, normalizar la autoridad, la responsabilidad y los métodos relacionados con la búsqueda de las causas asignables, y entrar en acción con fines de control, y utilizar realmente los gráficos para el control.

La cuarta aplicación, *el uso de los gráficos de control para el ajuste*, quiere decir, por ejemplo, cambiar la temperatura, el filo de una herramienta cortante, la composición de la materia prima u otra condición del proceso cuando un gráfico de control indique que un proceso está fuera de control, sin buscar necesariamente la causa de la anomalía o entrar en acción para eliminarla. Éste no es el uso apropiado del gráfico de control y se tiene que adoptar un enfoque totalmente diferente para considerar si los límites  $\pm 3$ -sigma son adecuados o no como límites de ajuste (no límites de control). De hecho, las más de las veces los límites  $\pm 3$ -sigma son inadecuados como límites de ajuste. Para distinguir este tipo de gráfico del gráfico de control, debe llamarse "*gráfico de ajuste*". Los límites de ajuste deben ser investigados y establecidos de la misma forma en que se pone en práctica el control automático, considerando factores tales como la variación aleatoria del proceso, el movimiento de la media del proceso, el intervalo de muestreo, el rango de los posibles ajustes y sus efectos, el tiempo de retroalimentación, etc.

La quinta aplicación, *el uso de los gráficos de control para la inspección*, quiere decir utilizarlos de varias maneras desde el punto de vista de la inspección: por ejemplo, cuando un gráfico indica que hay una anomalía en un lote, y el lote se trata de diferente manera o se somete a un cribado del cien por cien, o se cambian los métodos de inspección en sentido descendente del flujo productivo. Por supuesto, esta aplicación puede ser bastante útil con un poco de ingenio; por ejemplo, cuando se relaja mucho la inspección y se cambia a una inspección de verificación, los resultados pueden ser anotados en un gráfico de control y se puede hacer más estricta la inspección si el gráfico indica el estado fuera de control. Sin embargo, las decisiones sobre la disposición de un lote -e.g., si hay que someterlo a un cribado del cien por cien- no se debe basar en los límites de control sino en criterios de decisión para la inspección por muestreo con cribado. Este uso de los gráficos de control desde el punto de vista de la inspección es especialmente predominante en las fábricas orientadas a la inspección que practican el control de calidad anticuado, de las cuales hay muchas en las industrias pesadas eléctricas y de maquinarias, y les recomiendo que se sientan en la obligación de revisar esta práctica. Este uso de los gráficos de control para la inspección no se puede recomendar normalmente, excepto cuando haya sido investigado detenidamente. Sin embargo, los gráficos de control son utilísimos para controlar las operaciones de inspección o los procesos de inspección, y me gustaría ver que se utilizaran ampliamente de esta forma.

### 3.9.2 Uso de los gráficos de control para el análisis

Los gráficos de control para el análisis pueden ser considerados bajo los dos encabezamientos siguientes:

- (1) Los utilizados en el análisis para descubrir y eliminar las causas de la variación.
- (2) Los utilizados en el análisis para estimar las capacidades de los procesos en la preparación del control de esos en el futuro.

El primer tipo de uso se explica en las subsecciones 1-3 más adelante; el segundo se trata en la subsección 4.

El primero consiste principalmente en gráficos preparados con el fin de descubrir y eliminar las causas de variación ideando diversas maneras de hacer los subgrupos, estratificarlos y modificar los datos, y comprobar si un proceso está fuera de control.

#### (1) Hacer los subgrupos

Un método importantísimo para descubrir las causas de variación es probar varias formas de hacer los subgrupos. El subagrupamiento está íntimamente

relacionado con el muestreo; permite el descubrimiento de muchas causas, y la habilidad o la falta de habilidad con que se haga rige la utilidad de los gráficos de control utilizados para controlar los procesos. Algunas cuestiones a considerar cuando se hacen los subgrupos son las siguientes:

- (a) Cuando se consideran los gráficos de control, se deben utilizar diagramas de causa y efecto u otros métodos para trazar unas distinciones técnicas claras entre los tipos de factores que afectan a la variación dentro de un subgrupo y los que afectan a la variación entre los subgrupos. Por ejemplo, cuando  $\bar{x}$  se descontrola, usualmente se debe a una causa de variación entre los subgrupos, pero cuando  $R$  se descontrola, usualmente se debe a una causa de variación dentro de un subgrupo.
- (b) Se deben recoger en el mismo subgrupo los datos sobre productos hechos bajo condiciones similares, de forma que los datos dentro de cada subgrupo sean todo lo uniformes posible y tengamos una variación todo lo pequeña posible. Dicho de otro modo, esto quiere decir que los datos deben estar agrupados de forma que la variación entre los subgrupos sea lo más grande posible. Esto es especialmente importante en el análisis de procesos.
- (c) También se deben probar varios métodos de muestreo con objeto de satisfacer el requisito anterior.
- (d) Debemos aclarar el propósito del gráfico de control -i.e., la clase de variación que queremos descubrir o controlar- y agrupar los datos de tal modo que se excluya, en la medida de lo posible, esa clase particular de variación dentro de los subgrupos.
- (e) Las causas posibles de variación deben ser examinadas desde el punto de vista técnico, se deben probar varios métodos de subagrupamiento, y se debe comparar el estado de control y el valor de  $R$ , y otros estadísticos.

De las consideraciones anteriores se deducen los mejores métodos de muestreo y de subagrupamiento para el control de proceso. Los subgrupos que se forman inteligentemente de este modo se llaman "*subgrupos racionales*".

## (2) Estratificación

Cuando una fábrica tiene varias máquinas, a menudo cada máquina tiene sus propias características e idiosincrasia. En tales casos es mejor preparar un gráfico de control por separado para cada máquina. Igualmente, es mejor segregar los datos y preparar gráficos de control por separado para las materias primas de diferentes tipos u orígenes, para diferentes materias auxiliares, temporadas, meses, clima, condiciones de trabajo, personal, turnos, volúmenes de trabajo y otros factores que se piense que puedan influir en el proceso de manera individual y que causen variación. También se deben dibujar gráficos de control por separado para diferentes tipos y condiciones de unidades defectuo-

sas, defectos, paradas, etc. Esta división de los datos en diferentes estratos se llama "estratificación".

Esta preparación de varios gráficos de control para varias causas (principalmente causas de tipo atributos) que se considere por razones de ingeniería que ejercen unos efectos particularmente significativos es utilísima para el análisis. Se puede decir que el éxito de los gráficos de control para el análisis y el control depende de la estratificación. En la mayoría de los mejores ejemplos de análisis y control, el flujo del proceso está bien estratificado desde la materia prima hasta el producto final, y se recogen y analizan una variedad de datos, y los gráficos de control se utilizan inteligentemente.

De este modo, se representan y estratifican los gráficos de control y por medio de éstos se comparan los estados de control y las medias de los procesos ( $\bar{x}$ ,  $\bar{R}$ ,  $\bar{p}$ ,  $\bar{c}$ , etc.) antes y después de la estratificación y entre diferentes estratos. Cuando se hace esto, se deben observar los siguientes puntos:

- (a) Cuando se hace la estratificación, es mejor mantener el tamaño de los subgrupos todo lo iguales que sea posible.
- (b) En el gráfico  $R$ , disminuye el valor de  $\bar{R}/d_2$  si se realiza una estratificación inteligente. Si  $\bar{R}/d_2$  disminuye, indica que el método de estratificación ha sido eficaz y, a menudo, hay algunas diferencias entre los diferentes estratos. Igualmente, si el subagrupamiento es racional, la estratificación a menudo pone de manifiesto diferencias en los valores de  $\bar{R}/d_2$  de los diferentes estratos. Como regla empírica muy aproximada, si los valores promedios de  $R$  de dos estratos diferentes,  $A$  y  $B$ , son  $\bar{R}_A$  y  $\bar{R}_B$  y si  $\bar{R}_A$  o  $\bar{R}_B$  difiere en un veinte por cien o más de la media global de  $R$  ( $\bar{R}$ ), podremos decir que los dos estratos tienen decididamente distribuciones diferentes. Tenga la amabilidad de ver un método detallado en la sección 3A.4.
- (c) En general, si la estratificación mejora el estado de control en los gráficos de control, usualmente ese método de estratificación es significativo y hay alguna diferencia entre los diferentes estratos.
- (d) Si hay diferencias entre las medias de diferentes estratos, habrá diferencias entre los valores de  $\bar{x}$  después de la estratificación. A menudo la existencia de diferencias entre los valores de  $\bar{x}$  se puede concluir intuitivamente, pero en los casos dudosos se puede utilizar el método descrito en la sección 3A.4 para realizar una prueba estadística.
- (e) Si se saca la conclusión de que hay una diferencia concreta entre  $\bar{R}$  o  $\bar{x}$  para diferentes estratos, se debe trazar la causa, se ha de entrar en acción necesariamente para eliminar la diferencia y se tienen que revisar las normas. Después de haber concluido alguna acción, siempre se tienen que

representar y examinar nuevos gráficos de control estratificados con objeto de comprobar los efectos.

- (f) Cuando no hay manera de eliminar las causas de las diferencias entre los diferentes estratos, o si las causas caen fuera del ámbito de la responsabilidad del control del proceso, se deben modificar los datos para eliminar estas diferencias solamente. Entonces deben prepararse nuevos gráficos de control con los datos modificados, y se puede continuar la investigación. Sin embargo, desde el punto de vista de la empresa como un todo, la responsabilidad de eliminar estas causas cae en algún lugar de dentro de la organización.

### **(3) Algunas cuestiones generales relativas al análisis cuando se usan gráficos de control**

Algunas cuestiones generales a observar cuando se realiza el análisis utilizando los gráficos de control, son las siguientes:

- (a) En el análisis de un proceso, particularmente con el gráfico  $\bar{x}$ - $R$ , uno tiene que prestar mucha atención al subgrupamiento y al estado de control en los gráficos de control, y al comportamiento de  $R$  después de la estratificación. Es aconsejable empezar por tratar de hacer que  $\bar{R}$  sea lo más pequeño posible y conseguir que  $R$  esté en el estado controlado.
- (b) El análisis que hace uso de los gráficos de control estratificados se utiliza principalmente para investigar la presencia o ausencia de causas del tipo de los atributos, comprobar su gravedad y decidir la acción necesaria para hacerles frente.
- (c) En el análisis del proceso, a menudo el procedimiento más eficaz es idear diversos métodos de subagrupamiento racional y estratificación, y probarlos en la realidad. Las causas que se piense, por razones técnicas, que ejercen efectos significativos deben, por tanto, analizarse de una en una, empezando por la que se considere que ejerce el efecto mayor. Luego, si hay alguna diferencia entre los diferentes estratos, se adoptan medidas para eliminarlas o se corrigen los datos para eliminar esta diferencia solamente, y se analiza la causa siguiente.
- (d) En el mundo de la variación,  $R$  (el recorrido) es la base de la variación del proceso. En muchos casos, si es posible ajustar el valor de  $\bar{R}$  libremente, resulta posible de manera natural establecer el valor deseado para  $\bar{x}$ . Así pues, en muchas áreas de control de procesos así como, por supuesto, de análisis de procesos, nuestro objetivo es "acabar con  $R$ ".

Para controlar  $R$ , será útil lo siguiente:

- i) Cambiar el método de subagrupamiento.
- ii) Estratificar.

iii) Reducir la variación del muestreo (de materiales a granel) y de las medidas.

iv) Poner en práctica el análisis y el control minucioso del proceso.

v) Si  $R$  no se reduce a pesar de las acciones anteriores, deben llevarse a cabo experimentos *in situ* que hagan uso de los métodos de diseño de experimentos, y se deben revisar las normas, reconstruir el equipo, y realizar otras mejoras técnicas básicas. Cuando se haya hecho esto, es mejor comparar la varianza del error en el análisis de la varianza con la raíz cuadrada de  $\bar{R} / d_2$ .

Las causas de que  $R$  tenga un valor elevado se encuentran, generalmente, muy a mano, en operaciones de rutina que se terminan en poco tiempo, y los operarios deben buscarlas diligentemente en sus entornos inmediatos.

- (e) Si  $R$  disminuye cuando se prueba un método diferente de subagrupamiento o se realiza la estratificación, esto indica generalmente que el subagrupamiento o la estratificación ha sido eficaz. Cuando sucede esto, se tiene que investigar la causa de la variación entre los subgrupos.
- (f) Las consideraciones anteriores son más o menos las mismas para el gráfico  $p$ , el gráfico  $c$  y otros tipos de gráficos de control, pero se deben observar las siguientes cuestiones más:
  - (i) Se debe prestar atención a los puntos fuera de control que estén en el lado bueno igual que, por supuesto, a los puntos fuera de control que estén en el lado malo. Un proceso se saldrá de control por el lado bueno cuando el proceso mejore realmente, las normas de inspección se relajen y/o las muestras no se tomen al azar y se estén seleccionando preferentemente las muestras buenas, etc. Cualquiera que sea la razón, también tenemos que trazar las causas de la falta de control que esté en el lado bueno y utilizar la información obtenida para acometer las acciones adecuadas.
  - (ii) Cuando el método de subagrupamiento es deficiente y los subgrupos son demasiado grandes, a veces caen fuera de los límites de control muchos puntos. En este caso, se pueden obtener más informaciones al segregar más los datos, estratificarlos de varias maneras y dividirlos en subgrupos más pequeños, o al dibujar gráficos de control estratificados.

#### **(4) Procedimiento para el análisis en la preparación del control del proceso**

Esta sección explica el procedimiento para analizar un proceso y prepararse para pasar al control del proceso (explicado en la próxima sección 3.9.3). La explicación se centra en el gráfico  $\bar{x} - R$  más importante, pero sustancial-

mente sirven las mismas consideraciones para los demás tipos de gráficos de control.

- (a) Decidir las características que se han de representar en los gráficos de control.

Como se explicó anteriormente, tenemos que decidir qué resultados de nuestro rango de responsabilidad del control debemos utilizar como medio para comprobar el proceso. Cuando se controla la calidad de un producto que tiene un número elevado de características de calidad, por ejemplo, tenemos que decidir qué característica es importante y debe comprobarse. Cuando hay muchas características importantes de calidad, se pueden seleccionar todas ellas. También tenemos que considerar la característica importante de calidad exigida por el cliente (i.e., por el proceso siguiente). Debemos utilizar los resultados del análisis para seleccionar varias características a representar en los gráficos de control, con objeto de controlar el proceso en el futuro.

Al hacer esto, muchas personas adoptan el enfoque convencional de ingeniería, y representan gráficos de control para las causas. Esto es una equivocación y la mayoría de tales gráficos no serán más que simples gráficos. Aún así, pueden ser eficaces como tales. A veces se pueden dibujar gráficos de control de las causas también para el análisis, pero éste no es su principal fin.

- (b) Decidir qué gráficos de control utilizar

Una vez se hayan decidido las características de control, debemos considerar su naturaleza y decidir qué gráficos de control ( $\bar{x} - R$ ,  $pn$ ,  $c$ ,  $u$ , etc.) utilizar.

- (c) Recoger los datos.

En las fábricas a menudo es suficiente con recoger los datos del pasado, pero tiene que estar claro la historia de tales datos. Si no se conoce completamente la historia de los datos del pasado, se tiene que elegir un programa de muestreo estratificado tal como el muestreo por lotes, según cuál sea nuestro objetivo en el control del proceso, y se tienen que recoger datos nuevos. Sin embargo, incluso el análisis de datos con una historia desconocida puede ser útil, de un modo u otro. Si es posible, se deben recoger por lo menos cien valores.

- (d) Analizar los datos del pasado por medio de los gráficos de control.

Esto debe hacerse como se describió en las subsecciones 1-3 anteriores.

- (e) Representar gráficos de control en la preparación del control del proceso.

El cómo representar un gráfico de control tiene que ser decidido de acuerdo con la información obtenida en el paso 4, y se tiene que prestar la debida atención al propósito del control del proceso; luego se representa el gráfico. Si el gráfico indica un estado de control aproximado (ver la sub-



sección 5 de la sección 3.8), se puede utilizar para calcular los límites de control del gráfico a utilizar para controlar el proceso en el futuro. Si no indica un estado de control, se deben probar varios métodos para obtener un gráfico que esté todo lo cerca posible del estado controlado y también que sea fácil de usar. Se deben preparar las normas internas de trabajo que estén diseñadas para llevar al proceso a este estado, y deben comunicarse claramente a los subordinados. Sin embargo, hasta los gráficos de control que no indiquen un estado controlado se pueden utilizar al proyectar los límites de control del futuro, representar los datos y descubrir y eliminar las causas cuando cualquiera de los puntos cae fuera de los límites de control.

Cuando se preparan de nuevo o revisan las normas, se deben tomar unos veinte subgrupos de los datos resultantes de tales normas, y representarlos en un gráfico de control. Luego se debe examinar el gráfico y calcular a partir de él los límites de control para el control del proceso. Cuando esto esté hecho, debemos tener, por lo menos, cien valores o veinte grupos de datos. Cuantos más datos tengamos, más precisa será nuestra estimación del proceso (i.e., de las líneas de control). Sin embargo, debemos calcular límites de prueba aunque sólo tengamos unos pocos datos, y volver a calcularlos luego, una vez se hayan acumulado más datos,

- (f) Comparar con las especificaciones y las metas (ver la sección 2.4).

Si las especificaciones del producto y las metas han sido establecidas sobre una base racional (aunque de momento sea algo raro), debemos utilizar los histogramas o gráficos de control para comprobar si el estado de control (i.e., la capacidad del proceso) obtenido en el quinto paso satisface estos estándares y metas. Cuando los estándares y metas no han sido establecidos sobre una base racional, tienen que decidirse luego, después de discutirlos con los clientes, el proceso siguiente y la alta dirección.

### 3.9.3 Uso de los gráficos de control para el control

Después del análisis pasamos al control. El procedimiento es como sigue:

#### (1) Preparar los gráficos de control para el control

Cuando hayamos terminado de analizar los datos, se representan en el gráfico de control las líneas de control calculadas en el análisis por medio de líneas de puntos y guiones (• — • — •—), para preparar el control del proceso en el futuro.

## **(2) Recoger los datos diariamente y representarlos en los gráficos de control**

Para asegurarse de que el trabajo se lleva a cabo según los métodos acordados, uno tiene que tomar muestras y realizar medidas, calcular  $\bar{x}$ ,  $R$  u otros estadísticos para cada subgrupo, y representarlos en los gráficos de control. Se deben trazar las líneas de control antes que los datos. Se deben tomar decisiones por adelantado en cuanto a quién va a hacer el muestreo y realizar las medidas, quién va a informar a quién y de qué forma, quién va a representar los puntos, y quién va a utilizar los gráficos.

## **(3) Decidir si el proceso está controlado (ver la sección 3.8)**

Si los puntos representados caen entre los límites de control, el proceso está controlado. Si algunos caen fuera de los límites es que en el proceso ha tenido lugar alguna causa asignable y la característica que es resultado del proceso está, por tanto, mostrando una variación grande.

Si unos puntos de un gráfico de control  $R$  caen fuera de los límites, es que en el proceso ha tenido lugar algún tipo de cambio que ha aumentado la dispersión de la distribución del producto. Si unos puntos de un gráfico de control  $\bar{x}$  caen fuera de los límites, esto indica principalmente que en el proceso ha tenido lugar algún tipo de cambio que altera la media del mismo. Sin embargo, los puntos del gráfico  $\bar{x}$  también caerán a veces fuera de los límites cuando aumenta la variación.

Si unos puntos de un gráfico  $p$  caen fuera del límite de control superior, es que en el proceso ha tenido lugar una causa asignable que da lugar a la aparición de muchas unidades defectuosas. Si los puntos caen debajo del límite de control inferior, es que o bien ha tenido lugar una causa asignable que reduce el número de unidades defectuosas o la inspección se ha relajado. Debe recordarse que, en general, cuando los puntos caen fuera de los límites de control, es que normalmente hay algo mal en el muestreo, las medidas o la inspección.

Normalmente, en el control de un proceso consideramos que está presente una causa asignable sólo cuando unos puntos caen fuera de los límites de control. Sin embargo, según la situación, también se puede utilizar la interpretación de las rachas. Se deben establecer para cada tipo de gráfico de control las normas de enjuiciamiento para decidir si está presente una causa asignable, y se debe decidir de antemano quién va a mirar los gráficos de control y cómo se deben hacer circular cuando sea necesario.

## **(4) Trazar las causas**

Cuando se considera que un proceso está fuera de control, la persona responsable de controlar el proceso tiene que trazar inmediatamente la causa. El

trazado de las causas requiere diversos conocimientos técnicos y métodos estadísticos, y la información dada por los gráficos de control sirve de ayuda para ello. Se debe realizar un análisis cuidadoso, y se debe formular en forma de norma el procedimiento para trazar las causas de anomalías.

### **(5) Entrar en acción**

El mero hecho de trazar una causa y sacarla a la luz no es control. Si la causa de una anomalía está clara, se debe actuar de la siguiente forma:

- (a) Eliminar inmediatamente la causa y volver a llevar el proceso al estado estable.
- (b) Al mismo tiempo, actuar de forma radical para evitar que en el futuro vuelvan a aparecer anomalías debidas a la misma clase de causa. Si se pasa esto por alto, surgirá otra vez una variación anómala en el proceso debida a la misma causa. Si, por ejemplo, la causa es la falta de cuidado por parte de los trabajadores, se debe educar o idear calibres y herramientas a prueba de fallos. Si las normas de trabajo son inadecuadas, deben revisarse. Se debe actuar de forma cuidadosa y meticulosa. El *quid* de la puesta en práctica del control es ver que *se actúe de forma fiable para evitar que vuelva a repetirse el problema* (ver la sección 1.5 y la Figura 1.14).
- (c) Para cada gráfico de control, decidir de antemano cuestiones tales como el procedimiento para entrar en acción (i.e., para eliminar las causas de las anomalías), qué acción se debe realizar según el juicio de quién (i.e., autoridad), hasta dónde debe llegar dicha acción, el método para informar a los superiores, y los impresos (impresos para informes de anomalías) que se han de utilizar. La acción que deban realizar los jefes de grupo, encargados, supervisores, directores de sección, etc., se decide basándose en estos informes.

### **(6) Comprobar los resultados de las acciones**

Aun cuando se haya actuado para eliminar lo que se piensa que es una causa asignable y se hayan llevado a efecto acciones para prevenir la reaparición de problemas, tales como la revisión de las normas internas, uno tiene que volver a hacer comprobaciones para ver si la acción realizada fue correcta y examinar sus efectos.

Generalmente, no se puede considerar que entrar en acción y no hacer nada más sea control. Uno de los principios del control es comprobar siempre los resultados de las acciones realizadas.

### **(7) Volver a calcular las líneas de control**

Un proceso se controla representando las líneas de control y los datos en un gráfico de control, pero debemos tener presente que es necesario volver a

calcular las líneas de control de vez en cuando para asegurarnos de que coinciden con el estado actual del proceso. Se deben volver a calcular las líneas de control en los siguientes casos:

- (a) Cuando el proceso ha cambiado obviamente por razones técnicas.
- (b) Cuando ha pasado cierto periodo de tiempo desde que se inició el control, aun cuando no haya habido ningún cambio en el proceso (e.g., todos los meses, después de cada cien medidas, etc.).
- (c) Cuando se considere por el gráfico de control que el proceso ha cambiado obviamente.

Es erróneo utilizar los gráficos de control simplemente como gráficos, sin volver a calcular las líneas de control durante tres meses o medio año aun cuando el proceso haya cambiado considerablemente, y no hacer más que mirar al gráfico sin entrar en acción aunque los puntos caigan fuera de los límites o formen rachas largas. El intervalo en el que se debe volver a hacer este cálculo, el método para hacerlo, y la decisión en cuanto a cuándo hacerlo debe ser especificado en las normas para el uso de los gráficos de control. Si esto no se hace con fiabilidad, los gráficos perderán su utilidad.

Cuando se vuelven a calcular las líneas de control, los puntos que caen fuera de los límites deben tratarse de la manera siguiente:

- (i) Cuando se vuelven a calcular las líneas de control deben omitirse los datos individuales o subgrupos que producen puntos que caen fuera de los límites, pero para los cuales se conocen las causas y respecto a las cuales se puede actuar.
- (ii) Los puntos que representan datos para los cuales las causas son desconocidas, o respecto a las cuales no se puede actuar deben ser incluidos en el nuevo cálculo.

## **(8) Formular las normas de control**

Las normas de control están explicadas con detalle en el Capítulo 5; aquí, como se mencionó más arriba, tenemos que reiterar que tienen que ser formuladas para cada tipo de gráfico de control y tienen que indicar quién es responsable del control y cómo debe realizarse. Sin tales normas no se pueden utilizar bien los gráficos de control y no se puede poner en práctica eficazmente el control. En todo caso, los gráficos de control deben ser vistos y utilizados por los que ocupan cargos de responsabilidad.

El gráfico de control es una herramienta útil para los líderes de todos los departamentos, no sólo para el control de calidad sino para todos los demás tipos de control.

### 3A.1 El gráfico de control de la mediana ( $\tilde{x}$ ) y el recorrido

#### (1) Dibujar el gráfico de control de la mediana

La mediana de un conjunto de datos, expresada por el símbolo  $\tilde{x}$ , es el valor central cuando los datos se disponen en orden de magnitud, de mayor a menor. Cuando hay un número par de valores, la mediana es la media de los dos valores centrales. El gráfico  $\tilde{x}$ - $R$  se utiliza casi del mismo modo que el gráfico de control normal  $\bar{x}$ - $R$ , y los límites de control del gráfico  $\tilde{x}$  se calculan normalmente con la fórmula 3A.1 o 3A.2 siguientes:

$$\tilde{\bar{x}} + m_3 A_2 \bar{R} \quad (3A.1)$$

$$\tilde{\bar{x}} - m_3 A_2 \bar{R} \quad (3A.2)$$

en las que  $\tilde{\bar{x}}$  es la media de las medianas,  $m_3 A_2$  es un coeficiente para calcular los límites de control de la mediana a partir de  $\bar{R}$ . Su valor depende de  $n$  y está dado en la Tabla 3 A. 1.

Ejemplo: para  $n = 5$ ,  $\tilde{x} = 120,020$  y  $\bar{R} = 2,292$

$$m_3 A_2 = 0,691$$

$$m_3 A_2 \bar{R} = 0,691 \times 2,292 = 1,584$$

Así pues,

$$LCS = 120,020 + 1,584 = 121,60$$

$$LCI = 120,020 - 1,584 = 118,44$$

#### (2) Cuando se utiliza la mediana de $R$ ( $\tilde{R}$ )

Hasta el momento hemos estado explicando los métodos para estimar la variación que utilizan  $\bar{R}$ , pero los valores de  $R$  también se pueden disponer en orden de magnitud y estimar la variación y calcular los límites de control utilizando la mediana de estos valores ( $\tilde{R}$ ) como sigue:

$$\text{Para } \tilde{\tilde{x}} : \tilde{\tilde{x}} \pm m_3 A_3 \tilde{R} \quad (3A.3)$$

$$\text{Para } \tilde{\bar{x}} : \tilde{\bar{x}} \pm A_3 \tilde{R} \quad (3A.4)$$

$$\text{Para } R : LCS = D_6 \tilde{R} \quad (3A.5)$$

$$LCI = D_5 \tilde{R} \quad (3A.6)$$

donde  $\tilde{\tilde{x}}$  es la mediana de  $\tilde{x}$ ;  $\tilde{\bar{x}}$  es la mediana de  $\bar{x}$ ; y  $m_3 A_3$ ,  $D_6$ , y  $D_5$  son coeficientes para calcular los límites de control utilizando  $\tilde{R}$ . Sus valores dependen de  $n$  y están dados en la Tabla 3 A. 1.

Debe observarse que  $\tilde{\tilde{x}}$ ,  $\tilde{\bar{x}}$  y  $\tilde{R}$  son estimadores menos precisos de la población que  $\bar{x}$ ,  $\bar{x}$  y  $\bar{R}$  respectivamente, en el estado controlado, pero este efecto es

**Tabla 3A.1: Coeficientes para los gráficos de control  $\tilde{x} - R$**

| Tamaño de los subgrupos $n$ | $\tilde{x}$ |           | Cuando se utiliza $\tilde{R}$ |       |             |       |       |       |
|-----------------------------|-------------|-----------|-------------------------------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|                             | $m_3$       | $m_3 A_2$ | $\tilde{x}$                   | $x$   | $\tilde{x}$ | $R$   |       |       |
|                             |             |           | $A_3$                         | $E_3$ | $m_3 A_3$   | $d_m$ | $D_5$ | $D_6$ |
| 2                           | 1,000       | 1,880     | 2,224                         | 3,14  | 2,224       | 0,954 | -     | 3,864 |
| 3                           | 1,160       | 1,187     | 1,091                         | 1,89  | 1,265       | 1,588 | -     | 2,744 |
| 4                           | 1,092       | 0,796     | 9,758                         | 1,52  | 0,828       | 1,978 | -     | 2,375 |
| 5                           | 1,198       | 0,691     | 0,594                         | 1,33  | 0,712       | 2,257 | -     | 2,179 |
| 6                           | 1,135       | 0,549     | 0,495                         | 1,21  | 0,562       | 2,472 | -     | 0,255 |
| 7                           | 1,214       | 0,509     | 0,429                         | 1,13  | 0,520       | 2,645 | 0,078 | 1,967 |
| 8                           | 1,160       | 0,432     | 0,380                         | 1,07  | 0,441       | 2,791 | 0,139 | 1,902 |
| 9                           | 1,223       | 0,412     | 0,343                         | 1,03  | 0,419       | 2,916 | 0,187 | 1,850 |
| 10                          | 1,177       | 0,363     | 0,314                         | 0,99  | 0,369       | 3,024 | 0,227 | 1,808 |

pequeño en el estado fuera de control, y a menudo mejora en este caso la precisión de la estimación.

Cuando se estima la desviación estándar de la población a partir de  $\tilde{R}$ ,

$$\hat{\sigma} = \tilde{R} / d_m \tag{3A.7}$$

donde  $d_m$  es un coeficiente utilizado para estimar  $\sigma$  a partir de  $\tilde{R}$ , Su valor depende de  $n$  y está dado en la Tabla 3 A. 1.

**(3) Uso del gráfico de control  $\tilde{x} - R$**

- (a) El gráfico  $\tilde{x} - R$  se interpreta y utiliza exactamente del mismo modo que el gráfico  $\bar{x} - R$ .
- (b) Puesto que no hay que hacer ningún cálculo para encontrar  $\tilde{x}$ , los gráficos de control  $\tilde{x} - R$  son útiles cuando se hace que los encargados y los operarios corrientes los representen en planta. Cuando se hace esto, es mejor hacer que  $n$  sea un número impar.
- (c) También es una buena idea hacer que las personas representen los datos directamente sobre el gráfico de control, como en la Figura 3A.1, y hacer que calculen las medianas sobre el gráfico tal como se indica.
- (d) Puesto que los valores individuales se representan una vez hecho esto, los límites de control para  $x$ , explicados en la sección 3A.2, se pueden utilizar al mismo tiempo (ver las Figuras 3A.1 y 3A.2).

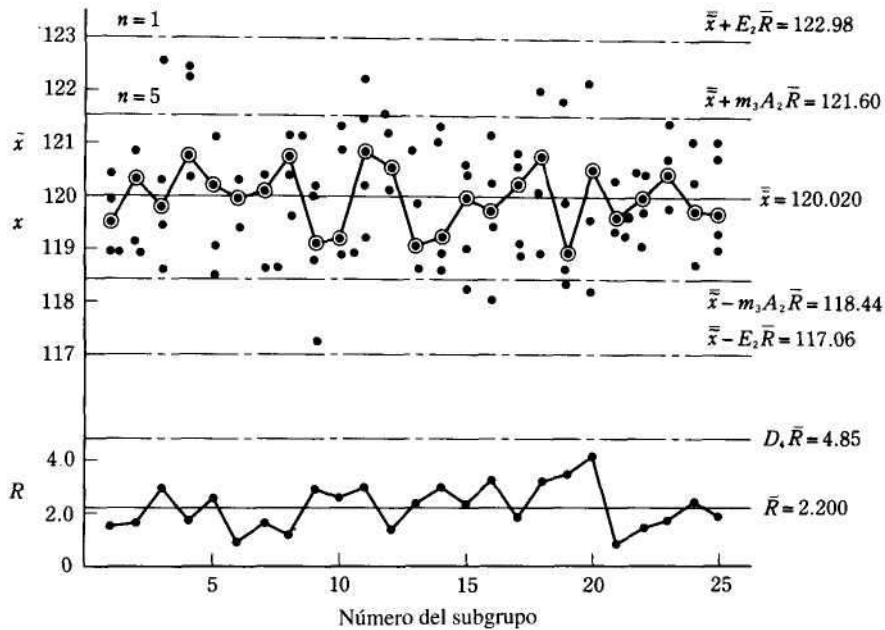


Figura 3A.1: Gráfico de control  $\bar{x} - R$

## 3A.2 Gráficos de control para puntos de datos individuales

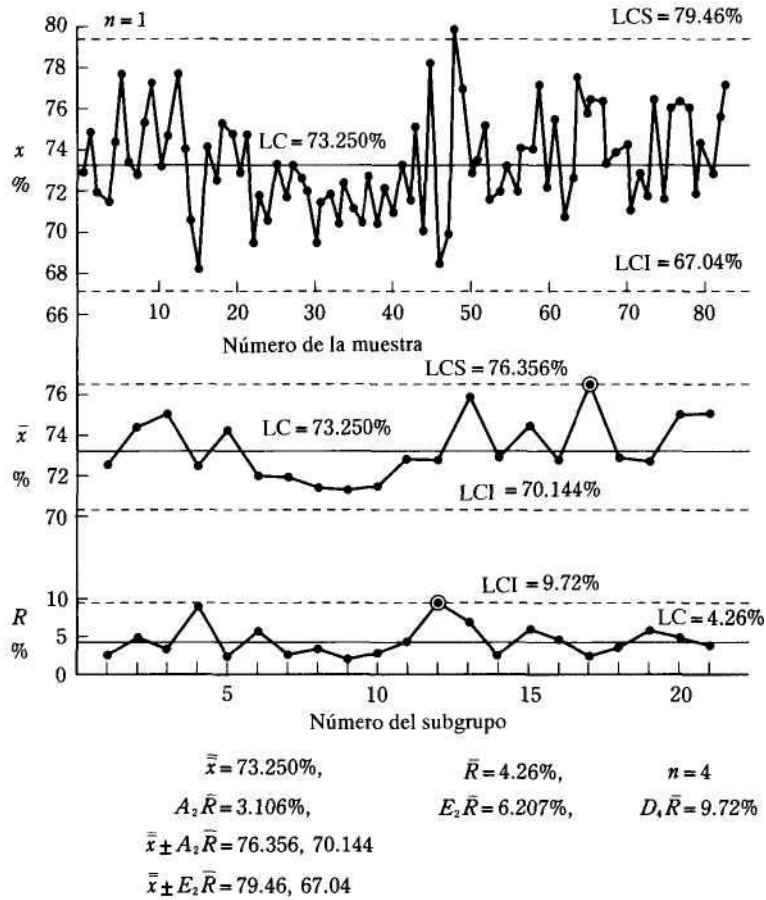
### 3A.2.1 Preparación del gráfico de control $x$

Un gráfico de control sobre el que se representan medidas individuales ( $x$ ) se llama "gráfico de control para medidas individuales" o "gráfico de control JC". Generalmente se utiliza conjuntamente con un gráfico de control del recorrido móvil ( $R_s$ ) o un gráfico de control  $\bar{x} - R$ .

El problema de la preparación de este tipo de gráficos de control es calcular los límites de control. Por lo demás, es exactamente igual que el tipo normal de gráfico de control.

#### (1) Método del subagrupamiento de los datos (ver la Figura 3A.2)

En este método para calcular los límites de control, se realiza un subagrupamiento racional del mismo modo que para el gráfico de control normal  $\bar{x} - R$ . Luego se busca  $\bar{x}$ ,  $\bar{R}$ ,  $\bar{\bar{x}}$  y  $\bar{\bar{R}}$ , y se calculan los límites de control con la fórmula



**Figura 3A.2: Gráfico de control  $\bar{x}$ - $R$ - $x$**

la fórmula dada más abajo. Este método es conveniente en la mayoría de los casos. Cuando el tamaño de los subgrupos es constante, los límites de control de  $x$  están dados por:

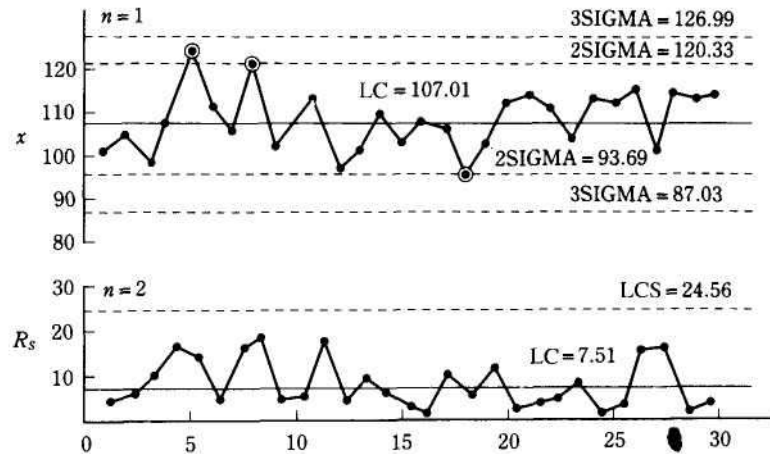
$$\bar{\bar{x}} \pm 3\bar{R}/d_2 = \bar{\bar{x}} \pm E_2\bar{R} \tag{3A.8}$$

donde el valor de  $E_2$  está determinado por el tamaño de los subgrupos  $n$ , y viene dado en la Tabla 3A.2.



Tabla 3A.2: Valores de  $E_2$ 

| Tamaño del subgrupo $n$ | $E_2$ |
|-------------------------|-------|
| 2                       | 2.660 |
| 3                       | 1.772 |
| 4                       | 1.457 |
| 5                       | 1.290 |
| 6                       | 1.184 |
| 7                       | 1.109 |
| 8                       | 1.054 |
| 9                       | 1.010 |
| 10                      | 0.975 |

Figura 3A.3: Gráfico de control  $x - R_s$ .

## (2) Método que utiliza el recorrido móvil ( $R_s$ ) (ver la Figura 3A.3)

Si, por ejemplo, las medidas son 18,3, 19,1, 18,5, 18,8, 19,3, ..., el recorrido móvil para  $n = 2$  está dado por  $R_s = 19,1 - 18,3 = 0,8$ ;  $19,1 - 18,5 = 0,6$ ;  $18,8 - 18,5 = 0,3$ ;...

Con el gráfico  $x - R_s$ , los límites de control del gráfico  $x$  se calculan normalmente con la fórmula siguiente, y se utiliza el recorrido móvil para subgrupos de tamaño  $n = 2$  como antes:

$$\bar{x} \pm 3 \frac{\bar{R}_s}{d_2} = \bar{x} \pm A_2 \sqrt{n} \bar{R}_s = \bar{x} \pm E_2 \bar{R}_s = \bar{x} \pm 2,66 \bar{R}_s \quad (3A.9)$$

donde normalmente  $d_2$  y  $A_2$  son los valores para  $n = 2$  y están dados como 1,128 y 1,880 respectivamente en la Tabla 3.3.

Los límites de control del gráfico de control  $R_s$  se calculan del mismo modo que los del gráfico de control  $R$  con  $n=2$ , i.e.:

$$LCS = D_4 \bar{R}_s = 3,267 \bar{R}_s$$

$$LCI = (\text{no aplicable})$$

Los valores de  $R_s$  se dibujan directamente debajo de los puntos medios entre puntos  $x$  contiguos.

El método para calcular los límites a partir del recorrido móvil se utiliza en las siguientes situaciones:

- (a) Cuando es imposible un subagrupamiento racional.
- (b) Cuando los datos sólo se pueden obtener a intervalos de tiempo larguísimo, e.g., una vez a la semana o al mes.
- (c) Cuando el proceso muestra una fluctuación grande.

### (3) Método que utiliza la desviación estándar obtenida en el histograma

Como este método no se considera bueno para nuestros propósitos, no se explica aquí.

### (4) Método que utiliza los errores de muestreo y de medida como referencia

Éste es un método especial utilizado a veces para controlar los materiales a granel, especialmente cuando los errores de muestreo y de medida son un problema. Por ejemplo, cuando se forma una muestra compuesta<sup>4</sup> al reunir  $n$  extracciones elementales de material en un proceso que consiste en una reacción de síntesis orgánica por lotes o en el procesado de materiales tales como el coque, el carbón, fertilizantes, etc., y la muestra se analiza una vez y se obtiene una medida ( $X$ ), los límites de control para la medida se calculan con la fórmula siguiente:

$$\bar{x} \pm 3 \hat{\sigma}_s \quad (3A.10)$$

donde  $\hat{\sigma}_s$  es la precisión del muestreo de la muestra compuesta. Por ejemplo, si la variación entre las extracciones elementales es  $\hat{\sigma}_i$ , y las  $n$  extracciones elementales se muestrean al azar, y si las precisiones de la reducción y el aná-

$$\hat{\sigma}_s = \sqrt{\sigma_i^2/n + \sigma_R^2 + \sigma_M^2} \quad (3A.11)$$

4

A la muestra compuesta se le llama también en ocasiones "muestra media". Norma UNE. 80-401-91 "Métodos de ensayos de cementos. MÉTODOS DE TOMA Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE CEMENTO" Apartado 3.7. (N. de los T.)

Para verificar si hacen falta experimentos preliminares y experimentos de verificación a lo largo de un periodo de tiempo considerable. Este método se utiliza cuando el error del muestreo es comparativamente grande y el proceso está relativamente bien controlado.

Es mejor observar que cuando los errores de muestreo y de medidas son grandes y es difícil reducirlos, o cuando no es técnica o económicamente factible realizar un número grande de medidas, el llamado "método del experimento de comprobación" puede ser útil en algunos casos. Este método consiste en tomar dos muestras al azar por cada extracción elemental  $n$ , medirlas por separado y utilizar cada par de medidas como si fuera un subgrupo para representar un gráfico de control  $\bar{x} - R$  de  $n = 2$ . Sin embargo, en el caso en que el gráfico  $\bar{x}$  indique el estado controlado, generalmente el método del muestreo o de la medida es demasiado impreciso.

### 3A.2.2 El uso del gráfico de control $\bar{x}$

#### (1) Ventajas

- (a) Puesto que cada punto que corresponde a un dato se representa tan pronto como aparece, este tipo de gráfico permite la evaluación rápida del estado de un proceso y actuar con prontitud.
- (b) El gráfico muestra gráficamente cómo varía un proceso a lo largo del tiempo. Esto tiene un buen *efecto motivador*, aunque este gráfico no sea muy útil como gráfico de control.
- (c) Cuando en un proceso hay una fluctuación grande o una periodicidad, o cuando en la media del proceso surge un cambio grande y repentino, este tipo de gráfico indica claramente cómo sucede el cambio. La potencia de la prueba de hipótesis como gráfico de control también puede ser mejor en algunos casos.

#### (2) Desventajas

- (a) Es muy fácil cometer el error del tipo II. En otras palabras, la *potencia de la prueba es mala*. Esto es porque la capacidad del gráfico  $\bar{x}$  para detectar anomalías se deteriora generalmente al disminuir el tamaño de los subgrupos ( $n$ ).
- (b) La propiedad más importante del gráfico de control, *el subagrupamiento racional*, no está clara, y las variaciones dentro de un subgrupo y entre los subgrupos están confusas.
- (c) Puesto que no se toma la media, el patrón de los puntos está distorsionado cuando la distribución de la población no es una distribución normal, y se altera la probabilidad de cometer un error.

### (3) Método de uso

- (a) Cuando se calculan los límites de control (para estimar la variación de un proceso), se debe intentar primero el método del subagrupamiento racional. Si éste es imposible, los datos deben subagruparse en orden temporal y de algún modo significativo. Si esto es difícil o si el proceso muestra una fluctuación periódica grande, se debe utilizar el método del recorrido móvil. Según el proceso, se puede utilizar el método de los errores de muestreo y de medida para calcular la variación.
- (b) Siempre que sea posible, se debe utilizar el gráfico de control  $x$  junto con el  $\bar{x} - R$ . Cuando se hace esto, el gráfico ha de tener una anchura suficiente para que cada grupo de  $n$  puntos se representen por orden en el gráfico  $x$  para cada punto  $\bar{x}$  y  $R$ . Cuando no se pueda utilizar el gráfico  $\bar{x} - R$  conjuntamente, se debe utilizar el gráfico  $R_s$ .
- (c) Claro está que los límites  $\pm 3$ -sigma se utilizan para  $\bar{x}$  y  $R$  y, en principio, también deberían usarse para  $x$ . Puesto que la potencia de la prueba de hipótesis del gráfico de control  $x$  es mala, a veces se utilizan los límites  $\pm 2$ -sigma cuando los errores del tipo II constituyen un problema particular. Sin embargo, es erróneo utilizar los límites  $\pm 2$ -sigma simplemente porque los límites de control estén demasiado separados, sin considerar suficientemente los métodos para estimar la variación.
- (d) Si algunos puntos caen fuera de los límites en los gráficos de control  $\bar{x}$ ,  $R$  o  $x$ , se tiene que actuar para eliminar la causa de la anomalía.
- (e) En determinadas situaciones, se puede utilizar el gráfico de control  $x$  como si fuera un gráfico para indicar la periodicidad, las tendencias, las rachas, etc., pero se ha de tener cuidado en no cometer los errores del tipo I. Igualmente, se debe comprobar la forma de la distribución original por medio de histogramas, ya que el patrón de los puntos del gráfico  $x$  resultarán distorsionados si la distribución original está distorsionada.
- (f) Los gráficos de control  $x$  se pueden utilizar ampliamente como gráficos cuando se representan datos y en esta forma tienen un efecto motivador significativo, pero la alta dirección y el personal que está en los puestos de trabajo tienen que estar bien informados de *las diferencias entre los gráficos y los gráficos de control*.
- (g) Cuando se utilizan los gráficos de control, a menudo surgen los siguientes malentendidos:
  - (i) No se hace una distinción entre el ajuste y la eliminación de las causas de las anomalías.
  - (ii) Las personas creen, equivocadamente, que deberían actuar rápidamente frente a los resultados de las medidas anómalas en vez de dar prioridad a asegurarse de que las anomalías no vuelvan a repetirse en el futuro.

### 3A.3 La interpretación estadística de los gráficos de control

Si un proceso cambia, también cambia la distribución de cualquier característica que resulte de ese proceso. Este cambio en la distribución se manifiesta asimismo como un cambio en la media del proceso y de la variación (la variación dentro de los subgrupos). Consideremos cómo aparece realmente este cambio como secuencia de los puntos de un gráfico de control.

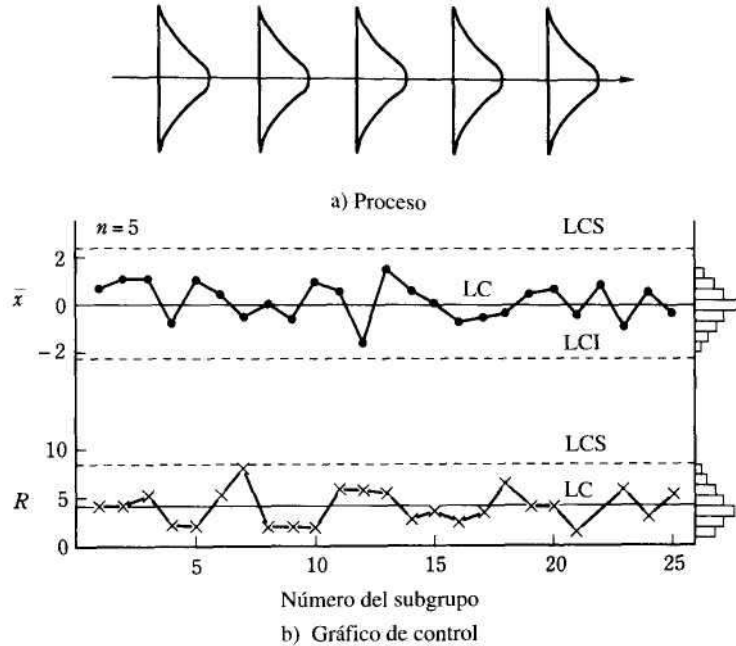
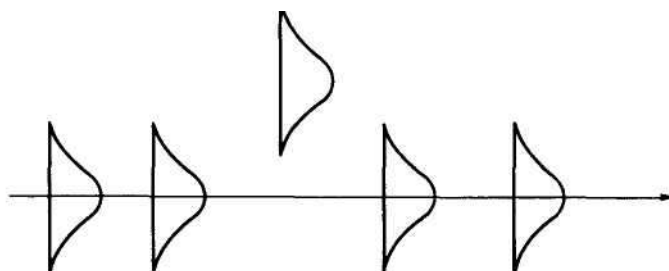


Figura 3A.4: Estado totalmente controlado

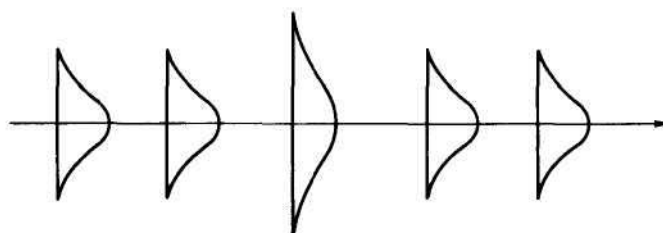
#### (1) El estado totalmente controlado

Cuando no cambia ni la media del proceso ni la variación del mismo (la variación dentro de los subgrupos) (ver la Figura 3A.4):

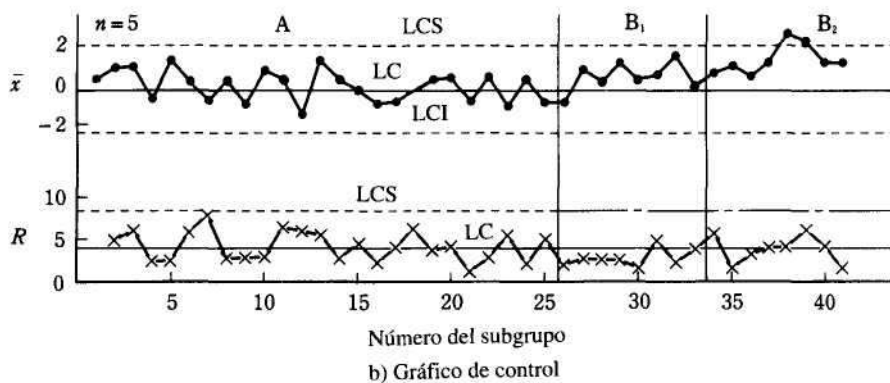
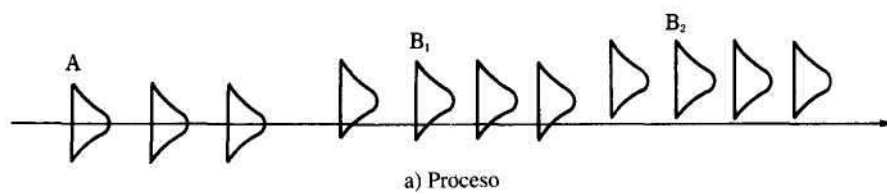
- Los puntos están repartidos al azar entre los límites de control. Obsérvese que esto no quiere decir que estén alineados con la línea central.
- Ningún punto cae fuera de los límites de control.
- En el gráfico  $\bar{x}$  la mayoría de los puntos cae cerca de la línea central, y algunos menos también caen cerca de los límites de control.
- En el gráfico  $R$  caen más puntos debajo de la línea central, lo que indica que la distribución es asimétrica.



**Figura 3A.5: Fluctuación grande y repentina del promedio de un proceso**



**Figura 3A.6: Fluctuación grande y repentina de la dispersión (dentro de los subgrupos)**



**Figura 3A.7: Aumento gradual del promedio de un proceso**

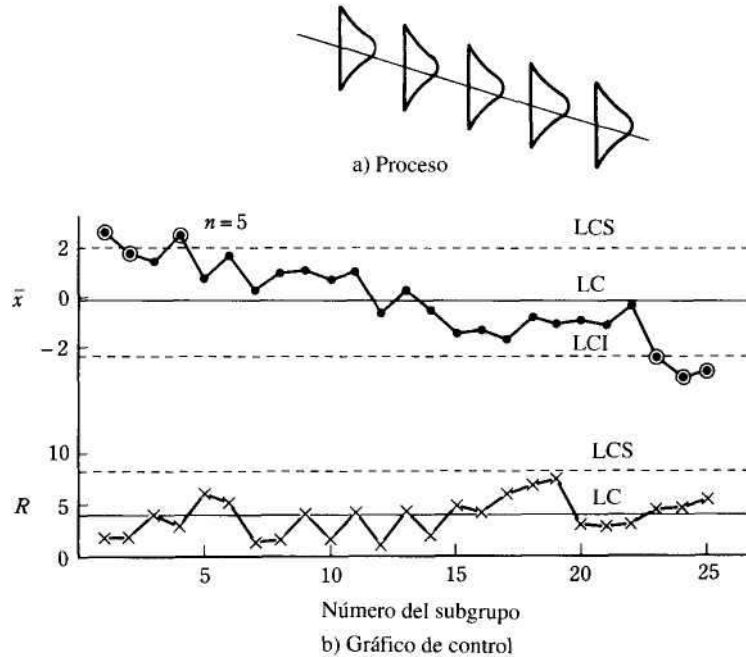


Figura 3A.8: Cambio sostenido del promedio de un proceso

**(2) Cuando la media del proceso cambia mucho repentinamente (ver la Figura 3A.5)**

Bajo estas circunstancias, son adecuados los siguientes gráficos:

- (a) Gráfico  $R$ : el mismo que en la Figura 3A.4.
- (b) Gráfico  $\bar{x}$ : algunos puntos caen fuera de los límites de control.

**(3) Cuando la variación (dentro de los subgrupos) cambia mucho repentinamente (ver la Figura 3A.6)**

Bajo estas circunstancias, se aplica lo siguiente:

- (a) Gráfico  $R$ : algunos puntos caen fuera de los límites.
- (b) Gráfico  $\bar{x}$ : el desplazamiento vertical de los puntos se hace más pronunciado, y algunos puntos caen fuera de los límites.

**(4) Cuando el promedio del proceso aumenta gradualmente (ver la Figura 3A.7)**

Aquí observará:

- (a) Gráfico  $R$ : ningún cambio.
- (b) Gráfico  $\bar{x}$ : en la zona  $B_1$  aumenta el número total de puntos  $x$  por encima de la línea central, y se observan rachas, pero ningún punto cae fuera de

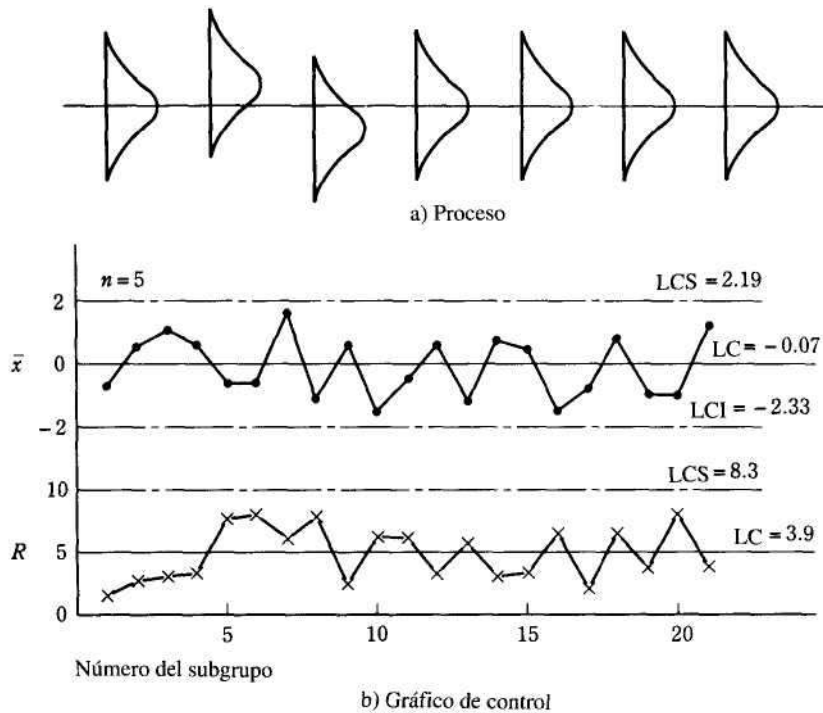
los límites de control. En la zona B2 algunos puntos caen también fuera de los límites de control.

- (c) Cuando se da esta situación, se verá la diferencia entre las zonas A, B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> si los datos de estas zonas están estratificados y representados en gráficos de control separados, como se explica en la subsección (7) más adelante.

**(5) Cuando el promedio del proceso cambia según una tendencia definida (ver la Figura 3A.8)**

Aquí observará:

- (a) Gráfico *R*: ningún cambio.
- (b) Gráfico  $\bar{x}$ : los puntos, mientras que siguen repartiéndose verticalmente, se hundén gradualmente. Algunos puntos caen fuera de los límites de control y aparecen rachas.



**Figura 3A.9: Cambio aleatorio leve del promedio de un proceso**



### (6) Cuando el promedio del proceso cambia aleatoriamente

En esta situación, hay dos posibilidades generales:

- (a) El promedio del proceso muestra un ligero cambio aleatorio (ver la Figura 3A.9) y se observará lo siguiente:
- (i) Gráfico  $R$ : ningún cambio.
  - (ii) Gráfico  $\bar{x}$ : el desplazamiento vertical de los puntos todavía es aleatorio, pero se hace más pronunciado y aumenta el número de puntos que caen cerca de los límites de control. En este caso, ningún punto cae realmente fuera de los límites.
- (b) El promedio del proceso sufre un cambio grande y aleatorio (ver la Figura 3A.10) y se puede observar lo siguiente:
- (i) Gráfico  $R$ : ningún cambio.
  - (ii) Gráfico  $\bar{x}$ : el desplazamiento vertical de los puntos se hace más pronunciado y aumenta el número de puntos que caen fuera de los límites de control.

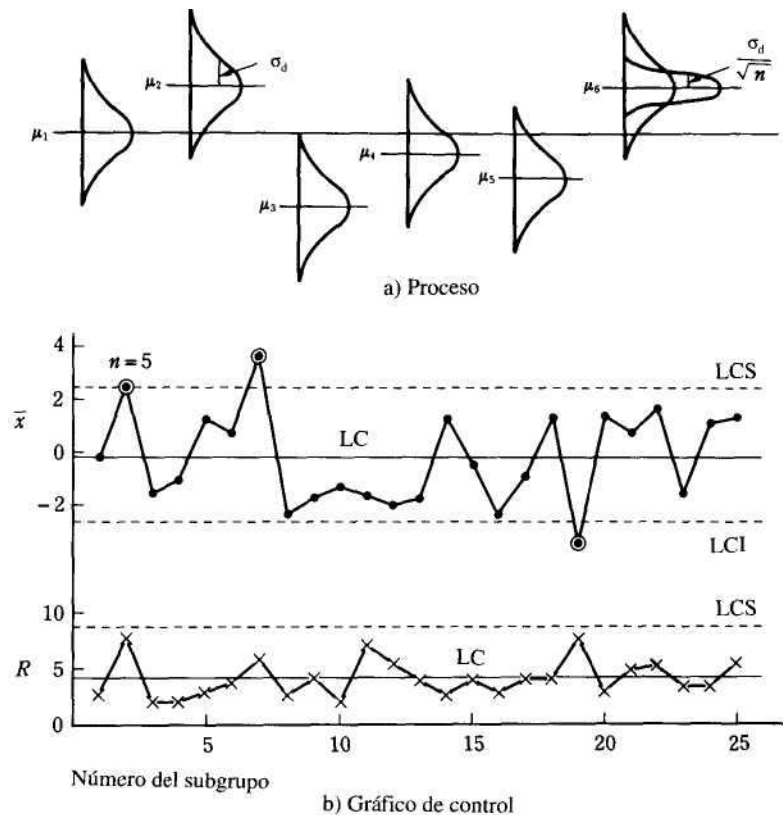


Figura 3A.10: Cambio grande y aleatorio del promedio de un proceso

Designemos la variación dentro de los subgrupos por  $\sigma_d$  (la varianza dentro de los subgrupos es  $\sigma_d^2$ ), y la variación entre los subgrupos por  $\sigma_e$  (la varianza entre los subgrupos es  $\sigma_e^2$ ). La variación entre los subgrupos es un indicador de la variación de la media del proceso,  $\mu$ . Puesto que el gráfico de control  $R$  muestra la variación dentro de los subgrupos y  $\sigma_d$  no cambia, el gráfico indica el estado controlado, lo que permite estimar  $\sigma_d$  a partir de  $\bar{R}/d_2$ . El propósito del gráfico  $R$  es controlar la variación dentro de los subgrupos. Sin embargo, la variación de  $\bar{x}$ ,  $\sigma_{\bar{x}}^2$ , depende de la combinación de la variación debida a la variación dentro de los subgrupos,  $\sigma_d^2/n$ , y la variación  $\sigma_e^2$  debida al cambio del promedio del proceso  $\mu$ . La fórmula siguiente muestra esta rela-

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma_e^2 + \frac{\sigma_d^2}{n} \quad (3A.12)$$

En este caso, si el promedio del proceso es absolutamente constante y el proceso está en estado completamente controlado,  $\sigma_e = 0$ , y:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma_d^2}{n} \quad (\text{estado completamente controlado}) \quad (3A.13)$$

Puesto que los límites de control del gráfico  $\bar{x}$  se representan basándose en  $A_2 \bar{R}$  (i.e., la variación dentro de los subgrupos), el fin principal de este tipo de gráfico es detectar los cambios del promedio del proceso y la variación entre los subgrupos  $\sigma_e$  que utiliza a  $\sigma_d$  de referencia. Esto es igual para los gráficos de control  $p$ ,  $pn$ ,  $c$  y  $u$ , y es una de las características más importantes del gráfico de control.

Igualmente, si hacemos un histograma con las medidas individuales ( $x$ ), y llamamos  $S_H$  a la desviación estándar calculada a partir de éste, entonces  $S_H^2$

$$S_H^2 = \sigma_e^2 + \sigma_d^2 \quad (3A.14)$$

Mientras tanto, si multiplicamos la fórmula 3A. 12 por  $n$ , obtenemos:

$$n \sigma_{\bar{x}}^2 = n \sigma_e^2 + \sigma_d^2 \quad (3A.15)$$

$$\text{También, } \hat{\sigma}_d^2 = (\bar{R}/d_2)^2 \quad (3A.16)$$

Así pues, si hacemos un histograma de  $\bar{x}$  y llamamos  $S_{\bar{x}}$  a la desviación es-

$$C_f = \frac{\sqrt{n} S_{\bar{x}}}{(\bar{R}/d_2)} \left( C_f' = \frac{S_H}{(\bar{R}/d_2)}, C_f'' = \frac{\sqrt{n} S_{\bar{x}}}{S_H} \right) \quad (3A.17)$$

Usualmente este coeficiente tiene un valor superior a 1, siempre que  $\sigma_e \neq 0$ . Puesto que  $C_f$  es un valor que indica el estado aproximado de control de un proceso, se le llama "coeficiente de control". Normalmente, podremos decir con seguridad que un proceso no está bajo control si  $C_f$  es 1,3-1,4 o mayor. Igualmente, si  $C_f$  es 0,8-0,7 o menor, quiere decir que los datos de procesos que tienen promedios considerablemente diferentes se han combinado en un solo grupo, como en el ejemplo descrito en la subsección 9 más adelante; en otras palabras, indica un subagrupamiento inadecuado en el que se han mezclado datos de diferentes fuentes en los mismos subgrupos.

### (7) Cuando cambia la variación (dentro de los subgrupos)

Bajo esta condición existen las siguientes posibilidades:

- (a) Cuando aumenta la variación (ver la Figura 3A.11), pueden observarse estos cambios:
  - (i) Gráfico  $R$ : los puntos muestran una tendencia general hacia arriba, y algunos puntos caen fuera de los límites de control.
  - (ii) Gráfico  $\bar{x}$ : los puntos todavía están distribuidos al azar, pero su desplazamiento vertical se hace más pronunciado. Sin embargo, los puntos todavía están distribuidos más o menos por igual alrededor de la línea central. Algunos puntos caen fuera de los límites de control.
- (b) Cuando disminuye la variación (ver la Figura 3A.12), son observables estos cambios:
  - (i) Gráfico  $R$ : los puntos muestran un descenso general, y aumenta el número de puntos debajo de la línea central.
  - (ii) Gráfico  $\bar{x}$ : los puntos todavía están distribuidos al azar, pero su desplazamiento vertical se hace menos pronunciado. Los puntos están distribuidos aproximadamente por igual arriba y abajo de la línea central, y aumenta el número de puntos próximos a la línea central.

Cuando se piense que la variación dentro de los subgrupos haya cambiado de este modo, se debe hacer una investigación estratificando los datos, preparando dos gráficos  $R$  separados, y calculando dos valores de  $\bar{R}$ . Ver cómo hacerlo en la sección 3A.4.

### (8) Gráficos de control estratificados

Si los datos de la Figura 3A.7 están estratificados en las zonas A y B<sub>2</sub>, y se representan gráficos de control separados y se comparan entre sí (ver la Figura 3A.13), observamos lo siguiente:

- (a) Gráfico  $R$ : ninguna diferencia.

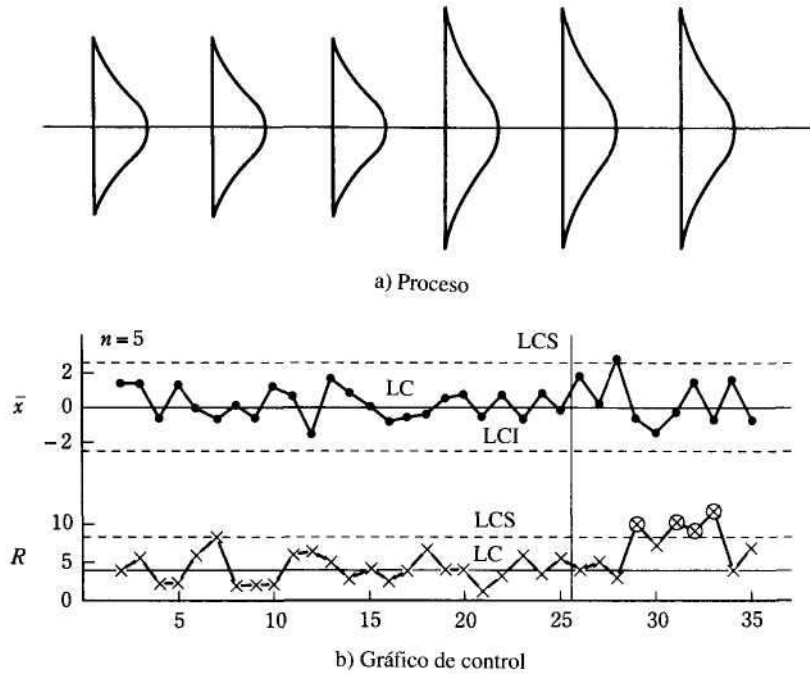


Figura 3A.11: Aumento de la dispersión de un proceso

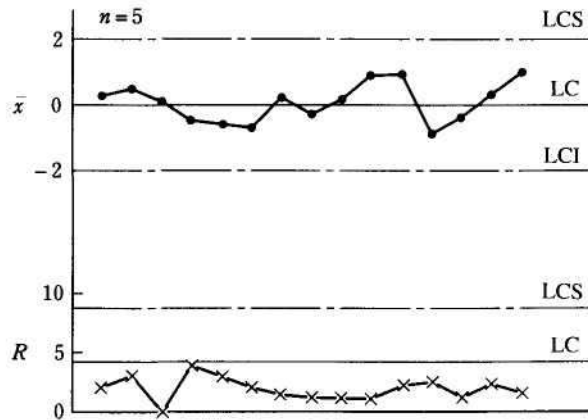
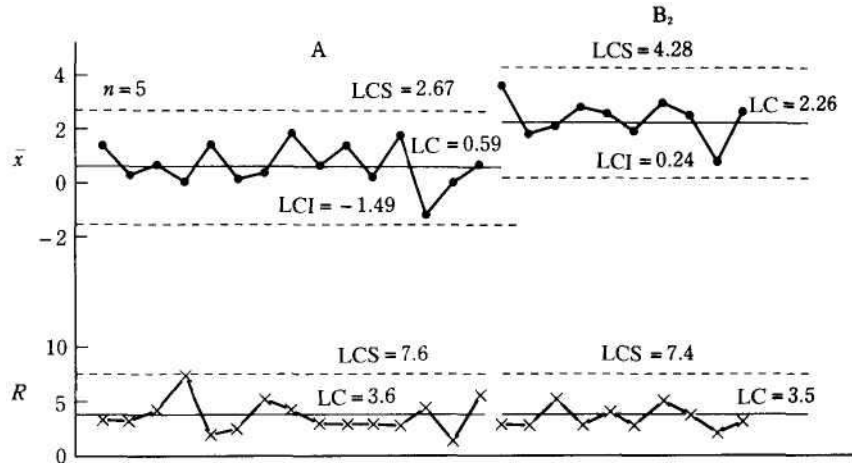


Figura 3A.12: Disminución de la dispersión de un proceso



**Figura 3A.13: Gráficos de control estratificados para las zonas A y B<sub>2</sub>**

- (b) Gráfico  $\bar{x}$  : A y B<sub>2</sub> están en estado controlado, pero parecen tener distintas medias. Para ver la prueba estadística de si hay o no una diferencia entre las medias del proceso de los dos estratos cuando los datos están así estratificados y se hayan representado gráficos  $\bar{x}$  separados, vaya a la sección 3A.4.

**(9) Cuando se juntan dos grupos de datos con medias de proceso extremadamente diferentes (ver la Figura 3A.14)**

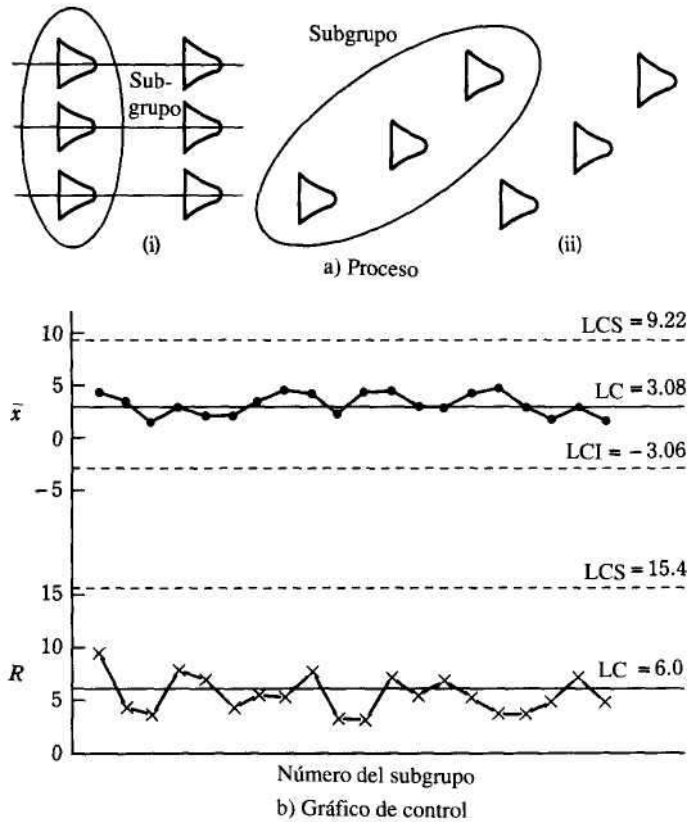
Bajo estas circunstancias, se puede observar lo siguiente:

- (a) Gráfico  $R$  : los puntos se apiñan alrededor de la línea central.  
 (b) Gráfico  $\bar{x}$  : los puntos se apiñan alrededor de la línea central.

Cuando sucede esto, a menudo significa que se han incluido en los mismos subgrupos datos procedentes de fuentes diferentes, y que los subgrupos contienen datos procedentes de procesos que tienen medias muy distintas. Esto se debe investigar estratificando más de diversas maneras los datos dentro de los subgrupos.

### 3A.4 Métodos para contrastar las diferencias entre los promedios a partir de los gráficos de control

Cuando se representan varios gráficos de control estratificados, a veces es posible juzgar intuitivamente si hay o no alguna diferencia entre los promedios del proceso o la variación dentro de los subgrupos ( $\sigma_d$ ) de los diferentes



**Figura 3A.14: Combinación de datos procedentes de poblaciones con tres distribuciones muy diferentes**

estratos en el momento de hacer el gráfico. Sin embargo, es mejor utilizar los datos para contrastar estadísticamente si podemos decir que existe o no una diferencia.

**(1) Prueba de hipótesis de la diferencia en la variación ( $\sigma_d$ )**

Hay tres pasos en este procedimiento de la prueba de hipótesis:

Primer paso: Preparar gráficos de control estratificados y separados para los conjuntos de datos A y B (se pueden emplear tamaños diferentes para los subgrupos), y calcular  $\bar{R}_A$  y  $\bar{R}_B$ .

Segundo paso: Calcular  $F_0$  con la fórmula siguiente:

$$F_0 = \frac{(\bar{R}_A/C_A)^2}{(\bar{R}_B/C_B)^2} \tag{3A.18}$$

**Tabla 3A.3: Tabla complementaria para la prueba de hipótesis cuando se utiliza el recorrido**

| $k \backslash n$ | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 10          | 15          | 20          | 25          | 30          | $k > 5$                            |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| 2                | 1,0         | 1,9         | 2,8         | 3,7         | 4,6         | 9,0         | 13,4        | 17,8        | 22,2        | 26,5        | $0,807k + 0,25$                    |
|                  | <b>1,41</b> | <b>1,28</b> | <b>1,23</b> | <b>1,21</b> | <b>1,19</b> | <b>1,16</b> | <b>1,15</b> | <b>1,14</b> | <b>1,14</b> | <b>1,14</b> | <b><math>1,128 + 0,32/k</math></b> |
| 3                | 2,0         | 3,8         | 5,7         | 7,5         | 9,3         | 18,4        | 27,5        | 36,6        | 45,6        | 54,7        | $1,815k + 0,25$                    |
|                  | <b>1,91</b> | <b>1,81</b> | <b>1,77</b> | <b>1,75</b> | <b>1,74</b> | <b>1,72</b> | <b>1,71</b> | <b>1,70</b> | <b>1,70</b> | <b>1,70</b> | <b><math>1,693 + 0,23/k</math></b> |
| 4                | 2,9         | 5,7         | 8,4         | 11,2        | 13,9        | 27,6        | 41,3        | 55,0        | 68,7        | 82,4        | $2,738k + 0,25$                    |
|                  | <b>2,24</b> | <b>2,15</b> | <b>2,12</b> | <b>2,11</b> | <b>2,10</b> | <b>2,08</b> | <b>2,07</b> | <b>2,06</b> | <b>2,06</b> | <b>2,06</b> | <b><math>2,059 + 0,19/k</math></b> |
| 5                | 3,8         | 7,5         | 11,1        | 14,7        | 18,4        | 36,5        | 54,6        | 72,7        | 90,8        | 108,9       | $3,623k + 0,25$                    |
|                  | <b>2,48</b> | <b>2,40</b> | <b>2,38</b> | <b>2,37</b> | <b>2,36</b> | <b>2,34</b> | <b>2,33</b> | <b>2,33</b> | <b>2,33</b> | <b>2,33</b> | <b><math>2,326 + 0,16/k</math></b> |
| 6                | 4,7         | 9,2         | 13,6        | 18,1        | 22,6        | 44,9        | 67,2        | 89,6        | 111,9       | 134,2       | $4,466k + 0,25$                    |
|                  | <b>2,67</b> | <b>2,60</b> | <b>2,58</b> | <b>2,57</b> | <b>2,56</b> | <b>2,55</b> | <b>2,54</b> | <b>2,54</b> | <b>2,54</b> | <b>2,54</b> | <b><math>2,534 + 0,14/k</math></b> |
| 7                | 5,5         | 10,8        | 16,0        | 21,3        | 26,6        | 52,9        | 79,3        | 105,6       | 131,9       | 158,3       | $5,267k + 0,25$                    |
|                  | <b>2,83</b> | <b>2,77</b> | <b>2,75</b> | <b>2,74</b> | <b>2,73</b> | <b>2,72</b> | <b>2,71</b> | <b>2,71</b> | <b>2,71</b> | <b>2,71</b> | <b><math>2,704 + 0,13/k</math></b> |
| 8                | 6,3         | 12,3        | 18,3        | 24,4        | 30,4        | 60,6        | 90,7        | 120,9       | 151,0       | 181,2       | $6,013k + 0,25$                    |
|                  | <b>2,96</b> | <b>2,91</b> | <b>2,89</b> | <b>2,88</b> | <b>2,87</b> | <b>2,86</b> | <b>2,85</b> | <b>2,85</b> | <b>2,85</b> | <b>2,85</b> | <b><math>2,847 + 0,12/k</math></b> |
| 9                | 7,0         | 13,8        | 20,5        | 27,3        | 34,0        | 67,8        | 101,6       | 135,3       | 169,2       | 203,0       | $6,759k + 0,25$                    |
|                  | <b>3,08</b> | <b>3,02</b> | <b>3,01</b> | <b>3,00</b> | <b>2,99</b> | <b>2,98</b> | <b>2,98</b> | <b>2,98</b> | <b>2,97</b> | <b>2,97</b> | <b><math>2,970 + 0,11/k</math></b> |
|                  | 7,7         | 15,1        | 22,6        | 30,1        | 37,5        | 74,8        | 112,0       | 149,3       | 186,6       | 223,8       | $7,453k + 0,25$                    |

(ø en letras normales, c en negrilla)

en la que el valor mayor de  $\bar{R}_A/C_A$  y  $\bar{R}_B/C_B$  se utiliza como numerador;  $C_A$  y  $C_B$  son coeficientes que dependen de los tamaños de los subgrupos  $n_A$  y  $n_B$ , y los números de los subgrupos  $k_A$  y  $k_B$ ; están dados en la Tabla 3A.3.

Tercer paso: Comparar el valor de  $F_o$  con el valor de  $F(\varphi_A, \varphi_B; 0,01)$ , el valor de  $F$  para los grados de libertad  $\varphi_A$  y  $\varphi_B$  y superior a un percentil de las tablas de distribución de  $F$ . Si  $F_o \geq F(\varphi_A, \varphi_B; 0,01)$ , podremos decir que hay una diferencia en la variación dentro de los subgrupos  $\sigma_d$  de A y B a un nivel de significación del dos por cien. Si  $F_o < F(\varphi_A, \varphi_B; 0,01)$  no podremos afirmar que haya una diferencia.

Arriba,  $\varphi_A$  y  $\varphi_B$  son los grados de libertad que dependen de  $n_A$  y  $k_A$  y de  $n_B$  y  $k_B$ . Sus valores están dados en la Tabla 3A.3. Los valores de  $F$  están en muchas tablas estadísticas.

## (2) Prueba de hipótesis de la diferencia en los promedios $\mu_A$ y $\mu_B$

Para realizar esta prueba de hipótesis, primero se tiene que preparar un gráfico de control  $\bar{x}$  -  $R$  estratificado en las zonas A y B (en este caso, el tamaño de los subgrupos tiene que ser igual), y hacer la prueba con la fórmula si-

$$|\bar{\bar{x}}_A - \bar{\bar{x}}_B| \geq A_2 \bar{R} \sqrt{\frac{1}{k_A} + \frac{1}{k_B}} \quad (3A.19)$$

Cuando se satisfaga la desigualdad anterior, podremos decir que es seguro que hay una diferencia entre los promedios  $\mu_A$  y  $\mu_B$  de los procesos A y B;  $k_A$  y  $k_B$  son los números de subgrupos en A y B.

$$\bar{R} = \frac{k_A \bar{R}_A + k_B \bar{R}_B}{k_A + k_B}, \text{ Si } k_A = k_B, \bar{R} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B}{2}$$

Si se utiliza la fórmula anterior, se tienen que satisfacer aproximadamente las condiciones siguientes:

- (a) Los gráficos de control estratificados tienen que indicar el estado controlado.
- (b)  $n_A = n_B$
- (c)  $k_A$  y  $k_B$  tienen que ser suficientemente grandes; tienen que valer por lo menos 10 cada una.
- (d) No tiene que haber ninguna diferencia entre  $\bar{R}_A$  y  $\bar{R}_B$  como se describe en la subsección 1 anterior.
- (e) La distribución original tiene que ser aproximadamente normal.

Si no se satisfacen estas condiciones, la precisión de la prueba de hipótesis será mala y se tendrá que utilizar una prueba estadística diferente y más complicada.

Debe observarse que cuando se piense que la diferencia de los promedios del proceso es significativa al realizar el análisis del proceso, se tienen que modificar las medidas individuales  $x_B$  o los promedios  $\bar{x}_B$  del peor conjunto de datos sumándoles  $\bar{\bar{x}}_A - \bar{\bar{x}}_B$  para que den un promedio mejorado, que se obtendría mediante algunas acciones (e.g.,  $\bar{\bar{x}}_A$ ) y continuar el análisis. Un gráfico así obtenido se puede llamar "gráfico de control modificado".





---

# Análisis y mejora de los procesos

## 4.1 Mejora y control de los procesos

Como se explicó en la sección 1.5, si se da prioridad a la prevención de que se repitan los problemas, el control en su sentido amplio no es una simple conservación del *statu quo* sino un tipo de mejora. Sin embargo, el control consiste más en ejercer completamente las capacidades actuales y mantenerlas en su nivel óptimo, mientras que la mejora consiste más en incrementar realmente esas capacidades. Por ello, el control y la mejora parecen ser tareas diferentes, y esto es lo que hace que algunas personas digan cosas como "el control es trabajo de línea y la mejora es trabajo de *staff*". En realidad, sin embargo, no se puede trazar una distinción tan clara. Muchas mejoras del entorno inmediato, por ejemplo, se ponen en práctica a través de las actividades de los círculos de calidad en la línea (ver la Figura 1.18).

A menudo no se desempeñan completamente las capacidades porque el trabajo inmediato no está suficientemente bajo control y no se está realizando con fiabilidad. Cuando el control se pone en práctica correctamente, mejoran gradualmente la calidad, los procesos y otros factores, y se saturan las capacidades de los procesos en términos de mano de obra, calidad, cantidad, plazo de entrega y coste. Además, si el trabajo no está controlado (por ejemplo, si hay mucha variabilidad en las operaciones rutinarias), será imposible incluso imaginar dónde empezar a mejorar, y los beneficios resultantes no estarán claros aunque se alcancen mejoras.

Incluso cuando se hacen buenas propuestas de mejora, a menudo no se pueden ejecutar satisfactoriamente. Todo el mundo va corriendo y diciendo a voz en grito que está eliminando unidades defectuosas y aumentando la producción, pero al final no mejora nada. Esto es porque están confundiendo el control con la mejora. Si queremos hacer mejoras, primero tenemos que tener

un control total. Sólo cuando el control está suficientemente bien puesto en práctica son posibles las mejoras significativas.

Igualmente, aunque se examinen detenidamente y se ejecuten con control, hasta los buenos planes de mejora quedarán en nada si no se continúan los esfuerzos hasta que se haya alcanzado un estado de control. Una mejora sólo puede considerarse completa cuando haya sido posible mantener el trabajo o el proceso mejorado en el estado controlado durante un periodo de tiempo largo. Las mejoras tradicionales a menudo acaban como simples medidas neutralizadoras de emergencia, o no se llevan a cabo hasta el punto en que se ha establecido el control y, por tanto, se quedan medio terminadas.

Si las mejoras se llevan a cabo a capricho de los individuos siempre que tengan lo que ellos creen que es una buena idea, las normas se debilitarán. En el pasado, los individuos que estaban en planta trabajaban a menudo sin seguir las normas, por propia iniciativa, convencidos de que estaban haciendo mejor las cosas. Sin embargo, lejos de hacer ninguna mejora, a menudo hacían un cambio a peor. Las mejoras deben efectuarse sistemáticamente a través de procedimientos formales, que implican primero la consulta a los departamentos pertinentes, luego, el análisis técnico y estadístico, y, finalmente, la formulación de las normas provisionales o la modificación de las existentes antes de su puesta en práctica.

Como indica esta explicación, el control y la mejora son como las dos caras de una moneda o las dos ruedas de un carro; ninguna de las dos puede tenerse en cuenta aislada de la otra.

En la sección 1.7.2 se dio un resumen del proceso de mejora. El presente capítulo describe cómo impulsar las mejoras y qué puntos buscar; la atención principal se presta a los procesos. La mayor parte de la explicación también es aplicable, casi tal como está, a la mejora de la calidad y al desarrollo de nuevos productos.

## 4.2 Tipos y procedimientos de mejora

### 4.2.1 Tipos de mejoras

Hay muchos tipos de mejoras, pero me gustaría considerarlos bajo los siguientes nombres:

- \* Mejoras pasivas: éstas incluyen la reducción de los reprocesos y los ajustes, la mejora de los rendimientos, la reducción de los costes y la eliminación de las causas asignables.
- \* Mejoras activas: éstas incluyen la incorporación de los adelantos, la mejora de la calidad, la mejora de las capacidades de los procesos, el poner de

relieve y mejorar las cualidades positivas que atraen a los consumidores (argumentos de venta), e impulsar las ventas.

- \* Mejoras del entorno inmediato: éstas son las mejoras basadas en las sugerencias, las mejoras de los círculos de CC y las mejoras en los puestos de trabajo.
- \* Mejoras basadas en las prioridades: éstas son las mejoras sistemáticas y clasificadas según su prioridad, para eliminar los problemas graves a través de la cooperación de la empresa, la planta o la sección, las mejoras de los equipos de CC y las mejoras del *staff*.
- \* Mejoras orientadas a los objetivos: aquí están incluidas la mejora de la calidad, la reducción a la mitad de las unidades defectuosas y la simplificación del trabajo, el aumento de la capacidad de proceso y la de producción, la reducción de los costes y el acortamiento de los plazos de entrega.
- \* Mejoras orientadas a los métodos: éstas incluyen la mejora de procesos, las mejoras de los métodos operativos y del equipo, la racionalización organizativa y la revisión de las normas y las reglamentaciones.

Cada uno de los tipos diferentes de mejoras enumerados más arriba se explica brevemente a continuación:

Las mejoras pasivas son un tipo de mejoras que hace posible que un proceso ejerza su capacidad completa. Consiste en hacer lo que se debería haber hecho normalmente, e.g., reducir las unidades defectuosas y los reprocesos, hacer posible arreglárselas con ajustes simples, y escuchar y satisfacer los requisitos de los consumidores antes desatendidos y del proceso siguiente.

Las mejoras activas quieren decir desarrollar nuevos productos y áreas empresariales, y mejorar las cualidades positivas y atractivas, i.e., alterar las cualidades, los diseños y los planes de diversas maneras para mejorar la facilidad de uso y hacer que los consumidores se sientan mejor y, por tanto, contentos de comprar. Es el tipo de mejora en el que se mejoran la fiabilidad del producto, la durabilidad, la mantenibilidad y el servicio al cambiar las materias primas y otros factores, y se aumentan la calidad y la capacidad del proceso a través del desarrollo activo de equipos nuevos (e.g., calibres y herramientas), productos, procesos y sistemas.

Hay muchas cosas aparentemente irracionales o inconvenientes en nuestro entorno inmediato, que observamos pero respecto a las cuales no hacemos nada. Las mejoras del entorno inmediato son el tipo de mejoras que resultan de ideas pequeñas pero útiles, de la creatividad y el ingenio individual, y de simples sugerencias y opiniones. Estas mejoras tienen que proceder de los trabajadores de la planta y de los administrativos corrientes. "Muchos pocos hacen un mucho", y un flujo continuo de estas pequeñas mejoras puede producir un efecto enorme con el tiempo. Puede que todas no sean útiles pero, igual que

los diamantes entre el polvo, contendrán algunas ideas excelentes. Este tipo de actividad de mejora concierne fundamentalmente a las mejoras en el lugar de trabajo y la llevan a cabo grupos tales como los círculos de CC.

Sin embargo, hay que tener cuidado, ya que este tipo de mejoras tiende a reducir las unidades defectuosas de un proceso pero las aumenta en el siguiente, o mejora la calidad pero reduce el volumen de producción. Por tanto, antes de poner en práctica este tipo de sugerencias, se tienen que discutir con las personas del siguiente proceso y otros departamentos pertinentes, y se tienen que investigar formalmente desde un punto de vista general.

En resumen, se tiene que crear una atmósfera en la que todo el mundo esté buscando mejoras constantemente en sus entornos inmediatos y en la que se ofrece un flujo firme de sugerencias; se tienen que utilizar programas de sugerencias para fomentar esto. Sin embargo, las personas tienen que tener presente que lo que es mejor para su propio dominio no es necesariamente lo mejor desde el punto de vista general; por el contrario, en realidad a menudo crea problemas en otras áreas.

Las mejoras basadas en las prioridades son el tipo de mejoras en el cual se investigan sistemáticamente los problemas más graves de una empresa, una sucursal, una fábrica u otra organización, y se acometen según el orden de prioridades dictado por la política organizativa. Los problemas de esta naturaleza se tienen que resolver a través del esfuerzo en equipo de todas las personas afectadas, de todos los departamentos, incluidos diseño de materiales, investigación, técnico, fabricación y ventas.

Este tipo de mejora también es el tipo más importante desde el punto de vista de la promoción del control de calidad. Si todo el mundo lo prueba -i.e., el gusto de atacar los problemas con un esfuerzo incondicional y concertado-, el control de calidad avanzará rápidamente. Con este tipo de mejora, la empresa sienta su política sobre prioridades y la delega a los diversos departamentos (técnico, tecnología de producción, fabricación, etc.), que luego comparten la responsabilidad de efectuar las mejoras. Sin embargo, a menudo es una buena idea establecer equipos de CC o de proyectos para poner en práctica las mejoras bajo el nombre de "control de prioridades".

Las mejoras orientadas a los objetivos y a los métodos están un poco diferenciadas en la Tabla 1.3 que enumera algunas diferencias entre objetivos y métodos. La decisión en cuanto a qué necesidades mejorar, dónde residen los problemas y cuáles son los objetivos determinarán los métodos por medio de los cuales se van a efectuar las mejoras. Los objetivos y las necesidades tienen que estar establecidos antes de considerar las mejoras de los métodos. En otras palabras, los objetivos siempre tienen que ir primero. Si se colocan primero los métodos, aunque se preparen montones de reglamentaciones y normas, o (en la automatización administrativa) se pongan en servicio los ordena-

dores, el resultado será la automatización del CC o administrativo sólo de nombre, y nada más se habrá conseguido.

Tradicionalmente, las personas han estado obsesionadas con mejorar los métodos y los medios. Todavía tienden, por ejemplo, a proponer planes de mejora insignificantes, a redistribuir sus organizaciones, a preparar montones de reglamentaciones y a formular y revisar las normas operativas sin conseguir el menor beneficio a pesar de todo su duro trabajo. Por esto es tan importante aclarar la confusión de los fines con los medios, y aclarar nuestros objetivos.

Establecer objetivos parece fácil, pero establecer realmente objetivos específicos (que son un tipo de características sustitutivas) para un lugar de trabajo exige varios análisis técnicos y estadísticos. Y esto no es más que la mitad del trabajo. La otra mitad es proporcionar métodos específicos y herramientas para alcanzar los objetivos, i.e., mejorar los procesos por medio de los cuales se alcanzan los objetivos. Si no se hace esto, acabaremos con el viejo estilo de "dirección por objetivos" o "dirección exhortativa", que realmente no pueden producir resultados y hacer que duren. Para alcanzar los objetivos son esenciales los métodos específicos, las herramientas y las mejoras de los procesos, y estas mejoras de los procesos exigen un análisis sólido. La inteligencia, la experiencia, los conocimientos técnicos y los métodos estadísticos desempeñan un papel importante en esto.

No obstante, es una suposición corriente que la motivación y los objetivos tomarán cuerpo una vez hayan sido establecidos los impresos y los métodos. Otro enfoque es, así pues, establecer los impresos y la normalización como punto de partida durante el periodo introductorio del CC, particularmente en las organizaciones con una atmósfera anticuada. Si se hace esto, sin embargo, es importante pasar, después de un poco de tiempo, a una mejora basada en los objetivos.

Este capítulo se centra en la mejora de la calidad de conformidad (ver la Figura 1.7); la mejora de la calidad del diseño y de la planificación se explica en el Capítulo 6. Las consideraciones de este capítulo son aplicables igualmente a la mejora de la calidad de bienes fabricados "duros" y de productos "blandos" tales como los servicios.

## 4.2.2 Obstáculos a la mejora

El progreso y el desarrollo sólo se dan cuando se ponen en práctica varios tipos de mejoras, empezando con la mejora de la calidad. En épocas de rápidas innovaciones tecnológicas y de cambios económicos como la actual, el mantener el *statu quo* y no realizar mejoras innovadoras significa en realidad ir hacia atrás. La historia del desarrollo y la caída de empresas demuestra que

una organización se quedará fuera de la competencia si sigue adoptando el enfoque pasado de moda de actuar imprudentemente ("cruzar un puente de piedra sin haber comprobado su solidez") o con excesiva cautela ("comprobar la solidez del puente de piedra y después no cruzarlo"). En estos días, un enfoque más adecuado sería: "¿Con qué celeridad podemos actuar con cautela?", o: "¿Con qué celeridad podemos comprobar la solidez del puente de piedra y cruzarlo después?"

Entonces, ¿por qué no se ponen en práctica las mejoras activas y los adelantos? El principal enemigo de la mejora es la gente, y algunas de las barreras que levanta se enumeran a continuación:

- (1) Actitudes negativas por parte de las personas que tienen autoridad, empezando por los presidentes de las empresas y bajando por los directores de departamentos operativos, los directores de fábrica y directores de ventas hasta los directores de sección. Éste es realmente el *quid* del problema, pero podemos seguir con más detalle.
- (2) Creer que todo es genial y que no existen problemas.
- (3) Creer que las cosas van mejor en el coto propio que en cualquier otra parte.
- (4) Creer que "como siempre se ha hecho" es lo más fácil y lo mejor; confiar en la propia experiencia solamente y en la de nadie más.
- (5) Estar satisfecho con el *statu quo*.
- (6) Pensar sólo en uno mismo y en la propia área de responsabilidad; ser incapaz de escuchar los puntos de vista de los demás.
- (7) La ausencia de estímulos de fuera del departamento o de la empresa.
- (8) Resignación, celos, envidia.
- (9) Malos juicios por parte de los superiores y directores; temor de perder prestigio.
- (10) Regionalismo.
- (11) Suprimir a los demás en persecución de las propias ambiciones.
- (12) Conocimientos técnicos y estadísticos, inteligencia, inventiva, originalidad, juicio y habilidad práctica inadecuados.
- (13) No hacer nada por miedo al fracaso, ya que a menudo se cometen equivocaciones cuando se cambian las cosas.
- (14) La práctica de los superiores de criticar siempre las equivocaciones de sus subordinados y no alabarlos jamás por sus éxitos.
- (15) Las actitudes de las personas ocupadas de las tareas administrativas, y en los puestos de trabajo y los sindicatos que carecen de comprensión, ya que éstos pueden ser los más anticuados de todos.

Éstos no son más que algunos de los muchos obstáculos que se interponen al deseo de realizar mejoras, y la mayoría de ellos son erigidos por las perso-

ñas. Para derribar estas barreras hace falta confianza en uno mismo, valor, espíritu de cooperación y un ardiente espíritu pionero y la motivación para realizar adelantos, junto con las tácticas, la estrategia y las técnicas correctas, y un esfuerzo incesante.

¡Los mayores obstáculos a los nuevos productos, los nuevos métodos y otras mejoras están dentro de su empresa! Si no se supera esta "quinta columna", el progreso es imposible.

### 4.2.3 Las condiciones básicas para mejorar

Para promover la mejora, nos hace falta lo contrario de los obstáculos explicados en la sección 4.2.2. Las condiciones básicas para mejorar son principalmente una cuestión de actitudes de las personas, e incluyen lo siguiente:

- (1) Los directivos tienen que ir a la cabeza y demostrar su deseo de mejorar. Tienen que comunicar la política básica (la política de la empresa, etc.) y los objetivos concretos, e imbuir en toda la empresa una atmósfera cargada de un celoso espíritu pionero y un anhelo de alcanzar mejoras y adelantos.
- (2) Tiene que ponerse a las personas adecuadas en los trabajos adecuados, y se tiene que delegar la responsabilidad ampliamente.
- (3) Las personas que ocupan puestos de autoridad tienen que ir a la cabeza en la marcha hacia la mejora, y buscar constantemente cosas y métodos mejores, y los superiores tienen que ser responsables de sus equivocaciones. También se tiene que eliminar la atmósfera de "al clavo que se sale se le tiene que dar con el martillo".
- (4) Se tienen que establecer sistemas para registrar activamente e investigar cuidadosamente las reclamaciones y los problemas de dentro y de fuera de la empresa, y se tiene que crear una atmósfera que fomente esto.
- (5) Las personas deben ser receptivas a los estímulos de fuera tales como la libre competencia, una recesión, la liberalización del comercio o de capitales, el nombramiento de directivos de fuera, las auditorías y asesorías de consultores, las reclamaciones de los clientes, o enseñar las cosas al *staff* o al personal de otros departamentos y conocer sus puntos de vista.
- (6) Se debe iniciar un sistema de sugerencias, fomentar la creatividad y el ingenio, revisar las normas internas y celebrar reuniones de imaginación creativa.
- (7) El personal debe ser reorganizado periódicamente y deben ser mejoradas las organizaciones.
- (8) Se deben aclarar los sistemas de recompensas y penalizaciones, especialmente los sistemas de recompensas.



- (9) Se debe dar a las personas la ocasión de experimentar el espíritu de cooperación y de trabajo en equipo.
- (10) Se debe proporcionar educación, especialmente a través de la formación en el modo de ver y en los métodos del CC.

En resumen, todos los empleados de su empresa o, si eso es imposible, por lo menos todas las personas de su propio lugar de trabajo, deben estar llenas de un espíritu luchador infatigable y una insatisfacción creativa con el *statu quo*. Tienen que ser dirigidos por un espíritu pionero que les mantenga yendo hacia adelante, presionando constantemente a sus superiores para que rompan los moldes. El desarrollo de nuevos productos, el control de los procesos y la mejora, todo depende de las personas. A menos que éstas cambien su forma de pensar y de sentir, no habrá ninguna mejora ni progresos continuos. Sin embargo, aunque las actitudes son importantes, las campañas motivadoras solas no son suficiente; no puede esperar ganar una batalla sin que haya una lucha. Por tanto, como se explica más abajo, se tienen que utilizar la tecnología y los métodos estadísticos adecuados para el análisis de los procesos para que se puedan poner en práctica las mejoras basadas científicamente en una comprensión exacta de los hechos.

#### 4.2.4 Procedimientos de análisis y mejora de los procesos

Para poner en práctica las mejoras, tenemos que analizar los procesos, que son colecciones de causas asignables. Empecemos por enumerar los objetivos del análisis de los procesos (esto incluye el análisis de los métodos de trabajo así como de los procesos reales) para evitar confundir los fines con los medios, como se explicó en la sección 4.2.1. Desde un punto de vista general, los objetivos del análisis de procesos, en los que nos tenemos que centrar cuando analizamos los procesos, son como sigue:

- (1) Formular los planes empresariales.
- (2) Poner en práctica el diseño de la calidad.
- (3) Garantizar la calidad y la fiabilidad.
- (4) Mejorar los procesos.
- (5) Controlar los procesos (estabilización y optimización).

Repitamos el procedimiento para el análisis de procesos:

- (1) Llevar a cabo investigaciones para poner de manifiesto los problemas.
- (2) Decidir qué problemas acometer y establecer las metas; identificar la situación actual.

- (3) Decidir la estructura organizativa y asignar la responsabilidad de poner en práctica las mejoras.
- (4) Identificar la situación actual con detalle.
- (5) Investigar los métodos de mejora, i.e., planificar tácticas para conseguir adelantos (diagramas de causa y efecto, estudios de las capacidades de procesos, etc.).
- (6) Preparar borradores de planes y normas provisionales.
- (7) Llevar a cabo pruebas preliminares, comprobar los resultados, revisar las normas y poner en práctica el control.
- (8) Comprobar los resultados.
- (9) Impulsar las medidas para prevenir la reaparición de problemas, normalizar, hacer arreglos permanentes para evitar volver atrás.
- (10) Establecer el control.
- (11) Revisar los progresos realizados y considerar los problemas remanentes.
- (12) Hacer planes para el futuro.

En resumen, una mejora sólo puede considerarse completa cuando hayamos pasado de descubrir un problema a alcanzar la situación deseada, y esta situación haya seguido en un estado de control durante un periodo de tiempo apreciable -normalmente un año. No podemos relajarnos hasta que el control se haya mantenido por lo menos durante un año.

Según la situación, el tercer paso (establecer una organización para la mejora) puede ir antes o después de que se haya determinado el problema (ver la sección 4.5). Los pasos individuales se explican en la sección siguiente.

## 4.3 Investigaciones para descubrir los problemas

### 4.3.1 Ideas generales

Le ruego vea en las secciones 1.5.2 y 1.7.3 cómo descubrir los problemas y decidir cuáles acometer.

#### **(1) Descubrir los problemas es deber de los directivos**

Las personas que están en muchas empresas y puestos de trabajo no intentan pensar en o investigar los posibles problemas; en su lugar, van dando vueltas en círculos haciendo esto y lo otro en un intento de hacer frente a las roturas y accidentes imprevistos que aparecen diariamente. Característicamente, pasan el tiempo peleando por acomodar las exigencias de los aumentos de producción temporales o corriendo de un lado a otro tratando de hacer frente a las disminuciones de la producción, a las modificaciones de los planes y a las reclamaciones triviales.

Muchas personas que ocupan cargos de liderazgo han olvidado su verdadero trabajo que es delegar la autoridad, tener siempre el control y crearse tanto tiempo libre como sea posible durante el cual puedan reflexionar tranquila y profundamente, y decidir cuáles son los problemas mayores en sus propios dominios (y, desde un punto de vista más general, en su empresa como un todo) y qué debería hacerse en el futuro. Cuanto más alto sea su cargo, más tienen que pensar en el futuro. Yo creo que los directivos de departamento deberían estar pensando en lo que se debería estar haciendo por lo menos con dos o tres años de antelación.

La política se cambia con frecuencia cuando los directivos están mal de la cabeza y se engañan tomando los problemas pequeños por graves porque no tienen más que unos ligeros conocimientos de informaciones superficiales. Con este enfoque, son imposibles las soluciones drásticas de los problemas verdaderamente serios y las mejoras innovadoras. Las personas que ocupan cargos de *staff* y subordinados comparten de forma natural la responsabilidad de recoger y organizar la información pertinente, suministrarla a sus superiores y persuadirles de los cursos correctos de acción; y todos los empleados son responsables de buscar las áreas que necesitan mejorar, e informar de éstas a sus superiores. Al cabo del día, no obstante, es vital que los que tienen cargos de autoridad, desde el presidente de la empresa hasta el jefe de un grupo sean conscientes de los problemas constantemente.

Tanto si usted dice que su empresa no tiene ningún problema o que tiene muchos, ninguna de las dos afirmaciones distingue entre los problemas importantes y los que no lo son.

## **(2) Recogida de datos e información para poner de manifiesto los problemas**

Es responsabilidad del *staff* de un directivo o de sus subordinados recoger los datos y la información necesarios para poner de manifiesto los problemas. Tal y como están las cosas, o no hay bastante de este tipo de datos o, aunque estos datos estén disponibles, se suprimen o amañan deliberadamente durante su camino, mientras que otros se pasan demasiado tarde o sólo después de que haya sucedido una crisis grave. No importa cuántas reglamentaciones excelentes sobre el manejo de las reclamaciones se hayan establecido o cuántas reclamaciones se hayan registrado por los departamentos de ventas, no son más que la punta del iceberg y, a menudo, se reciben demasiado tarde. Por supuesto, las reclamaciones latentes de los consumidores no se recogen, y la información sobre aquellas reclamaciones que se han registrado se distorsiona o se pierde conforme pasa de la tienda al mayorista y al representante de ventas. Debido al fuerte regionalismo, las sugerencias de las personas que realmente quieren dar sus opiniones no llegan a oídos de aquellos que necesitan oírlos.

Las empresas o los departamentos a menudo dejan de detectar los problemas graves y de establecer políticas de prioridades porque los datos y la información que necesitan son inadecuados o inexistentes.

No hay forma de que se pueda poner en práctica el control de calidad o cualquier otro tipo de control sin tener los números y cantidades pertinentes (i.e., los hechos) al alcance de la mano -e.g., no se conoce el número de unidades defectuosas o de productos reprocesados en una fábrica, si los inventarios de las botellas, materias primas, etc., no cuadran, o si el número de productos producidos no está claro. Esta falta de información hace muy difícil determinar dónde residen los problemas. Para alcanzar el objetivo de identificar los problemas, tenemos que obtener una información exacta, aunque al principio sólo sea de muestras.

- (a) Excepto en casos especiales, la información que necesitamos consiste en los datos recogidos a lo largo de un periodo determinado de tiempo. No tenemos que tirarnos de los pelos, como hace la gente con frecuencia, por los números de la producción de cada día, de la fracción de unidades defectuosas, o del número de reclamaciones, etc. Los problemas aparecen en los datos procedentes de periodos de, por ejemplo, una semana, un mes, un periodo contable, o un año; los directivos de niveles medios deberían utilizar normalmente los datos de un periodo de tiempo más corto, mientras que los directivos de niveles superiores deberían utilizar los datos de periodos más largos. Si no se hace esto, acabarán por ir al retortero a causa de problemas repentinos e imprevistos o problemas de control, y se encontrarán a sí mismos corriendo de un lado a otro haciendo frente a trivialidades. Se tenderá entonces a pasar por alto los muchos problemas rentables.
- (b) Los datos utilizados para descubrir los problemas deben consistir principalmente en datos sobre las características y los resultados (calidad, volumen, coste, beneficios, etc.), no sobre las causas.
- (c) Tales datos deben, por supuesto, estar estratificados de forma que faciliten en análisis. Con un poco cada día es suficiente, pero es vital recoger los datos estratificados con el fin de poner de manifiesto los problemas. Los datos se analizan luego con herramientas tales como los diagramas de Pareto, las distribuciones de frecuencias, las hojas de comprobación, los gráficos y gráficos de control.

### **(3) Captar el *statu quo***

Para poner de manifiesto los problemas, tenemos que obtener una imagen clara de la situación actual. No tenemos que dejarnos engañar por datos o información no fiable; es vital echar una buena mirada al "lugar del crimen" re-

al y comprender bien el *statu quo*. A menudo la gente se equivocaba antiguamente por un exceso de compensación, porque corrían a tratar las causas sin comprender realmente el estado (i.e., los efectos).

#### **(4) Uso de conocimientos puestos en común**

También es una buena idea acumular propuestas para mejorar a través del uso de un sistema de sugerencias y procedimientos para ofrecer opiniones. Aunque la conveniencia de semejante sistema es obvia y debe promocionarse vigorosamente, también es útil ir más atrás, hasta el origen, y hacer que un gran número de personas definan los problemas y las dificultades con que se enfrentan. Para lograrlo, recomiendo que el sistema de sugerencias incluya las definiciones de problemas así como las propuestas para mejorar. Luego, deben organizarse los datos sobre estos problemas para su análisis en forma de diagramas de Pareto. Probablemente también sería conveniente celebrar sesiones de imaginación creativa para identificar los mayores problemas.

#### **(5) Los problemas se deben identificar en términos económicos**

Siempre que sea posible, los problemas se deben expresar en términos de su denominador común, el dinero. Las estimaciones aproximadas son aceptables pero los problemas deben identificarse realmente a través de la contabilidad y del control de costes, y el suministro de esta clase de información es el servicio más importante de las secciones contable y de control de costes de una empresa. Aun cuando el número total de unidades defectuosas sea pequeño, los defectos críticos constituyen a menudo una gran pérdida económica. Las hojas de control deben estar dispuestas de forma que sea fácil ver si los costes unitarios son demasiado elevados y qué factores tienen el mayor efecto sobre el rendimiento, la fracción de unidades defectuosas, los reprocesos, ajustes, índices de operación de maquinarias, etc.

#### **(6) Localización de los problemas**

Los problemas existen en los lugares en los que las personas se han resignado a la situación presente o están convencidas de que no hay nada mal. Existen dondequiera que haya pérdidas crónicas (ver la sección 4.3.3).

### **4.3.2 Cómo hacer la estratificación**

Ni la mejora ni el control son posibles sin la estratificación. He hecho hincapié una y otra vez en que la estratificación es necesaria para el control, para detectar los problemas y para estudiar las medidas de mejora, y ahora me gustaría explicar los principios generales de cómo se hace la estratificación.

- (1) Cuando se recogen los datos, se deben estratificar con arreglo a las diferentes condiciones, causas, localizaciones o lotes que parezca que pueden dar lugar a unidades defectuosas, pérdidas y otros problemas. Por ejemplo, podríamos estratificar por el tipo de unidad defectuosa, el tipo de defecto, la materia prima, el día, turno, hora, grupo, persona, máquina, proceso, método operativo, tiempo atmosférico, instrumento de medida, calibre, herramienta o cualquier otro entre muchos factores. Los datos solos sobre el número global de defectos y reprocesos no son extremadamente útiles. Debemos recoger los datos utilizando hojas de comprobación o métodos similares, y estratificarlos todo cuanto sea posible.
- (2) Las piezas, los productos, contenedores, etc., deben identificarse con números, tarjetas, notas, colores o símbolos para mantenerlos separados, y los materiales y los productos deben pasar por el proceso en lotes o cajas separados.
- (3) Todo el mundo debe tener cuidado en mantener separados a los lotes, disponer de métodos adecuados para trasladar los materiales por la fábrica y designar buenos trazados y sistemas para almacenar los productos.
- (4) Las unidades defectuosas, los reprocesos, desechos, etc., deben ser clasificados en cajas separadas según la naturaleza o la causa de la unidad defectuosa o del defecto. Luego, un especialista debe dar vueltas de vez en cuando para comprobar estas cajas y tomar anotaciones.
- (5) Se debe establecer un buen sistema de notas.
- (6) Debe realizarse la inspección analítica (ver la sección 6.8).

Son posibles otras muchas ideas, pero mientras todas las personas afectadas (incluyendo a los que están en planta) sean conscientes de la importancia de la estratificación, y si se tiene un poco de cuidado con el sistema de notas, la segregación de los lotes, el método de transporte, etc., la estratificación puede lograrse con relativa facilidad.

### 4.3.3 Gráficos

Algunas características útiles de los gráficos son que indican claramente los cambios con el tiempo, nos permiten comprender las cosas intuitivamente con más facilidad que lo hace un montón de números, y hacen más fácil la localización de cambios anómalos. Los gráficos de control son aún más fáciles de comprender. Sin embargo, se recomienda a los principiantes que se acostumbren a utilizar los gráficos. Si es posible, se deben indicar los límites de control, y los puntos fuera de control se deben marcar con un círculo rojo que indica la necesidad de tener cuidado. Los gráficos se pueden interpretar de muchas maneras, y la Figura 4.1 muestra algunas formas típicas en que se dan las unidades defectuosas.

La Figura 4.1 (a) muestra que las unidades defectuosas aumentaron mucho, y empezaron en un día determinado. En casos como éste, la causa se encuentra enseguida mirando atentamente para ver si tuvo lugar algún cambio alrededor del momento del aumento.

La Figura 4.1 (b) muestra una periodicidad. Las unidades defectuosas a menudo aumentan así los lunes, los sábados, los días de paga o el día después.

La Figura 4.1(c) muestra que las unidades defectuosas aumentan esporádica e inesperadamente. Semejante situación se confunde a menudo como si fuera indicativa de un problema grande, pero este tipo de problema a menudo está relacionado con el control y se puede resolver instituyendo un control más estricto.

En la Figura 4.1(d) la fracción de unidades defectuosas está entre un cinco y un nueve por cien todos los días y parece ser más o menos estable. Las unidades defectuosas de este tipo se llaman "unidades defectuosas crónicas" y, como son crónicas, las personas se resignan a ellas a menudo por considerarlas naturales e inevitables. Sin embargo, tales unidades defectuosas frecuentemente ocultan problemas graves. Sería una buena idea expresar las cosas en términos económicos y hacer algunos cálculos de prueba para ver cuántos beneficios podrían obtenerse si la fracción de unidades defectuosas diarias media,  $p$ , se redujera del 7,4 % al 3 % o menos (o incluso si la  $p$  del 4 % de la Figura 4.1(c) se redujera al 2 %).

Las formas anteriores de interpretar los gráficos también son aplicables a los gráficos de control.

#### **4.3.4 Poner de manifiesto las unidades defectuosas ocultas y las reclamaciones latentes (ver las secciones 1.4.4 a 1.4.5 y la Figura 4.2)**

Lo que una empresa llama "unidades defectuosas" antes de empezar el control de calidad no es más que la punta del iceberg. En otras palabras, tiene más de diez veces de unidades defectuosas y de problemas de los que cree tener. Cuando una empresa empieza gradualmente a descubrir unidades defectuosas y reclamaciones, aparecen en rápida sucesión más unidades defectuosas ocultas y problemas previamente desapercibidos. Los supervisores y directivos que no piensen que los reprocesos, los ajustes y las insatisfacciones menores constituyen unidades defectuosas o reclamaciones no merecen en absoluto sus títulos. Está bien empezar por acometer las unidades defectuosas actuales -i.e., las que han aparecido en la superficie-, pero, cuando el CC se ha sumergido en cierto grado, tenemos que volver nuestra atención a descubrir y atacar las unidades defectuosas ocultas y las reclamaciones latentes. Si las unidades defectuosas actuales y las reclamaciones se acometen con interés, las unidades defectuosas y las reclamaciones ocultas automáticamente saldrán a la luz.

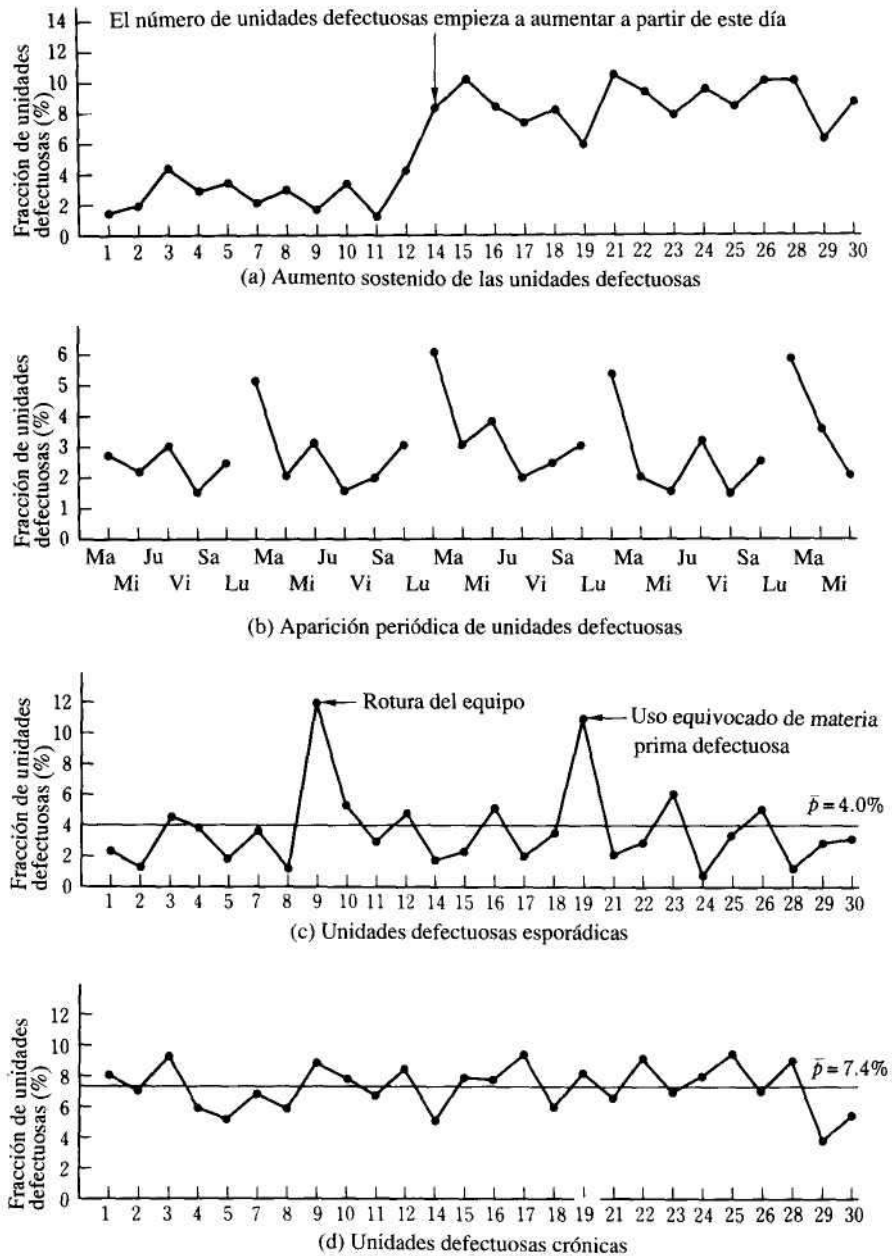
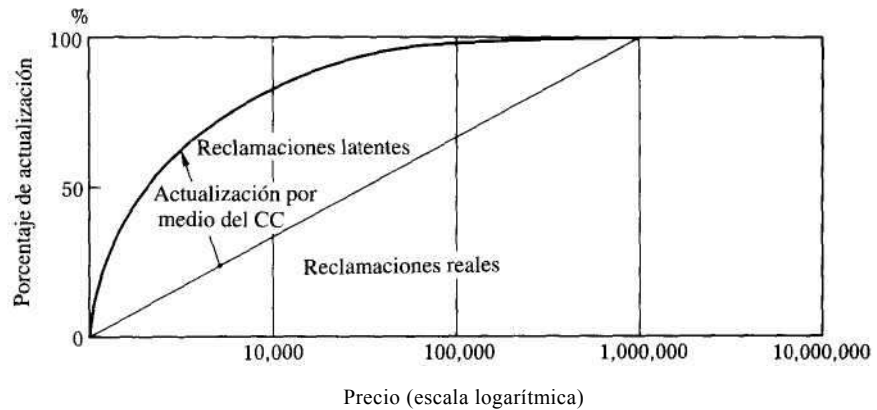


Figura 4.1: Gráficos que muestran la aparición de unidades defectuosas





**Figura 4.2: Actualización de las reclamaciones latentes**

Por ejemplo, ¿su empresa clasifica los reprocesos como un tipo de unidades defectuosas, y considera usted que el trabajo de ajustes es una pérdida de horas-hombre? ¿Calcula usted el verdadero porcentaje de paso directo? ¿Está usted alcanzando realmente los rendimientos estándar, las cantidades estándar de materiales, mano de obra y potencia mecánica requeridos para la producción de una unidad de producto, las horas-hombre estándar y las tasas de operación estándar? ¿Son estos estándares suficientemente altos? Si usted está de acuerdo con estas líneas, usted encontrará unidades defectuosas ocultas y reclamaciones latentes en áreas que había aceptado anteriormente.

Cuando usted empieza a buscar problemas de este modo, lloverán tantos que puede agobiarse. Seguro que alguien le reducirá su trabajo, pero una vez empiece a desear acometerlos, yo diría que usted comprende bastante bien el CC.

## 4.4 Decidir qué problemas acometer

Si supiéramos cuál es un problema particular y cuáles son nuestros objetivos, el problema ya estaría medio resuelto; y viceversa, es imposible resolver un problema a menos que comprendamos su significado y conozcamos nuestros objetivos.

Más abajo se dan algunas cuestiones que se deben tener presentes cuando se decide qué problemas acometer (ver la sección 1.5.2).

- (1) ¿A quién se debe permitir que tenga voz en la selección de los problemas que se han de acometer? Es importante que esto se discuta en el comité de CC o en las reuniones de los círculos de CC. El secreto no es bueno.

- (2) La decisión final debe estar de acuerdo con la política de dirección. Todas las personas que ocupen cargos de responsabilidad deben tener esta política.
- (3) Las decisiones deben ser el resultado de un argumento razonado basado en hechos y datos duros. Uno tiene que tener una comprensión sólida del *statu quo*.
- (4) La política debe decidirse desde una perspectiva amplia y general. Uno tiene que pensar en el futuro y considerar cómo se engrana la política con los planes a largo plazo.
- (5) Es importante pensar concreta y cuantitativamente, no en abstracto.
- (6) Uno siempre debe pensar en hacer estallar el *statu quo*.
- (7) El punto de mira está en los objetivos, no en los métodos (ver la Tabla 1.3).
- (8) Las políticas deben ser coherentes.
- (9) Uno tiene que estar orientado hacia los objetivos, no a la organización.
- (10) Los problemas crónicos son problemas graves.
- (11) El principio de Pareto siempre es importante: no malgaste el tiempo quejándose de fruslerías.
- (12) Es infructuoso preocuparse demasiado sobre lo que podría o no podría suceder. Se dice que un producto en desarrollo es prematuro si el diez por cien de la empresa está a su favor, y que ha perdido el tren si el cincuenta por cien lo apoya. Si la probabilidad de éxito es del cincuenta por cien, aventúrese. Los superiores deben alabar los éxitos de sus subordinados y hacerse responsables de sus equivocaciones. Las personas no se entusiasman cuando se dan por supuestos sus éxitos y se critican sus equivocaciones.
- (13) Una orientación prioritaria permitirá que el número de problemas prioritarios se mantenga en un mínimo.
- (14) En principio, los problemas que se han de acometer no se deben decidir desde abajo sino de acuerdo con la política de arriba. Sin embargo, puesto que los superiores pueden no tener todos los hechos, los subordinados deben orientarlos en el sentido correcto utilizando hechos y datos.
- (15) Una vez se haya tomado una decisión, se debe poner por escrito y darla a conocer a todos los empleados. Todos los empleados deben ser igualmente conscientes y estar informados de la decisión, y se debe conseguir un consenso de opinión.
- (16) Al igual que se establece la calidad, la cantidad y las metas para los costes, uno tiene que establecer metas para las fechas y fechas tope.
- (17) Uno tiene que decidir qué constituirá una mejora y cómo se evaluará; i.e., establecer metas y decidir los métodos de evaluación y medida. Esto será el resultado de los puntos 5 y 7 anteriores.
- (18) Uno nunca debe preocuparse de perder o salvar las apariencias.

La elección de los problemas prioritarios tiene que ser aprobada por la alta dirección y ser registrada oficialmente. Luego tiene que tratarse el control de los progresos realizados haciendo que las personas envíen informes escritos regularmente, celebrando sesiones informativas, etc. Además de acometer estos problemas prioritarios, cada departamento debe, claro está, y si el tiempo lo permite, identificar independientemente los problemas importantes en su propia parcela y promover una mejora firme a través de actividades tales como los círculos de CC, empezando por los problemas que pueda manejar solo.

Si el CC todavía no está bien establecido o si se encuentran dificultades en salir adelante, se debe seleccionar y analizar un proceso conveniente y que todos vean los buenos resultados logrados. En este tipo de situación, es mejor elegir uno de los siguientes tipos de procesos:

- (1) Un proceso pasado por alto por los directivos medios entusiastas.
- (2) Un proceso del cual sea comparativamente fácil recoger datos.
- (3) Un proceso en el cual la historia de los lotes o de los datos ya esté bastante clara o se aclare con facilidad.
- (4) Un proceso plagado de más problemas que cualquier otro de la fábrica, o un proceso que previamente no se haya pensado que pueda dar o tener ningún problema.
- (5) Un proceso que los gráficos de control indiquen que está fuera de control.

Finalmente, sin embargo, todo el trabajo tiene que analizarse, tienen que realizarse pruebas, y crear normas o revisarlas hasta que todas las operaciones puedan ser controladas por medio de gráficos de control y otras herramientas estadísticas. Este proceso de análisis y mejora tiene luego que ser continuado durante todo el tiempo que sobreviva la empresa.

## **4.5 Organización para el análisis y mejora de los procesos**

Mandar sin más a las personas que mejoren la calidad o que vendan más no es suficiente; las cosas no mejorarán sólo a través de la fuerza de voluntad. Cuando la mejora sólo depende de la motivación, llega el momento en que flaquea el entusiasmo. Además de decir a su gente lo que quieren hacer -Le., darles las políticas y los objetivos- los altos directivos son responsables de crear unas condiciones que hagan alcanzables estos objetivos. Una organización semejante se establece a veces antes de que se haya iniciado una investigación para descubrir los problemas y, a veces, después de que hayan sido determinados éstos. Lo primero es cierto generalmente si el trabajo se ha de realizar a través de la organización vigente o a través de las actividades de los círculos de CC.

Desde el punto de vista organizativo, el análisis de los procesos y la mejora puede llevarse a cabo de las formas siguientes:

- (1) Formando parte del trabajo rutinario de la organización vigente.
- (2) A través de las actividades de los círculos de CC.
- (3) Por equipos de CC (i.e., equipos de trabajo o de proyectos).
- (4) Bajo el sistema del técnico de proyectos o del director de proyectos.

Un sistema de comités también es una posibilidad, pero no se recomienda, ya que usualmente desdibuja la responsabilidad y la autoridad y retrasa las acciones.

Cualquiera que sea el sistema utilizado, la experiencia de resolver un problema y tomar el control, el recuerdo de cómo se resolvió el problema y el sabor de la victoria son importantísimos. Las personas se desarrollan de manera firme cuando acumulan tales experiencias. Los círculos de CC y los equipos de CC aprenden gradualmente a resolver problemas cada vez más difíciles, y sus líderes son los que más crecen.

### **4.5.1 Análisis y mejora de los procesos a través de la organización permanente**

Si un problema concierne solamente a un departamento concreto, puede ser resuelto por la organización permanente como parte de su trabajo cotidiano. Sin embargo, los problemas que pueden ser resueltos por un solo departamento no suelen ser muy graves.

La organización permanente también se utiliza cuando las políticas y los objetivos para reducir los defectos, los costes, etc., se desglosan y reparten entre diferentes departamentos en forma de plan empresarial. Por ejemplo, si se planificara una reducción de los costes del treinta por cien, podrían utilizarse los diagramas de Pareto para desglosar los objetivos, y la empresa o la planta como un todo establecería objetivos para cada departamento. La responsabilidad de la reducción de costes podría dividirse para dar, por ejemplo, un quince por cien al departamento de planificación y un cinco por cien a cada uno de los departamentos de compras, ventas y fabricación, y el análisis y la mejora serían puestos en práctica por la organización permanente de cada departamento. Cuando se hace esto, el director de cada departamento es el responsable y desglosará más los objetivos y los asignará a las secciones y subsecciones bajo su control.

Sin embargo, incluso con semejante disposición, si surge un problema que implica a otro departamento, los directores de departamento y de sección son responsables de establecer buenas líneas de comunicación que permitan que

siga adelante el trabajo. Como a menudo el regionalismo es fuerte y la comunicación horizontal es deficiente, los jefes de departamento tienen que reorientarse psicológicamente hacia esta tarea y dedicarle un esfuerzo especial. Cuando un problema concierne de cerca a más de un departamento o cuando el regionalismo es especialmente dominante, el trabajo debe ser acometido bien haciendo uso de comités funcionales o creando equipos de CC.

#### **4.5.2 Análisis y mejora de los procesos a través de las actividades de los círculos de CC**

Como las mejoras puestas en práctica a través de las actividades de los círculos de CC (ver la sección 1.10) tienen que ver generalmente con problemas bastante inmediatos de departamentos individuales o de puestos de trabajo, los líderes de los círculos son, usualmente, el punto de contacto entre la dirección y los trabajadores. Sin embargo, puesto que en las actividades de los círculos de CC se hace hincapié en la independencia, es mejor que los directivos no les den instrucciones demasiado detalladas. Los círculos de CC detectan los problemas y realizan el análisis y el control independiente y voluntariamente, bajo las directrices de la política de arriba. Sin embargo, si un departamento quiere, por ejemplo, reducir su fracción de unidades defectuosas en un dos por cien o aumentar su porcentaje de paso directo en un cinco por cien, esto se puede insinuar a los círculos de CC y se les puede pedir que lo acometan como si fuera su problema. Cuando se hace esto, a cada círculo se le debe permitir, claro está, que establezca sus propios objetivos en términos de qué tipos de unidades defectuosas o reprocesos reducir después de recoger los datos y analizar la situación.

Los directivos asisten a las reuniones de los círculos de CC como observadores, reciben los informes de las actividades de los círculos de CC, apoyan las actividades de los mismos y verifican su trabajo. Si durante las actividades de los círculos de CC surge un problema que afecta a otro departamento, la dirección puede ponerse en contacto con éste o, si los círculos tienen experiencia y son capaces, se pueden establecer círculos conjuntos entre los departamentos para darles la oportunidad de trabajar juntos en la resolución del problema.

Cualquiera que sea el método adoptado, la responsabilidad de fomentar y promover las actividades de mejora de los círculos de CC siempre reside en la dirección (i.e., directores de fábrica, sucursal, departamento, sección y subsección).

### 4.5.3 Actividades de los equipos de CC

Las actividades de los equipos de CC son similares a las de los círculos de CC en que ambas son llevadas a cabo por grupos pequeños, pero son intrínsecamente diferentes y tienen que ser consideradas separadamente. A menudo se agrupan en actividades de grupos pequeños, pero se dirigen, controlan y evalúan de formas completamente diferentes (ver la Tabla 4.1).

Un círculo de CC es un pequeño grupo de personas de un puesto de trabajo que continúa sus actividades mientras exista el puesto de trabajo. Un equipo de CC, por otra parte, es un tipo de equipo de proyectos constituido por personas de diferentes departamentos que hace falta para realizar análisis, mejoras y actividades de control sobre un proyecto determinado. Es un grupo temporal que se disgrega una vez se ha resuelto el problema. Un equipo de CC, al que también se le puede dar el nombre de "fuerza de trabajo" es, por tanto, un grupo pequeño constituido por personas de diferentes puestos de trabajo, creado para acometer un objetivo determinado. Si el proyecto es importante, se hace uso del sistema del "técnico a cargo" o del "director a cargo".

Por ejemplo, si el problema es un tipo concreto de unidad defectuosa, puede formarse un equipo de CC de tres personas: una a cargo del puesto de trabajo directamente afectado (alguien como un supervisor que conoce íntimamente el puesto de trabajo y es responsable del control); alguien responsable de la ingeniería y el diseño del producto (no un director de departamento o de sección sino la persona realmente responsable); y un miembro del *staff de CC*. Según el problema, claro que es aceptable que haya cuatro o más personas en el grupo, pero debido a la naturaleza de las actividades del grupo, cuantos menos miembros, mejor.

A continuación hay algunas sugerencias para dirigir los equipos de CC:

(1) Selección de temas y objetivos de los proyectos:

El tema y el objetivo de un proyecto se deciden a menudo como política de la empresa, la fábrica u otra unidad organizativa, y luego se forma oficialmente un equipo. Esto es distinto de las actividades de los círculos de CC. Naturalmente, a veces se decide un equipo o proyecto como resultado de una sugerencia de abajo.

(2) Selección de los miembros del equipo:

Se nombra un pequeño número (de tres a siete) de personas como unos supervisores de línea jóvenes, expertos técnicos y especialistas de CC que estén bien versados en el tema a acometer. Según el ámbito del proyecto, normalmente el jefe del equipo debe tener una categoría inferior al director de sección y, a ser posible, debe ser un encargado o un supervisor. Los superiores de los miembros del equipo deben aligerar su carga de trabajo diaria o, de ser posible, asignarlos exclusivamente al equipo.

**Tabla 4.1: Diferencias entre las actividades de los círculos de CC y las de los equipos de CC**

|                                | Círculo de CC   | Equipos de CC  |
|--------------------------------|---|--|
| 1. Fin                         | Depende de la filosofía básica de las actividades de los círculos de CC   | Resolución de problemas y control  |
| 2. Características             | Estilo de abajo a arriba, espíritu básico de los principios de los círculos de CC   | Estilo de arriba a abajo, gestión del tipo para proyectos  |
| 3. Temas que tratan            | Problemas de los puestos de trabajo, seleccionados automáticamente con asesoramiento de los superiores  | Fundamentalmente dirigidos por superiores en línea con la gestión de la política   |
| 4. Miembros                    | Diez o menos (de tres a siete) del mismo puesto de trabajo  | Veinte o más, de tres a siete miembros diferentes de distintos puestos de trabajo cambian con el tema                                |
| 5. Formación                   | Voluntaria, con asesoramiento de los superiores   | Como digan los superiores  |
| 6. Periodo de actividad        | Continuo  | El equipo se disgrega al concluir el tema (mejora y control); si es posible, continúa un año o más después de establecido el control |
| 7. Relación con los superiores | Cierta relación (principalmente asesora)  | Relación íntima (instrucción y delegación de autoridad)  |
| 8. Evaluación                  | Trabajo en equipo, cooperación, división de responsabilidades, ingenio, uso de métodos estadísticos, resultados, número de reuniones y tasa de asistencia, número de problemas resueltos anualmente | Beneficio, estado de control subsiguiente  |

(3) Dirigir el equipo:

Es importante delegar toda la autoridad en los miembros del equipo. Esto significa que a todos los miembros se les debe dar autoridad para actuar sin obtener el permiso de sus superiores, y el trabajo se debe dejar en sus manos. Los equipos de CC se forman para eliminar el regionalismo y resolver problemas rápidamente, y no harían muchos progresos si sus miembros tuvieran que obtener la aprobación de sus superiores para todo lo que hicieran. Algunos directivos medios anticuados se oponen a las actividades de los equipos porque trastornan la organización permanente, pero o bien son personas mezquinas que están más preocupadas de conservar su propio poder que de lo bien que vaya el trabajo, o bien son demasiado vanidosas. En cualquier caso, si el director de un departamento o sección se niega a dejarse convencer, se puede crear un equipo director constituido por personas del nivel de directores de departamento para que vigile el equipo de CC.

(4) Deberes del equipo:

El trabajo del equipo no está terminado hasta que el problema haya sido resuelto, se haya establecido un sistema de control y el proceso pertinente

esté en un estado de control estable y pueda ser mantenido en ese estado. No se puede decir que un problema esté resuelto si sólo se ha resuelto temporalmente y las cosas revierten rápidamente a su condición original. Puesto que en muchos lugares hay normalmente variaciones mensuales y de temporada, decimos que un equipo debe permanecer activo por lo menos durante un año. Al principio, claro que el equipo debería reunirse a intervalos frecuentes, digamos, una vez a la semana; luego, cuando las cosas se hayan calmado en cierto grado, podría reunirse aproximadamente una vez al mes para comprobar los resultados, el estado de control del proceso, etc. Los miembros del equipo son responsables del proyecto pero, si es necesario, pueden conectar con los círculos de CC en el puesto de trabajo y ponerlos a cargo de parte del trabajo.

(5) Evaluación:

Una vez al mes u otros intervalos de tiempo determinados, debe evaluarse el estado de las mejoras y del control, y redactarlo en un informe que estudiará el comité de dirección o el comité de CCT. Los directivos deben asistir de vez en cuando a las reuniones para oír los informes y comprobar los resultados.

(6) Debe hacerse un uso especialmente amplio de los equipos de CC durante la introducción inicial y la promoción del CC. Deben realizar análisis y mejoras en forma de proyectos específicos, crear sistemas que permitan que se ponga en práctica el control por medio de los gráficos de control, y construir una organización de control suministrando a cada lugar de trabajo un sucesión de gráficos de control utilizables uno a uno.

(7) Cuando el problema concierne a los proveedores o los clientes, alguien que esté a cargo del CC debe actuar de intermediario para ayudar a ambos a crear equipos de CC.

#### **4.5.4 Sistemas del técnico responsable y del director responsable**

El sistema del técnico responsable consiste en nombrar a un técnico con dedicación exclusiva para que maneje un proyecto particular y darle autoridad para que forme una fuerza de trabajo con las personas necesarias. En este enfoque, el trabajo se realiza desde el principio hasta el final, bajo la responsabilidad y la autoridad de una persona. Se utiliza este sistema para hacer frente a proyectos relativamente grandes, tales como el desarrollo de un nuevo producto o una nueva tecnología, o la construcción de una nueva planta. El técnico designado está, por lo menos, a la altura de un director de departamento o de sección y, según la situación, podría ser el director de la empresa. En el desarrollo de un nuevo producto, por ejemplo, el técnico responsable podría em-



pezar con una fuerza de trabajo de cinco diseñadores, dos investigadores, un ingeniero de producción y un miembro del *staff* de CC, y reducir el número de diseñadores a tres y añadir dos ingenieros de producción más, un contable, alguna persona de ventas, alguna relacionada con las subcontrataciones, etc., conforme avanza el trabajo. Este sistema funciona como un equipo de CC, ya que el técnico responsable y las personas que nombra se separan de su trabajo departamental original y de otras obligaciones.

## 4.6 Análisis de los problemas y preparación de los planes de mejora

### 4.6.1 Actitud básica de ataque

Un buen control no se consigue solamente preparando un montón de normas operativas, reglamentaciones, etc., y representando un montón de gráficos de control. Tenemos que analizar detenidamente los datos presentes y pasados, comprender correctamente las condiciones de trabajo y de los procesos, y obtener información técnica real de los procesos. Sin un análisis detenido, son imposibles la mejora y la normalización, y seremos incapaces de alcanzar un buen control o de preparar gráficos de control utilizables para el control.

#### (1) Datos

Los siguientes tipos de datos se utilizan para el análisis de problemas y de procesos:

- (i) Datos rutinarios del pasado recogidos con los métodos existentes,
- (ii) Datos rutinarios recogidos especialmente para un análisis fácil, e.g., datos estratificados o datos que se corresponden con otros factores,
- (iii) Datos recientes recogidos con experimentos especialmente diseñados.

Los tipos (i) y (ii) consisten principalmente en datos tomados bajo las condiciones operativas y de trabajo existentes, mientras que el tipo (iii) consiste mayormente en datos obtenidos cuando se trata de trabajar bajo condiciones nuevas. Puesto que el primer tipo de datos contiene usualmente mucha información, es mejor empezar por analizar detenidamente este tipo antes de pasar a los tipos (ii) y (iii). Sin embargo, cuando el primer tipo de datos procede de lugares en que no son conscientes del CC, pueden ser difíciles de analizar porque a menudo en tales lugares no estratifican o recogen los datos que se corresponden; en otras palabras, no está claro la historia de los datos. En tales casos, se tiene que obtener el segundo tipo de datos. Usualmente, es mejor pa-

sar al tercer tipo cuando se haya completado el análisis de los dos primeros tipos.

Este libro da una explicación sencilla del análisis de los datos de los tipos (1) y (ii). La recogida y análisis del tercer tipo de datos deben estudiarse en trabajos especializados sobre el diseño de experimentos.<sup>1</sup>

## **(2) Identificar el *statu quo*, las condiciones actuales y las capacidades de los procesos**

Las personas que tratan de hacer mejoras y reducir las unidades defectuosas y que piensan como si fueran técnicos anticuados tienen tendencia a correr tras las causas y decir cosas como, "¿Cuál es la causa de esto? ... Cambie esto y vea qué pasa". Es posible tener éxito por casualidad al actuar así, pero es más probable que acaben cazando sus propias colas. Cuando se utiliza en enfoque del CC, debemos empezar por preparar los diagramas de causa y efecto y los gráficos de control de procesos de CC, luego observar e investigar el lugar cuidadosamente, estratificar los datos pertinentes de las características o los resultados según diversas causas, obtener una comprensión general de cómo se manifiestan a sí mismos los cambios, elaborar un cuadro general de la capacidad del proceso en su sentido amplio e identificar el índice de la capacidad del proceso (ver la sección 4.6.7). Al mismo tiempo, debemos investigar la variación debida al proceso ( $\sigma_p^2$ ), al muestreo ( $\sigma_s^2$ ) y a las medidas ( $\sigma_M^2$ ), tal como se explicó en la sección 4A.9.

Este enfoque básico es tan importante que jamás se hará demasiado hincapié en él. Si comprendemos los hechos sobre el objetivo o el resultado al que apuntamos, las medidas neutralizadoras adecuadas se harán obvias automáticamente. Por ejemplo, si descubrimos que los clientes están insatisfechos con una característica particular de un producto o servicio, a menudo el problema podrá ser resuelto instantáneamente.

## **(3) Avances y tácticas para lograrlos**

Tanto si se trata de lograr mejoras para toda la organización o individualmente, todas las personas afectadas jamás deben conformarse con la forma en que estén las cosas en ese momento. Tenemos que trabajar juntos, adoptar una visión a largo plazo y pensar en las formas de romper con el *statu quo*. Las empresas tienden al regionalismo y a mantener el *statu quo*. Una de las actitudes fundamentales necesarias para mejorar es acometer los problemas con

---

<sup>1</sup>

Por ejemplo, Ishikawa et al.: *Shoto Jikken Keikakuho Tekisuto* (Libro de Texto Elemental sobre el Diseño de Experimentos), JUSE Press.

perseverancia, aplastar el regionalismo y romper la camisa de fuerza de la situación existente.

Los mayores obstáculos para la mejora y las maneras nuevas de hacer las cosas están dentro de nuestras propias empresas y grupos. La mejora será imposible si se ignoran los factores humanos. Tenemos que idear formas de ganar y atraer al proceso de planificación a los que están más alto en la organización, a aquellos que no están de acuerdo, y a los que tienen actitudes negativas.

#### **(4) Evitar que vuelvan a repetirse los problemas y eliminar las causas básicas**

Es inútil suprimir los síntomas solamente; uno tiene que concentrarse en las clases de mejoras que eliminan las causas, especialmente las básicas (ver la sección 5.3.4).

### **4.6.2 Puntos que se han de especificar en los planes de mejora; normalización y métodos de control**

Tenemos que fijar los procesos en el estado deseado de control por medio de la realización de varios análisis y la preparación y ensayo de planes de mejora. Para conseguir algún beneficio, los planes de mejora tienen que especificar, por tanto, qué normas hay que preparar o revisar, y se tienen que formular métodos de control, empezando por el gráfico del proceso de CC. Esto significa que se tienen que decidir los siguientes puntos:

- (i) Normas para los métodos de medida, normas para el control de las medidas.
- (ii) Normas para los métodos de muestreo.
- (iii) Normas de calidad, niveles de control, normas de inspección, métodos de garantía de calidad, etc.
- (iv) Capacidades de los procesos.
- (v) Normas operativas, normas técnicas.
- (vi) Normas para el control de los equipos, normas para las materias primas, otros tipos de normas,
- (vii) Normas para el uso de los gráficos de control, normas para el control de los procesos.
- (viii) Asuntos a estudiar por los departamentos técnico, de investigación y otros pertinentes.
- (ix) Delegación de la responsabilidad y la autoridad. Estos elementos afectan principalmente a la normalización y a los métodos de control.

Siempre hay que tener presentes estos objetivos cuando se realiza el análisis; el analizar sin más los datos de forma aleatoria, sin un objetivo definido, no es más que jugar con números y es una pérdida total de tiempo.

## **4.7 Examen del análisis de los procesos y los métodos de mejora**

Los diversos métodos para analizar un problema una vez ha sido identificado se pueden clasificar como sigue:

- (i) Análisis y mejora por medio del uso de la tecnología patentada (ver la sección 4.7.1).
- (ii) Análisis y mejora por medio del uso de los conocimientos puestos en común (ver la sección 4.7.2).
- (iii) Análisis y mejora por medio del uso simultáneo de métodos estadísticos (ver la sección 4.7.6).

### **4.7.1 Análisis y mejora por medio del uso de la tecnología patentada**

Cuando surge un problema, probablemente poseamos conocimientos pertinentes nacidos de la larga experiencia, diversas teorías o tecnología patentada que nos permita analizar lógicamente el problema. Este saber práctico es valiosísimo; sin las teorías y la tecnología patentada no se pueden resolver los problemas.

Sin embargo, la aplicación incorrecta de la teoría y la tecnología patentada puede ocasionar equivocaciones graves y constituir un impedimento a la racionalización. Ahora me gustaría explicar algunos problemas que pueden surgir con la experiencia, la teoría y la tecnología patentada.

- (1) Los técnicos especializados en una tecnología determinada, especialmente los que poseen experiencia o que son autoridades en su campo, a menudo están excesivamente seguros de sí mismos y, por tanto, son extremadamente testarudos y no están dispuestos a escuchar las opiniones y los consejos de los demás. Puesto que no saben que un técnico que ignora los métodos estadísticos es sólo medio técnico, les resulta difícil aceptar el CC y los métodos estadísticos.
- (2) El que las cosas salgan con arreglo a la teoría o no es una cuestión eterna. También se dice a menudo que los experimentos se realizan para confirmar las teorías que a su vez emergen de los resultados de los experimen-

tos. Hablando en general, los experimentos serían innecesarios si todo saliera con arreglo a la teoría. Sin embargo, puesto que las teorías contienen usualmente ciertas suposiciones y condiciones previas, y también hay presentes varios errores y omisiones, se deben recoger datos y analizarlos, y se deben realizar experimentos para ver cómo funcionan realmente las cosas en la práctica. Igualmente, no siempre se producen cosas buenas aunque se hagan de acuerdo con los planos del diseño, cuando esos diseños están basados únicamente en la teoría y en la experiencia del pasado. En otras palabras, la teoría se tiene que tomar en consideración, pero también se tienen que realizar los análisis pertinentes para la confirmación. En la práctica, las causas asignables no presentes teóricamente y no estudiadas en la universidad ejercen a menudo una tremenda influencia.

- (3) La experiencia del pasado conduce a menudo a una fe ciega; por ejemplo, si en un proceso determinado, el rendimiento y la fracción de unidades defectuosas se deterioran después de un cierto tiempo, pero vuelven a sus valores originales cuando alguien sube la temperatura, las personas tenderán a sacar la conclusión de que siempre es bueno subir la temperatura (olvidando que en otra ocasión diferente el rendimiento no mejoró lo más mínimo cuando se subió la temperatura). Es humano recordar lo bueno y olvidar lo malo. En estadística, el efecto ilustrado por este ejemplo se llama "interacción".

En el ejemplo anterior, aunque mejoraron el rendimiento y la fracción de unidades defectuosas cuando se subió la temperatura, la causa real fue la operación del trabajador. La temperatura se subió justo cuando hubo un cambio de turno, y cambiaron los trabajadores, que fue realmente por lo que mejoró la situación. Esto condujo a la conclusión equivocada de que subir la temperatura era lo correcto. En estadística, a esto se le llama "confundir las causas". A menudo se pasa por alto la posibilidad de que haya interacciones y confusiones.

- (4) Los que viven exclusivamente de la tecnología patentada están siempre demasiado atados a lo que sucedió en el pasado.
- (5) Al mismo tiempo que discuten la teoría, la experiencia y la tecnología patentada, a menudo las personas están sorprendentemente confundidas. Esto se hace patente cuando se les hace que dibujen los diagramas de causa y efecto.
- (6) Cuando las personas no son sensibles a la dispersión, se preocupan y empiezan a saltar arriba y abajo por cada pequeño cambio en el rendimiento o la fracción de unidades defectuosas.
- (7) Algunas personas son incapaces de cooperar con otras.

Los puntos anteriores se refieren al mal uso o al uso torpe de la teoría, la tecnología patentada y la experiencia, pero la tecnología patentada es esencial para mejorar. Para usarla correctamente, tenemos que recordar los puntos siguientes:

- (1) Como he dicho una y otra vez, es vital identificar los problemas prioritarios sobre los que todo el mundo tiene que pensar seriamente y adquirir una comprensión firme de los hechos.
- (2) Se tienen que idear formas buenas de utilizar la experiencia, la tecnología patentada, a los trabajadores veteranos y a los teóricos.
- (3) Los conocimientos de las personas tienen que organizarse adecuadamente. Para esto son utilísimas las herramientas tales como los diagramas de causa y efecto, los histogramas, los gráficos y gráficos de control.
- (4) Cuando las personas hacen pronunciamientos convencidos, es importante comprobar la base de éstos y ver si su experiencia todavía es pertinente. Uno también tiene que comprobar las interacciones y la confusión de causas.

Considerándolo todo, la tecnología patentada individual es falible y sujeta a sesgo; por tanto debe construirse un cuerpo común de conocimientos poniendo en común los conocimientos individuales. Luego se deben recoger datos en línea con esto, realizar experimentos (ver las secciones 4.7.2 y 4.7.6) y utilizar herramientas estadísticas para comprobar la teoría a través de los hechos y los datos.

## **4.7.2 Análisis y mejora por medio del uso de los conocimientos puestos en común**

Poner en común los conocimientos es el método más práctico y eficaz de analizar y mejorar. Cuando se acomete realmente un problema prioritario y se refresca la conciencia de las personas respecto a él, se verá que todo el mundo tiene alguna información u opinión pertinente, o habrá observado algo útil. Es importante comenzar por reunir esta información. Una forma de hacerlo es con los equipos de CC y las actividades de los círculos de CC. Los pasos de este procedimiento se delinean a continuación:

- (1) Reunir a todas las personas, desde el encargado y los trabajadores del puesto de trabajo a cargo del problema hasta el *staff* de control de calidad, los directores de sección, supervisores, ingenieros, inspectores y, si es necesario, el personal de los departamentos de diseño, ventas y materiales, y celebrar una reunión de estudio de CC, una reunión del equipo de CC, o una reunión del círculo de CC. La persona que se enfrenta directa-

mente al problema (i.e., el encargado del puesto de trabajo a cargo del problema) debe ser el presidente; un encargado que no pueda presidir una reunión no puede llamarse encargado.

- (2) Explicar muy claramente el problema.
- (3) Hacer uso de la imaginación creativa para recoger información de todas las personas presentes, y dibujar un diagrama de causa y efecto.
- (4) Coger el diagrama de causa y efecto e ir *en masse*<sup>2</sup> al lugar real del problema. Investigar detenidamente las condiciones reales y volver a comprobar qué clase de unidades defectuosas y defectos están apareciendo. A continuación, ver las causas consideradas como causas fundamentales, y discutir cómo se está haciendo el trabajo en ese momento, si el procedimiento es satisfactorio, qué debería hacerse para mejorar las cosas y cómo deberían cambiarse las normas de trabajo y otras.
- (5) Si no se pueden sacar conclusiones sobre las causas después de la investigación anterior, analizar estadísticamente los datos, como se explicó en la sección 4A.6, o realizar experimentos según los métodos del diseño de experimentos.
- (6) Ejecutar un plan de mejora y comprobar los resultados haciendo comparaciones estadísticas con el uso de los gráficos de control, diagramas de Pareto, etc.
- (7) Celebrar reuniones de estudio y repetir este proceso tantas veces como sea necesario. Este tipo de investigación rara vez tiene éxito a la primera. Hay muchas causas posibles; por tanto, deben repetirse los pasos anteriores por orden, para cada causa. En esta situación, el CC es un trabajo duro, pero tenemos que aplicarnos tenazmente a la tarea.

Estas discusiones permiten que todas las personas afectadas renueven su concienciación respecto al problema, su grado de importancia y los diversos hechos que lo afectan. Los encargados que se convierten en buenos presidentes y pueden dirigir bien las reuniones se merecen lo que ganan.

### 4.7.3 Creatividad y sistemas de sugerencias

Una característica humana importante es nuestra capacidad de usar nuestras cabezas para pensar y generar sabiduría. Debemos ser siempre conscientes de los problemas y enfrentarnos a las cosas con una actitud interrogante. La creatividad y las sugerencias son una clase de mejora, y el número de sugerencias que da la gente es una indicación del deseo de mejorar de una empresa. En una empresa en la que se da una actividad vigorosa de los círculos

---

2

En francés en el original. (*N. de los T.*)

de CC, el número de sugerencias aumenta a pasos agigantados, con una media de unas doce por empleado y año (i.e., una al mes). Las empresas con una actividad todavía más vigorosa reciben unas cincuenta sugerencias al año (i.e., una a la semana) por empleado, y su porcentaje de aceptación es del sesenta al setenta por cien. Mientras una empresa promueva el CC, el CCT y las actividades de los círculos de CC, tiene que poner en práctica un sistema de sugerencias. Tales sistemas deben ser promovidos formando parte del CCT y deben ser administrados por la oficina de promoción del CC o del CCT.

Los siguientes puntos deben tenerse en cuenta cuando se establece un sistema de sugerencias:

- (1) Aclarar los malentendidos sobre el sistema de sugerencias. Fomentar un espíritu pionero. Hacer realidad las ideas.
- (2) No se preocupe de las variaciones cíclicas del número de sugerencias; trabaje para mejorar la calidad de las mismas.
- (3) Fomente tanto las sugerencias individuales como las de grupo (de los círculos y equipos de CC).
- (4) Asegúrese de que todas las personas de la empresa, independientemente de su cargo, no tengan reparos en hacer sugerencias.
- (5) Haga la participación más fácil para las personas a las que no les gusta escribir, e.g., disponiendo de ayudantes o consejeros del sistema de sugerencias que les ayuden al principio.
- (6) Fomente las sugerencias sobre temas específicos.
- (7) Incluya sugerencias para los planes de mejora y para los problemas que deberían acometerse.
- (8) Procese rápidamente las sugerencias, póngalas en práctica prontamente, dé razones cuando no se adopten las sugerencias y publique los resultados.
- (9) Considere la relación entre los sistemas de sugerencias y la normalización.
- (10) Establezca sistemas de evaluación y de recompensas. Haga que las sugerencias se adopten fácilmente. Base las recompensas en resultados acumulados, concediendo premios o elogios cuando se hagan las sugerencias, cuando se adopten, un año después, cinco años después, etc.

Al aumentar el número de sugerencias, será imposible que el comité de sugerencias evalúe cada una; por tanto se debe permitir que los supervisores de línea las evalúen y pongan en práctica bajo su propia autoridad. El comité de sugerencias es así responsable de vigilar el sistema de sugerencias, conocer las tendencias de las mismas y proporcionar orientaciones según la política, y decidir los premios de alto nivel tales como el Premio del Presidente y el Premio del Superintendente de Planta.



## 4.7.4 Diagramas de causa y efecto

Los diagramas de causa y efecto, un ejemplo de los cuales se muestra en la Figura 4.3, ilustran la relación entre las características (los resultados de un proceso) y aquellas causas que, por razones técnicas, se considere que ejercen un efecto sobre el proceso. Permiten que se resuman todas las relaciones entre las causas y efectos de un proceso. Cuando se utilizan junto con otras herramientas estadísticas, tales como los diagramas de Pareto, los diagramas de causa y efecto son útiles para promover la mejora del proceso según prioridades, acumular y organizar los conocimientos y la tecnología, consolidar las ideas de todos los empleados sobre las actividades relacionadas con el control, y facilitar las discusiones, la educación y otros diversos aspectos de las relaciones humanas. También son útiles para toda clase de actividades de calidad, cantidad, plazos de entrega y control de costes durante el desarrollo de nuevos productos, investigación y desarrollo, construcción de nuevas plantas, etc. Puesto que todo el mundo los comprende fácilmente, son una de las herramientas más importantes para la promoción y la puesta en práctica del CC.

### (1) Cómo hacer un diagrama de causa y efecto

- Decidir la característica que se ha de considerar.
- Dibujar una flecha horizontal en el centro de una hoja de papel conveniente, como se muestra en la Figura 4.3, y anotar la característica en cuestión en el extremo derecho de la flecha. Esta flecha, que forma el eje del diagrama, representa el proceso en consideración.

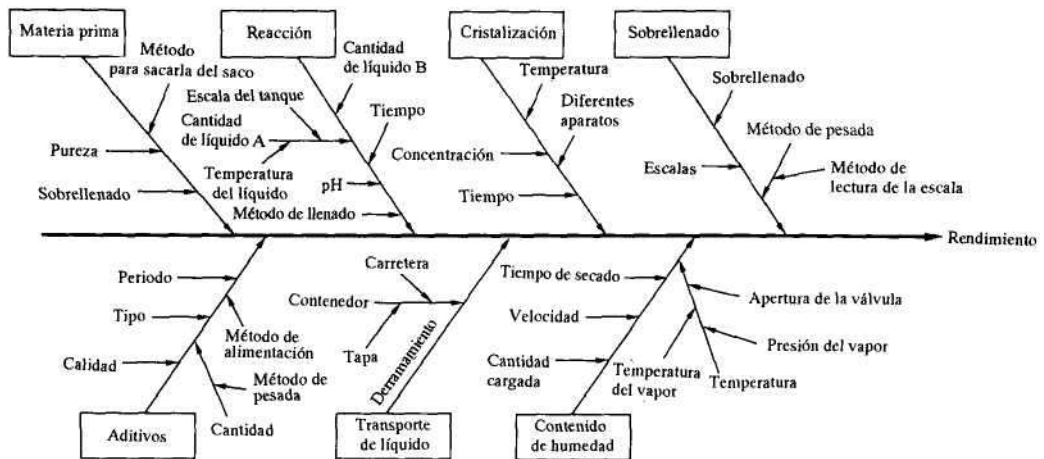
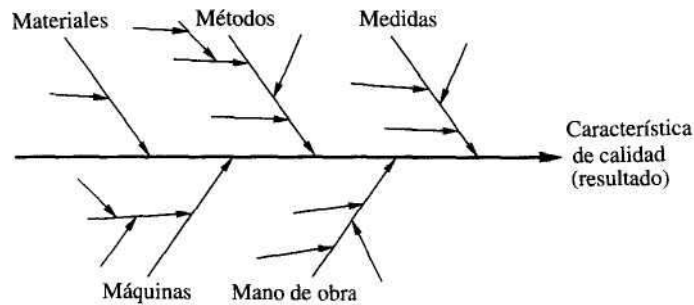


Figura 4.3: Diagrama de causa y efecto



**Figura 4.4: Las cinco "emes" para controlar los procesos**

- (c) Elegir unos nombres generales para las características sustituidas o las causas, y anotarlas en el diagrama por medio de flechas más pequeñas, empezando por la izquierda y siguiendo el orden del proceso. Se deben utilizar categorías generales tales como materias primas, equipo, métodos de trabajo, personas, condiciones ambientales, métodos de muestreo y métodos de medida. Se deben probar varios métodos de clasificación, e.g., orden de los procesos, departamento, función, etc., para ver cuál es el más fácil de usar.

No hay reglas específicas para dibujar el diagrama; lo importante es desglosar las categorías por medio del uso de ramas secundarias, terciarias, etc., explicadas más adelante en (d), hasta el punto en que se hayan identificado las causas sobre las que se pueda actuar. Las ramas principales deben designarse con los nombres de las causas de las casillas, como se muestra en la Figura 4.3. Recordar las "cinco emes" (mano de obra, materiales, máquinas, métodos y medidas) cuando se decidan las ramas principales, como se indica en la Figura 4.4.

- (d) Tomar las causas y desglosarlas todavía más, utilizando las ramas secundarias y terciarias. Por ejemplo, se pueden utilizar la temperatura, el tiempo, la velocidad, la carga, etc., como ramas secundarias del contenido de humedad en un proceso de secado. Tratar de comprender las relaciones entre causa y efecto todo lo posible y seguir multiplicando el número de ramas secundarias repitiendo la pregunta, "¿Por qué? ¿Por qué? ¿Por qué?" una y otra vez. Seguir escribiendo ramas secundarias y terciarias hasta que eventualmente se alcance una causa sobre la que se pueda actuar. Enumerar las causas sin más no es muy útil en realidad.

Al diagrama de causa y efecto se le apoda "diagrama de espina de pescado", pero un diagrama con una estructura tan simple como la que ese término implica no es muy útil. Es importante pensar en el diagrama

como si fueran las ramas de un árbol o como si se siguiera un río hasta su nacimiento.

- (e) Cuando se hayan registrado todas las causas posibles, clasificarlas por orden según la influencia que ejercen, basada en su significado técnico o según se decida en una votación.
- (f) Anotar siempre la fecha de preparación cuando se haga un diagrama, y añadir las fechas de cualesquiera revisiones, ya que éstas dan una indicación de los progresos.

## **(2) Ideas**

- (a) Cuando se prepara un diagrama de causa y efecto, se deben reunir tantas personas como sea posible, e.g., directores de departamento y de sección, encargados, operarios, ingenieros, diseñadores, especialistas de CC, etc., y todo el mundo debe poder expresar sus opiniones con libertad conforme se crea el diagrama. Hay que tener cuidado cuando el diagrama lo prepara una persona o un grupo pequeño de personas, ya que entonces puede sesgarse con facilidad. Si es posible, también deberían incluirse personas de otros procesos, y se debe hacer uso de la creación imaginativa para estimular el flujo de ideas. La persona que presida la reunión debe animar a las personas a que hablen para poder juntar las entradas de todos, y es especialmente importante crear una atmósfera en la que los operarios, los encargados y los no especialistas no tengan reparos en hablar. En este ejercicio no debería haber comentarios o discusiones cuando una persona ha manifestado una opinión. Es más importante escuchar lo que otros tienen que decir que expresar las propias ideas. Los elementos que se consideren innecesarios siempre se pueden eliminar más adelante. No es éste el momento de debatir si una causa determinada afecta o no al proceso o si es o no importante.

En principio, la sesión debe ser dirigida por alguna persona responsable del proceso en consideración, e.g., un director de sección, un supervisor o un encargado.

- (b) No despreciar las causas relacionadas con la gestión (las que no se encuentran en los libros de texto normales).
- (c) No olvidar cosas como los errores de muestreo o de medida y los métodos de cálculo.
- (d) Hacer varios diagramas de causa y efecto para cada característica.
- (e) Examinar cómo determinadas causas influyen sobre otras características (recordar la posibilidad de interacción, de confusión, etc.).
- (f) En vez de pensar en por qué ha ocurrido un problema, es mejor concentrarse en la mejor forma de resolverlo.

- (g) Durante la preparación de los diagramas de causa y efecto, las cosas y las mejoras sobre las que todo el mundo está de acuerdo en que deberían hacerse, deben normalizarse y ponerse en práctica rápidamente.
- (h) Para poner en práctica el control del proceso, es conveniente elegir métodos de clasificación que muestren claramente la responsabilidad y la autoridad de los departamentos, los encargados, etc., desde el punto de vista del control.
- (i) Es conveniente diferenciar entre las causas variables y las causas discretas.
- (j) Asegurarse de incluir todas las causas que se considere que son importantes por razones técnicas, independientemente de si se están midiendo o no en el momento presente o son susceptibles de ser medidas. Tales causas deben distinguirse con un símbolo especial.
- (k) Clasificar las causas como esporádicas, periódicas o crónicas. Señalar las causas que puedan producir anomalías.
  - (l) También es una buena idea utilizar símbolos especiales para las causas sospechosas de interacción.
- (m) Clasificar las causas según sean fáciles, difíciles o imposibles de controlar, teniendo en cuenta la responsabilidad y la autoridad cuando se decide qué se puede controlar y qué no.
- (n) Si se van a dibujar gráficos de control, clasificar las causas con arreglo a si crean dispersión dentro de los grupos o entre los grupos.
- (o) Conforme mejora un proceso, deben celebrarse reuniones de revisión para revisar mensualmente los diagramas de causa y efecto, siempre que suceda un accidente o una anomalía, o siempre que los diagramas de Pareto confirmen que ha cambiado el efecto relativo de las causas sobre las características de calidad.

### 4.7.5 Gráficos de los procesos de CC

Para crear y controlar productos y servicios, primero tenemos que decidir cómo crear y controlar los procesos pertinentes, así como considerar factores tales como la calidad, la cantidad y el coste, y dibujar gráficos que nos ayuden a ello. Tales gráficos se llaman generalmente "gráficos de control de proceso" (o tablas). Para garantizar la calidad, preparamos además gráficos de proceso de CC (o tablas) que presentan, de una manera fácil de entender, todo lo necesario en cada paso del trabajo, e.g., elementos de control, elementos de inspección, nombres de las personas responsables, métodos de medida, criterios de enjuiciamiento, relación con las especificaciones, métodos de control y normas relacionadas (ver la Figura 4.5).

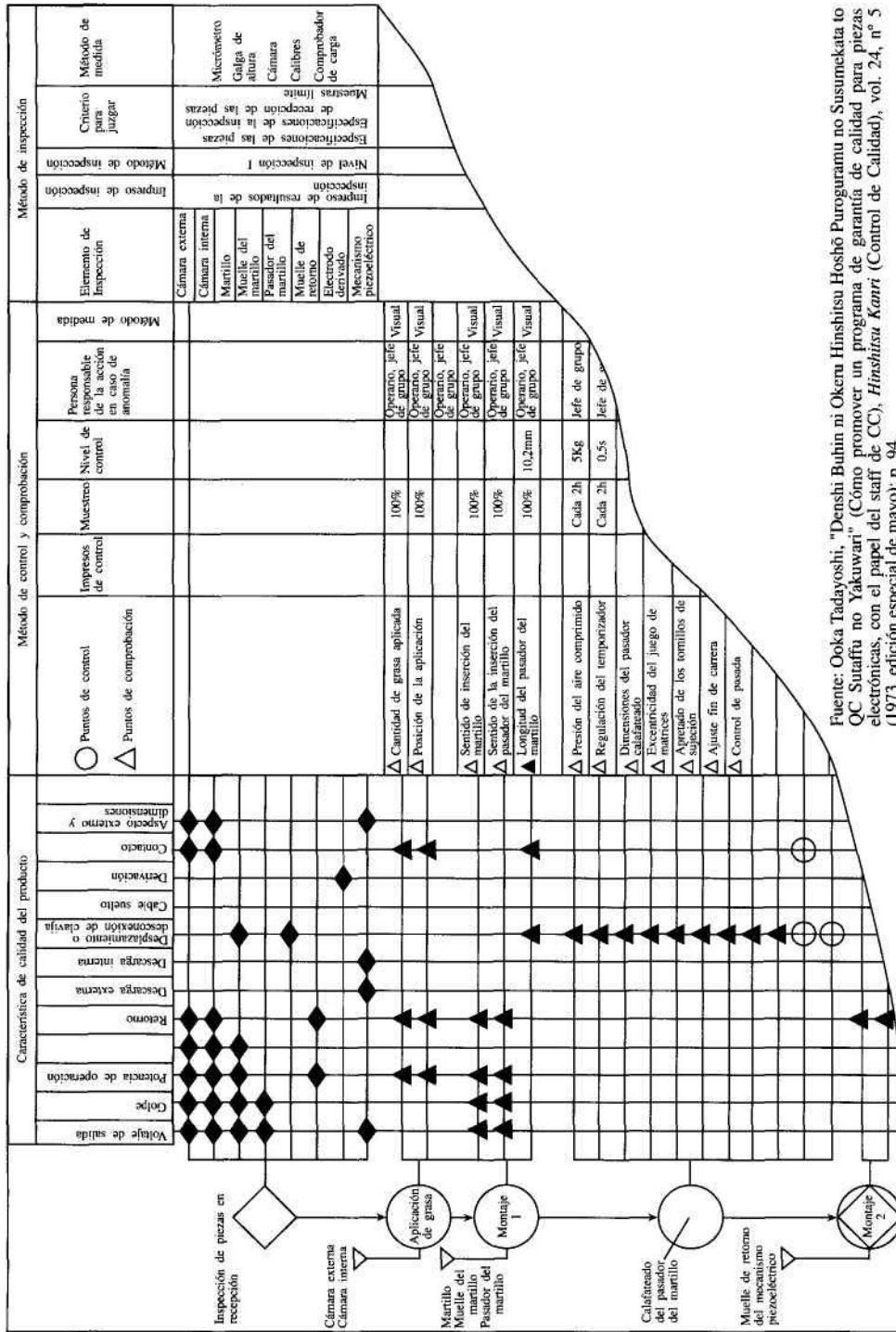
El gráfico de proceso de CC debe hacerse en realidad en dos pasos: cuando se está desarrollando un nuevo producto, el departamento de diseño decide, en la etapa de diseño, de manera general cómo emprender la fabricación del producto y lo resume en forma de Gráfico de Proceso de CC I; conforme el trabajo avanza hacia las etapas de producción del prototipo y piloto, los departamentos tales como ingeniería de producto dan cuerpo a este gráfico con detalles concretos y a su vez lo transforman en el Gráfico de Proceso de CC II, que puede ser utilizado realmente por el departamento de fabricación.

Los gráficos de proceso de CC también se utilizan en el análisis de un proceso; en este caso, el primer paso es preparar un diagrama de causa y efecto que luego se verifica con el gráfico de proceso de CC (preparando uno si es que no existe), mientras se investiga lo que está sucediendo en la práctica, y revisa el gráfico de proceso de CC basándose en los resultados del análisis para facilitar el control del proceso.

Las Figuras 4.5 y 4.6 son ejemplos de gráficos de proceso de CC para el análisis y la mejora del proceso. Deben utilizarse impresos como éstos para ayudar al control pero, puesto que varían según el tipo de producto o trabajo, deben hacerse a medida para que su uso sea cómodo. Conforme se desarrollan los gráficos, es importante coordinarlos con la preparación y la revisión de las normas.

#### **4.7.6 Análisis y mejora por medio del uso simultáneo de los métodos estadísticos**

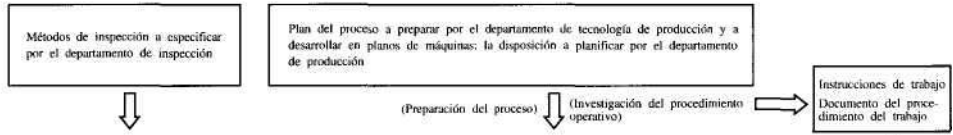
Si los métodos estadísticos descritos en los Capítulos 2, 3 y 4 se utilizan junto con los métodos anteriores, se pueden comprobar claramente los resultados de estos métodos de análisis y mejora, y la acción que se ha de adoptar también será obvia. En un debate basado en las opiniones en vez de en los hechos, cuando las personas dicen, "Yo creo que es esto" y, "No, esto es lo que yo creo", a menudo no gana el argumento correcto sino las opiniones de los más agresivos, los que tienen mayor posición social, o salen victoriosos los que tienen mucho palique. Obviamente, esto puede impedir los progresos futuros y ocasionar rencores. Cuando sucede esto, es mejor sustituir los argumentos por análisis estadísticos y llegar a conclusiones basadas en los hechos -i.e., cambiar al "control por medio de los hechos". Realizar una investigación utilizando solamente la tecnología patentada y la experiencia es como ir de Tokio a Kioto en una carretilla. Utilizar también los métodos estadísticos es como coger el tren de alta velocidad.



Fuente: Ooka Tadayoshi, "Denshi Buhin ni Okeru Hinshitsu Hoshō Puruguramu no Susumekata to QC Sutafu no Yakuwari" (Cómo promover un programa de garantía de calidad para piezas electrónicas, con el papel del staff de CC), *Hinshitsu Kanri* (Control de Calidad), vol. 24, n° 5 (1973, edición especial de mayo), n. 94.

Figura 4.5: Gráfico de un proceso de control de calidad

|                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                              |  |
|-------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------|--|
| Notas             |  | Plan del proceso (borrador)<br>Plan de cambio del proceso<br>Notificación de la revisión del proceso<br>del plan del proceso |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Taller                       |  |
| Planos de máquina |  | <input type="checkbox"/> A editar de nuevo<br><input type="checkbox"/> A modificar y volver a editar los planos actuales     |  |  |  |  | <input type="checkbox"/> A utilizar sin modificación los planos actuales<br><input type="checkbox"/> No editar |  |  |  |  | Número artículo              |  |
| Cambio N°         |  | (Modificación cambio n°)   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Nombre artículo              |  |
|                   |  | Fecha: Año Mes Día   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Número utilizado             |  |
|                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Tipo de vehículo             |  |
|                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Observaciones                |  |
|                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Disposición del equipo viejo |  |



|                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |                       |  |                             |
|---------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|-----------------------|--|-----------------------------|
| Gráfico del proceso de CC |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Editado: Año Mes Día                    |  |  | Artículo n°           |  | Página                      |
| Ubicación del procesado   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Proceso                                 |  |  | Nombre del artículo   |  |                             |
|                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Método de control                       |  |  | Instrumento de medida |  | Gráfico de control n°       |
|                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Inicial                                 |  |  | Regular               |  | Hoja de comprobación n°     |
|                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Método de muestreo (numero de muestros) |  |  | Módulo                |  | Instrucción de trabajo n°   |
|                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Intervalo                               |  |  | Controlador           |  | Procedimiento de trabajo n° |
|                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Controlador                             |  |  |                       |  | Conexiones                  |

El plan de control está resumido en el gráfico de proceso de CC, y los detalles se establecen durante la etapa de preparación del proceso.

Esto resume las características de control en los gráficos de control requeridos y da instrucciones para poner en práctica esos gráficos.

|   |  |             |  |             |  |                     |  |                           |  |                                    |  |                                   |  |            |  |                       |  |                                 |  |                                |  |                            |  |
|---|--|-------------|--|-------------|--|---------------------|--|---------------------------|--|------------------------------------|--|-----------------------------------|--|------------|--|-----------------------|--|---------------------------------|--|--------------------------------|--|----------------------------|--|
| Gráfico de características de control (para variables)<br>Poner en práctica los gráficos de control mostrados abajo |  |             |  |             |  |                     |  |                           |  | N°                                 |  |                                   |  |            |  |                       |  |                                 |  |                                |  |                            |  |
|   |  |             |  |             |  |                     |  |                           |  | Director de departamento           |  | Director de sección               |  | Supervisor |  | Persona responsable   |  |                                 |  |                                |  |                            |  |
| Gráficos de control para variables, $\bar{x}-R$ y $\bar{x}-R_s$ ; gráfico de control modificado                     |  |             |  |             |  |                     |  |                           |  | Ubicación de la puesta en práctica |  | Departamento sección grupo        |  |            |  |                       |  |                                 |  |                                |  |                            |  |
| Archivo n°  |  | Registro n° |  | Artículo n° |  | Nombre del artículo |  | Característica de control |  | Valor especificado                 |  | Máquina n°<br>Equipo de procesado |  | Muestreo   |  | Instrumento de medida |  | Persona responsable del control |  | Fecha de la puesta en práctica |  | Tipo de gráfico de control |  |
|   |  |             |  |             |  |                     |  |                           |  |                                    |  | n                                 |  | Intervalo  |  |                       |  |                                 |  |                                |  |                            |  |

Figura 4.6: Ejemplo de plan de control de los procesos para un proceso de mecanizado

Se tienen que tener presentes los puntos siguientes cuando se utilizan los métodos estadísticos para analizar procesos, comparar las condiciones antes y después de la mejora, o reconocer los hechos.

- (1) Preparar distribuciones de frecuencias estratificadas, gráficos de control, etc., para comparar las condiciones antes y después de la mejora.
- (2) Dibujar diagramas de Pareto antes y después de la mejora e investigar los valores absolutos y relativos de cada artículo.
- (3) Estratificar y realizar análisis de correlación para comprobar si ha habido cambios en las relaciones entre las causas sobre las que se ha actuado y las características que se están investigando antes y después de la mejora.

Si el análisis anterior muestra estadísticamente que ha tenido lugar un cambio beneficioso después de una mejora, que la mejora fue eficaz se convierte en un hecho probado.

#### **4.7.7 Estudios de la capacidad de los procesos**

Los estudios de la capacidad de un proceso son la piedra angular del control de calidad. Toda la cadena de actividades de CC -esto es, diseño de calidad, diseño de proceso, planificación y control del equipo, control del proceso, y mejora, etc.- es imposible sin el conocimiento de la capacidad del proceso. En resumen, los estudios de la capacidad de proceso desempeñan un papel central en el CC.

La palabra "proceso" tiene muchas definiciones; sucintamente puede definirse como "un conjunto de causas que producen ciertos resultados". Algunos ejemplos concretos son:

- (a) Máquinas individuales o un equipo que funciona bajo ciertas condiciones fijas.
- (b) Máquinas individuales o un equipo que funciona bajo condiciones (tales como operarios, materiales, tiempos, etc.) con cierto grado de variación, i.e., que funcionan en un determinado marco.
- (c) Una serie de operaciones realizadas por varias máquinas conectadas entre sí o piezas de equipo.
- (d) Aparte de la maquinaria y el equipo, una manera de hacer un determinado trabajo, e.g., el trabajo global de garantía de calidad, ventas, compras o servicio.

La capacidad de proceso puede definirse como "el comportamiento de un proceso durante cierto periodo de tiempo durante el que está en el estado controlado estadísticamente". Usualmente se expresa en términos de la distribu-



ción de la calidad o por medio de la fracción de unidades defectuosas, el número de defectos, etc. En sentido más general, expresa los resultados de un proceso o una distribución de los valores de una característica. Cuando el proceso consiste en una sola máquina, su comportamiento en términos de calidad se llama "capacidad de la máquina" o "precisión de la máquina". En el ejemplo (a) anterior, a esto se llamaría "capacidad estática de la máquina" (o precisión), mientras que en el ejemplo (b) sería "capacidad dinámica de la máquina" (o precisión).

El término generalmente utilizado "capacidad de producción" quiere decir comportamiento cuantitativo, y se tiene que tener cuidado en no confundirlo con la capacidad de proceso, que quiere decir comportamiento cualitativo. Tradicionalmente, la industria japonesa se ha concentrado en investigar la capacidad de producción e incluso ahora dedica tiempo insuficiente a estudiar la capacidad cualitativa de los procesos. Mientras estemos poniendo en práctica el control de calidad, tenemos que estudiar constantemente la capacidad de los procesos.

Controlar un proceso significa conseguir que dé su máxima capacidad en el estado controlado, pero mejorar un proceso significa aumentar su capacidad, i.e., estudiar y mejorar su capacidad.

A continuación hay algunas indicaciones para investigar la capacidad de un proceso:

- (1) Cuando se determina la capacidad de un proceso, éste tiene que estar en el estado controlado, tiene que haber sido normalizado y no tiene que contener causas asignables. Esto no puede hacerse preparando un histograma únicamente con, por ejemplo, los datos de un mes y utilizar esto como la capacidad del proceso.
- (2) La capacidad de proceso es más fácil de investigar si se ilustra gráficamente de una de las siguientes maneras:
  - (i) En forma de gráfico de control  $\bar{x}$ - $R$  u otro tipo de gráfico de control,
  - (ii) Como gráfico con los valores de la especificación (gráfico de la capacidad del proceso),
  - (iii) En forma de histograma.
- (3) Con variables, la capacidad de un proceso puede expresarse numéricamente por  $\hat{\sigma}_d (= \bar{R} / d_2)$  o  $S_H$  (la desviación estándar obtenida en un histograma). Éstas han de calcularse generalmente utilizando por lo menos cincuenta datos. La  $\hat{\sigma}_d$  calculada a partir de  $\bar{R}$  obtenido de datos subgrupos racionalmente expresa la capacidad del proceso en un estado más o menos satisfactoriamente controlado y también se llama "capacidad de proceso a corto plazo". Por el contrario, la  $S_H$  calculada a partir de los

datos obtenidos de un proceso cuyos gráficos de control indican el estado controlado incluye la variación a largo plazo y, por tanto, se llama a veces "capacidad de proceso a largo plazo". La  $S_H$  de un proceso que no está en estado controlado no es la capacidad de proceso. Con atributos, la capacidad de proceso se puede expresar por  $\bar{p}$ ,  $\bar{c}$ , etc.

- (4) El índice de la capacidad de proceso  $C_p$  (comparación con los valores de la especificación) se calcula de la forma siguiente:

$C_p = (\text{LSE} - \text{LIE})/6 \hat{\sigma}_d$  (cuando hay límites superior e inferior en la especificación)

$C_p = (\bar{x} - \text{LIE})/3 \hat{\sigma}_d$  o  $C_p = (\text{LSE} - \bar{x})/3 \hat{\sigma}_d$  (cuando sólo hay un límite en la especificación)

en la que LIE es el límite inferior de la especificación, LSE es el límite superior de la especificación, y  $\bar{x}$  es la media del proceso.

A continuación están las categorías en que se divide el índice de la capacidad de proceso, según los valores deducidos en las fórmulas anteriores:

$C_p > 1,67$  (Clase especial): Se debe apuntar a una capacidad del proceso de 1,67 o más cuando se pretende un control de ppm, una fracción de unidades defectuosas del orden de millonésimas, o una fiabilidad altísima. Esta calidad es demasiado elevada para fines generales.

$1,67 \geq C_p > 1,33$  (Clase A): Calidad muy buena. Se puede reducir la inspección.

$1,33 \geq C_p > 1,0$  (Clase B): Calidad bastante buena. Es suficiente la inspección por muestreo.

$1,0 \geq C_p > 0,67$  (Clase C): Se producirán algunas unidades defectuosas.  $C_p$  debe aumentarse a 1,0 o más.

$0,67 \geq C_p$  (Clase D): Muy mala.

Se tienen que señalar unas pocas cuestiones. Primero, se puede utilizar  $S_H$ , que está en el lado seguro, en vez de  $\hat{\sigma}_d$ . Cuando  $S_H$  es mucho mayor que  $\hat{\sigma}_d$ , hace falta mejorar más el proceso (ver la sección 3A.3(6)).

Segundo, si hay límites superior e inferior en la especificación, un  $C_p$  de 1,0 corresponde a  $6\sigma$ , el de 1,33 a  $8\sigma$ , el de 1,67 a  $10\sigma$ , y el de 0,67 a  $4\sigma$

- (5) El índice del sesgo,  $D_p$  (investigación del sesgo en la media) se deduce de la siguiente fórmula:

$$D_p = (\bar{x} - \text{LIE})/\hat{\sigma}_d \text{ ó } D_p = (\text{LSE} - \bar{x})/\hat{\sigma}_d$$

Si hay límites superior e inferior en la especificación, es mejor si  $x$  está situado en el centro, entre el LIE y el LSE. Las categorías para los valores de  $D_p$  son:

- $D_p > 5$  Igual que para  $C_p > 1,67$
- $5 \geq D_p > 4$  Bastante bien. En algunos casos,  $\bar{x}$  debería desplazarse para reducir  $D_p$  ligeramente.
- $4 \geq D_p > 3$  Bastante bien. Si es necesario,  $\bar{x}$  debería desplazarse para aumentar  $D_p$  ligeramente.
- $3 \geq D_p$  Puesto que esto originará unidades defectuosas, debe reducirse la variación ( $\hat{\sigma}_d$ ) o se debe desplazar  $\bar{x}$  para aumentar  $D_p$  por encima de 3.
- (6) El control anticuado del equipo consistía solamente en reparar el equipo que se había estropeado; luego avanzó a una segunda fase, la de controlar el equipo para que, en primer lugar, no se estropeará. Para los fines del CC, sin embargo, el objetivo del control del equipo es asegurarse de que los procesos dan toda su capacidad sin ningún deterioro y, además de eso, aumentar las capacidades de proceso e incrementar la fiabilidad del equipo. En otras palabras, los estudios de las capacidades de los procesos y el control del equipo son las dos caras de la misma moneda. Cuando el CCT ha hecho unos cuantos progresos, debe ponerse en práctica el MPT (mantenimiento productivo total).
- (7) Las investigaciones y los estudios de la capacidad de proceso los realizan normalmente departamentos tales como control de calidad, ingeniería de producción, fabricación y control del equipo, o equipos de CC. Sin embargo, un círculo de CC competente puede hacerlo como si fuera un proceso propio. En cualquier caso, es importante definir claramente quién es responsable y tomar una decisión firme sobre qué departamentos van a hacer las investigaciones y cuáles van a hacer la investigación y el desarrollo.
- (8) Los estudios de la capacidad de proceso no deben limitarse a la propia empresa; deben abarcar todo lo que va desde el diseño hasta el sistema de distribución que pone el producto en manos del consumidor, pasando por los proveedores y el proceso de fabricación. Idealmente también deben investigarse la capacidad de los procesos administrativos, los sistemas informáticos, el procesado de la información, etc.
- (9) Los departamentos que deben conocer las capacidades de proceso incluyen, probablemente, a compras, fabricación, diseño, ingeniería de producción, control de calidad, control de equipos y ventas. En los puestos de trabajo, si los supervisores y operarios comprenden lo que es la capacidad de proceso, se interesarán por controlarla y mejorarla, y se obtendrán enormes beneficios si lo consiguen.
- (10) No se conforme simplemente con hacer estudios de las capacidades de procesos; tienen que utilizarse para la investigación, el control y la mejora.

## 4.8 Algunas ideas generales sobre el análisis

Los siguientes puntos tienen que tenerse presentes cuando se utilizan las herramientas estadísticas para analizar los datos de un puesto de trabajo con el fin de adoptar medidas contra las causas asignables. Las ideas dadas aquí sirven para el análisis estadístico de los datos rutinarios (datos de los tipos (i) e (ii) de la sección 4.6.1 (1); ver la sección 4A):

- (1) Los datos deben estratificarse por causas durante su recogida.
- (2) Los datos deben ser recogidos de forma que las causas correspondan a las características que se están investigando.
- (3) En la medida de lo posible, los valores individuales no procesados deben ser utilizados para el análisis, mientras que se deben evitar los promedios y los totales.
- (4) Siempre que sea posible, los datos rutinarios deben presentarse en forma de gráficos para que sean fácilmente comprensibles.
- (5) No se puede ignorar nada que esté anotado en los registros; hasta las observaciones subjetivas como "Las cosas van bien" o "No está en buenas condiciones" son utilísimas para el análisis.
- (6) Si los resultados contradicen la experiencia o los conocimientos anteriores, se deben verificar los siguientes elementos en el orden dado:
  - (i) Uso de herramientas estadísticas,
  - (ii) Método utilizado para llegar a una conclusión,
  - (iii) Exactitud de los cálculos.
  - (iv) Autenticidad de los datos y uso de métodos de muestreo y de medida.
  - (v) Fundamento y autenticidad de la experiencia o de los conocimientos anteriores.
- (7) Si el análisis de algo que se pensó que era una causa asignable indica que, en realidad, no afecta al proceso, uno no debe desanimarse. Hace falta tenacidad y perseverancia. Cuando se analiza un factor y se ve que no tiene ningún efecto, esto indica sencillamente que los ingenieros que lo sugirieron no comprendieron la situación. Uno tiene que ser positivo; saber que un factor determinado no afecta a los resultados finales sigue siendo una información valiosa, ya que puede permitir que se adopte una alternativa más barata.
- (8) Cuando la existencia de muchas causas posibles hace que la situación no esté clara, se tiene que analizar cada causa, una a una, empezando por la que se piense que tiene el mayor efecto. Cuando hay demasiadas causas posibles que enturbian la situación, es mejor hacer uso del análisis multivariante.

- (9) Siempre es mejor trabajar en parejas o en grupos de tres o más.
- (10) Mientras se realiza el análisis, uno tiene que seguir preguntándose cómo puede reducirse la variación y qué clase de acción debería acometerse.
- (11) Cuando se investiga una causa determinada, se pueden preparar diagramas de causa y efecto para otras características, y se puede determinar el efecto que la causa tiene sobre éstas. Eliminar una causa puede mejorar una característica pero puede empeorar otra.
- (12) Cuando se haya identificado una causa asignable de variación, se deben intentar varios cursos de acción hasta que la variación haya sido eliminada.
- (13) Según el principio de Pareto, generalmente hay dos o tres causas asignables importantes; su eliminación reducirá a más de la mitad el número de unidades defectuosas. Así pues, reducir el número de unidades defectuosas (e.g., elevar el rendimiento del sesenta al ochenta por cien, del ochenta al noventa por cien, o del noventa al noventa y cinco por cien) es, usualmente, comparativamente sencillo. Por esto digo, "El noventa y cinco por cien de los problemas que hay en los puestos de trabajo se pueden resolver por medio del uso de las Siete Herramientas del CC".
- (14) Puesto que los datos pueden elevarse fácilmente y desmandarse, deben utilizarse las herramientas estadísticas (especialmente las pictóricas) en toda oportunidad.
- (15) Los resultados de una acción deben comprobarse estadísticamente por medio de gráficos de control u otros métodos; la acción debe normalizarse formalmente si es beneficiosa; y se debe establecer el control para que no vuelva a suceder el mismo problema.
- (16) En muchos casos, es mejor completar todos los análisis de los datos anteriores antes de empezar a recoger datos nuevos y realizar los experimentos planificados.
- (17) Los resultados de un análisis deben siempre resumirse en un informe escrito para su cotejo y archivo por el departamento técnico. Aún cuando se alcancen conclusiones inesperadas, estos informes formarán una reserva valiosa de información técnica para la empresa.

## 4.9 Procedimientos generales para el análisis estadístico

Aunque el procedimiento general presentado aquí para realizar los análisis estadísticos variará según el proceso que se esté analizando y las condiciones reinantes, proporciona un marco general útil. La idea fundamental no es analizar las causas sino analizar los datos de los resultados, obtener una comprensión firme de los hechos, buscar las causas asignables y entrar en acción. Este

método da ideas e indicaciones para analizar grandes cantidades de datos anteriores y que no se pueden correlacionar. Hoy día, los ordenadores se utilizan a menudo para realizar los análisis de regresión, los análisis de regresión múltiple, etc. Si las correcciones de los datos requeridas en los pasos 8, 10, 12, etc. son demasiado pesadas, se pueden omitir.

- (1) Poner en común los conocimientos de todos para preparar un diagrama de causa y efecto para la característica buscada (o resultados), anotando los efectos debidos a las combinaciones de las causas y cualquier otra cosa que pudiera dar lugar a la confusión de las causas, y dibujar un gráfico de proceso de CC para el proceso que se esté investigando. Luego todo el mundo debe trabajar conjuntamente para comprobar la situación real y descubrir lo que está sucediendo en la práctica a las características y a las causas.
- (2) Recoger por lo menos cien datos sobre cada característica y causa relativas al problema. Es mejor no recoger los datos de un solo día o de un periodo de una hora sino de un periodo de varios días o uno o más meses.
- (3) Disponer los datos de cada característica en forma de histograma, calcular luego la media y la desviación estándar y comparar éstas con los valores de referencia o de las especificaciones. Cuando se hace esto, es muy importante estratificar los datos de varias maneras. Para las causas debe seguirse el mismo procedimiento.
- (4) Representar los datos en un gráfico de control u otro gráfico, por orden de tiempo, lote, etc., para obtener una imagen del estado real de las cosas. Las variaciones dentro de los subgrupos y entre los subgrupos deben estar bien separadas, e investigadas detenidamente sus causas.

(Nota: los pasos 3 y 4 son los primeros en los estudios de capacidad de procesos.)

- (5) Comprobar el patrón de los puntos del gráfico de control o del otro gráfico como sigue:
  - (a) ¿Caen fuera de los límites de control algunos puntos?
  - (b) ¿Están los puntos distribuidos al azar?
  - (c) ¿Hay alguna periodicidad? Si la hay,
    - (d) ¿Hay muchas rachas?
    - (e) ¿Hay alguna tendencia?

En resumen, comprobar si hay anomalías en el patrón que forman los puntos. Si se encuentra alguna anomalía, identificar la causa y eliminarla preparando por escrito normas adecuadas. El punto (a) abarca muchas causas esporádicas.

Nota: Hay que tener cuidado puesto que los datos de un puesto de trabajo contienen usualmente valores contaminados tales como valores aberrantes, datos falsos, datos muy inexactos, errores de cálculo y datos mal leídos o copiados.

(6) Preparar gráficos de control modificados para las características eliminando cualquier punto o dato que sea claramente atribuible a causas asignables, subagrupando los datos para optimizar la uniformidad dentro de los subgrupos, y volviendo a dibujar los gráficos. Es mejor subagrupar los datos de forma que den la máxima uniformidad dentro de los subgrupos cuando se realiza el análisis, pero no es necesario cuando se dibujan gráficos de control para el control de proceso.

(7) Repetir el paso 5, entrar en acción y eliminar cualquier punto o dato claramente atribuible a causas asignables y volver a calcular los límites de control. Seguir repitiendo este paso.

Si surge una situación en la que se descubre una causa asignable, pero las personas que realizan el análisis o que están implicadas en el proyecto no tienen autoridad para entrar en acción o normalizar, se debe rellenar un impreso de informe de anomalías y pasarlo al área adecuada para que actúe. También se deben preparar gráficos de anomalías en los cuales el área contactada puede anotar la acción acometida o indicar que no se acometió ninguna. En aras de la claridad, la causa también debe marcarse con una "x" o cualquier otro símbolo en el diagrama de causa y efecto, con una indicación de si se acometió o no alguna acción. En resumen, es importante organizar y reunir los conocimientos obtenidos del análisis de alguna forma específica.

(8) Con causas asignables discretas, los datos sobre las características deben estratificarse según las condiciones existentes (en términos de atributos) en el momento en que se produjo el lote, y deben investigarse por medio de una lista de comprobación, un histograma o un gráfico, o subagrupando racionalmente los datos y representando un gráfico de control separado para cada estrato. Cuando hay muchas causas discretas, se deben seguir los pasos siguientes:

(a) Cuando hay muchos datos, deben estratificarse en el orden de los factores que se considere que son más significativos técnicamente, e.g., primero por el horno, y luego por el grupo de trabajo, el material, etc. Cuando se hace esto, es mejor tener por lo menos cien datos.

(b) Cuando no hay muchos datos, examinar los datos estratificándolos sucesivamente de varias maneras; por ejemplo, si se ve que distintos hornos dan distintos promedios, corregir los datos solamente para esta diferencia y estratificarlos luego según el grupo de trabajo. Si durante este procedimiento se ve que una causa determinada no muestra ninguna diferencia respecto del promedio, volver a esta causa más adelante e intentar otra vez el mismo método de estratificación después de corregir los datos para otras causas que sí que manifiestan una diferencia respecto al promedio.

Si el análisis anterior revela puntos que caen fuera de los límites de control, acometer la acción oportuna y normalizar para eliminar la diferencia anómala entre los estratos. Si es posible, seguir estratificando y corrigiendo así hasta que al final se obtenga un gráfico de control más o menos satisfactorio.

Deben observarse unos cuantos puntos sobre los procedimientos de estratificación:

Primero, si dos causas discretas pueden tener un efecto combinado -esto es, si pueden estar interaccionando- proceder como en el ejemplo siguiente: si hay dos piezas del equipo,  $A_1$  y  $A_2$ , y dos operarios,  $B_1$  y  $B_2$ , y se cree que hay una interacción, estratificar los datos por equipo y luego estratificarlos más por operario y para cada pieza del equipo, lo que da un total de cuatro estratos; luego preparar un gráfico de control u otro gráfico para cada estrato.

Segundo, si se corrigen demasiadas veces los mismos datos, habrá un error mayor en los datos finales debido al error de la estimación de la diferencia en cada corrección.

Tercero, generalmente cuanto menor es  $\bar{R}$ , mayor es la precisión de una estimación. Igualmente, cuantos más subgrupos y datos haya, mayor es la precisión.

Cuarto, un contraste de los signos u otras pruebas de las diferencias en las medias también puede hacerse sin depender sólo de los gráficos de control.

- (9) Con causas variables, se pueden detectar las anomalías y revisar las normas de trabajo por medio de las propias medidas para dibujar gráficos, histogramas o gráficos de control y realizando una investigación técnica del estado de la dispersión y la forma en que cambia con el tiempo. Sin embargo, también es necesario realizar un análisis estadístico para ver qué clase de efecto tienen estas causas sobre el proceso, i.e., sobre las características de calidad producidas por el proceso en el entorno operativo real (ver la sección 4A.5).

Para hacerlo, deben ponerse unos al lado de otros y compararse los gráficos o gráficos de control representados en orden temporal para cada causa variable y característica de calidad. Primero debe hacerse uso del método de la mediana para examinar si hay una correlación grande entre causas y características, entre una característica y otra, o entre una causa y otra. A continuación, debe hacerse uso del método del segmento para determinar si hay alguna correlación pequeña. Con frecuencia es más fácil obtener una imagen de una correlación grande si se dibuja un diagrama de dispersión, que también puede simplificar el análisis.



- (a) Si la conclusión es que existe una correlación grande (ver la sección 4A.8), la causa tiene un efecto definido sobre la característica, independientemente del grado de influencia de otras causas. Por tanto, deben revisarse las normas operativas para reducir el recorrido de la dispersión para esta causa. Cuando se hace esto, el histograma de la causa debe estrecharse hasta unas dos desviaciones estándar o hacia el rango en el que la operación pueda realizarse satisfactoriamente desde el punto de vista técnico. No es bueno ser demasiado idealista sólo porque exista la correlación, estrechar demasiado el recorrido y poner normas que son imposibles de alcanzar. Una solución alternativa es hacer uso del control automático.

Cuando hay una correlación grande, también deben realizarse los análisis de autocorrelación.

- (b) Si la conclusión es que existe una correlación pequeña, es que otras causas tienen un gran efecto y la causa presente está ejerciendo un efecto pequeño, no uno grande. Primero es necesario controlar las otras causas, pero, de ser posible, deben revisarse las normas operativas para controlar también la causa presente. Este tipo de correlación se puede ignorar al principio, pero ciertamente la causa tiene que suprimirse si las pequeñas fluctuaciones de las características se convierten en un problema.
- (c) Cuando hay un número elevado de causas variables, debemos comenzar por considerar las que pensemos que ejercen un efecto mayor desde el punto de vista técnico y viendo qué causas tienen una correlación grande con la característica de calidad. Al mismo tiempo, debemos buscar las correlaciones entre las causas y elaborar un gráfico de causa y característica tal como el mostrado en la Tabla 4.2. Se puede obtener la información de cómo se realizan las operaciones en la fábrica o en el puesto de trabajo llevando a cabo varias investigaciones de ello.

Son de señalar unos pocos puntos más referentes a las causas variables:

Primero, las causas variables también se pueden investigar, por medio de la estratificación, dividiendo su variación entre varios recorridos diferentes.

Segundo, cuando los resultados tardan en aparecer, las correlaciones se pueden obtener desplazando los datos a tiempos diferentes. En algunos casos, se pueden descubrir las correlaciones tomando los promedios móviles.

En la Tabla 4.2, por ejemplo, el análisis estadístico de las operaciones presentes revela que las causas A, D e I están correlacionadas positi-

**Tabla 4.2: Gráfico de causa y característica**

|         | Caracte-<br>rística | Causa I | H       | G | F       | E | D | C       | B |
|---------|---------------------|---------|---------|---|---------|---|---|---------|---|
| Causa A | **<br>+             | ⊖       | **<br>- | ⊖ | **<br>- | ⊕ |   |         |   |
| B       | ⊕                   |         | ⊕       |   | ⊖       |   |   | **<br>- |   |
| C       | ⊖                   |         |         |   |         |   |   |         |   |
| D       | *<br>+              |         | ⊖       |   |         |   |   |         |   |
| E       | ⊕                   | **<br>- | ⊕       |   | ⊕       |   |   |         |   |
| F       | **<br>-             |         |         |   |         |   |   |         |   |
| G       | ⊖                   |         |         |   |         |   |   |         |   |
| H       | ⊖                   |         |         |   |         |   |   |         |   |
| I       | **<br>+             |         |         |   |         |   |   |         |   |

+: correlación positiva  
 -: correlación negativa  
 \*: significación del 5%  
 \*\*: significación del 1%  
 ○: sin significación  
 Cuadrado vacío: no analizado

vamente, y la causa F, negativamente con la característica. Una mirada a la correlación entre las causas, no obstante, indica que las causas A y F están correlacionadas negativamente. Una investigación posterior revela que, aunque F se ha considerado como una causa asignable, es difícil de controlar y es técnicamente posible que F disminuya de forma natural cuando A aumenta. Por tanto, en este caso es suficiente con establecer unos estándares operativos claras para A. Si es preciso, también se pueden establecer para F normas complementarias dependientes de A.

Hay una correlación entre H y A, y está claro desde el punto de vista técnico que H disminuirá sola si A se controla bien. La causa I es controlable y se deben establecer estándares operativos para ella, pero hay una correlación negativa entre I y E, mientras que no hay correlación entre E y la característica. Además, E es controlable. Un examen detenido indica que E está mal controlada y que produce los correspondientes cambios grandes en I y, consecuentemente, afecta a la característica. En esta situación, se deben establecer, por tanto, estándares adecuados para E, y los estándares para I deben establecerse con arreglo a aquellas.

D es un factor controlable independientemente, que guarda poca relación con cualquier otra causa. Puesto que de él es responsable una fábrica diferente, el comité de control de calidad decide emitir un

informe de anomalías y hacer que la otra fábrica reduzca el recorrido del estándar de la calidad.

Aunque B y C no están relacionadas con la característica, hay una correlación negativa entre ellas, y C se ajusta para anular cualquier cambio en B. Aunque esto no afecta directamente a la característica, está trastornando el proceso; por tanto se toma la decisión de establecer normas operativas para B. En cuanto a G, el gráfico revela que es suficiente con normalizar la operación presente sin modificación. Como indica el ejemplo anterior, cuando se investiga detenidamente el gráfico desde el punto de vista técnico, salen a la luz varios hechos; se puede ver claramente la llamada "correlación falsa" y se puede poner en práctica bien la normalización. Si se hace esto con diligencia todos los meses o durante tres meses al principio, se pueden racionalizar gradualmente las normas de acuerdo con la situación presente. Debe señalarse que cuando hay varias características, también deben agruparse e investigar su correlación como en la Tabla 4.2. Hay que tener cuidado, ya que una característica podría deteriorarse al mejorar otra.

Otro punto a señalar es que la cantidad de información proporcionada por la tabla anterior aumentará más si también se indican las correlaciones a pequeña escala, utilizando símbolos diferentes.

- (10) Cuando hay muchas causas variables, todas las correlaciones grandes se pueden investigar tal como se ha descrito más arriba, pero a veces es mejor hacer uso de las siguientes estrategias para obtener las correlaciones:
  - (a) Estratificar los datos según causas discretas y comprobar la correlación. Por ejemplo, dibujar un diagrama de dispersión utilizando colores diferentes para las distintas máquinas o periodos de tiempo y buscar la correlación global y las correlaciones individuales para los diferentes estratos. La correlación debe establecerse siempre después de la estratificación según las causas discretas, especialmente cuando se piense que una combinación de causas discretas y de causas variables esté ejerciendo un efecto (i.e., cuando se piensa que hay presente una interacción).
  - (b) Cuando se ha encontrado una correlación entre una característica  $y$ , y una causa  $x$ , se debe dibujar la línea de regresión de  $y$  en  $x$ , y corregir los valores de  $y$  para el valor estándar de  $x$  (e.g., si  $x$  es la temperatura y se fija en  $600 \pm 20$  °C, el valor estándar de  $x$  será 600 °C).
  - (c) Cuando se piense que dos causas variables estén interaccionando, el análisis debe realizarse como en el ejemplo siguiente: cuando se piense que es mejor variar la temperatura según la riqueza de la materia

prima, y ésta oscila entre el setenta y el noventa por cien, los datos de la materia prima deben estratificarse en bandas del 70-75%, 75-80%, 80-85% y 85-90% de riqueza, y se debe investigar separadamente la correlación entre la temperatura y la característica para cada banda. En tal caso, los datos deben estratificarse según la causa que se crea más difícil de controlar o que tenga un recorrido de dispersión menor, y se debe investigar la correlación entre la característica y la causa remanente.

- (11) Los puntos explicados más arriba son principios generales; en la práctica, sin embargo, se debe analizar un proceso por tanteos de todas las maneras posibles haciendo uso de los conocimientos técnicos y la experiencia. Conforme se vaya haciendo esto, será posible realizar gradualmente el análisis con un uso eficiente del tiempo y el esfuerzo. En cualquier caso, sin el análisis no puede descubrirse nada y no se establecerá ninguna tecnología. Lo más importante es intentarlo.
- (12) De este modo se corrigen gradualmente los datos utilizando las líneas de regresión o las diferencias en las medias, y finalmente se vuelve a dibujar el gráfico de control. Este gráfico revisado mostrará un estado de control aproximado, y los resultados se pueden utilizar para establecer estándares provisionales si el histograma satisface las especificaciones o las metas de la calidad. Si no satisface éstas, se debe acometer una o más de las siguientes acciones:
  - (a) Tratar de realizar la operación según las normas establecidas como se describió más arriba.
  - (b) Seguir analizando el proceso.
  - (c) Realizar nuevos experimentos haciendo uso de los métodos del diseño de experimentos, en la fábrica, en la planta piloto o en el laboratorio.
- (13) Para comprobar si los resultados del análisis anterior son correctos o no, hacer funcionar el proceso según las normas provisionales y hacer varias comprobaciones para ver si las características de referencia han mejorado como se esperaba y si han sido afectadas otras características. Luego, revisar las normas y seguir el análisis según sea necesario.
- (14) Cuando el trabajo haya sido ejecutado satisfactoriamente según las normas provisionales durante un periodo de prueba de uno a tres meses, deben formalizarse las normas y seguir la misma clase de análisis. Según sea necesario, deben ponerse en práctica más mejoras, analizando el proceso tomando datos que anteriormente no se midieron y estratificando el producto de varias maneras conforme avanza por el proceso. Mientras se procede con el análisis anterior, debemos preparar y revisar diversas normas, e.g., normas técnicas, de trabajo, de control para la

maquinaria y el equipo, de muestreo y de medida, etc., y llevar a cabo la formación para que las causas asignables que hayamos eliminado no vuelvan a aparecer. De este modo, acometemos acciones firmemente, dando un paso detrás de otro para evitar que vuelvan a repetirse los problemas y establecemos un control firme. Por supuesto que es mejor realizar estudios del trabajo, estudios del proceso y estudios de tiempo, hacer lecturas breves y llevar a cabo varios programas educativos y de formación mientras hacemos aquello. Los resultados de estas acciones deben registrarse siempre y archivarlos en forma de informes técnicos. También puede haber momentos en los que la capacidad de proceso sea insuficiente a pesar de todo y sea imposible obtener productos satisfactorios bajo las condiciones técnicas y económicas presentes. En tales casos, se deben mantener conversaciones con los clientes, con el proceso siguiente o la dirección de la empresa, con miras a revisar las características, las normas, las especificaciones, las calidades de referencia, etc. Al mismo tiempo, claro está, también es esencial acometer acciones tales como hacer que los departamentos técnico y de investigación comiencen la investigación, planifiquen la instalación de instrumentos de medida y rehagan la maquinaria y el equipo dentro del siguiente periodo financiero de inversión, racionalicen los contratos y promuevan la puesta en práctica del control de calidad entre los proveedores de materias primas. Conforme las personas vayan dominando las técnicas estadísticas y ganen experiencia en el tipo de análisis descrito anteriormente, serán más capaces de anticipar inteligentemente si existen diferencias significativas con sólo representar los datos, sin molestarse en calcular las medias y las dispersiones cada vez. De este modo, serán capaces de seguir con el análisis según prioridades.

## 4.10 Realización de experimentos en fábrica

Para realizar experimentos con los procesos se hace uso de diversos diseños experimentales, pero sus detalles se dejan para trabajos más especializados. Esta sección da algunas indicaciones breves sobre la realización de experimentos que hacen uso de los procesos.

- (1) Cuando se realizan experimentos en la fábrica, redactar protocolos experimentales de fábrica de antemano y asegurarse de que los experimentos son llevados a cabo según los procedimientos formales de acuerdo con estos protocolos. Es muy equivocado dejar que las personas realicen experimentos en el puesto de trabajo según les parezca oportuno y que informen de los buenos resultados mientras se guardan los malos.

Asegurarse de que se sigue un procedimiento formal y se envían los informes por escrito.

- (2) Realizar los experimentos haciendo uso del sistema del técnico responsable o estableciendo un equipo de CC. Puesto que los experimentos pueden requerir ensayos en condiciones extremas, puede que afecten a todo el proceso y pueden necesitar acciones de largo alcance basadas en sus resultados, tiene que estar a cargo alguien que tenga la máxima autoridad posible para acometer acciones.
- (3) Decidir sobre la responsabilidad y la autoridad de lo que suceda si el experimento produce unidades defectuosas o reprocesos o trastorna la producción.
- (4) Hay que estar seguro de ordenar y analizar adecuadamente los conocimientos y datos anteriores, y establecer claramente el centro y los fines del experimento. Organizar los factores a ensayar en orden de prioridades.
- (5) En la medida de lo posible, experimentar con factores capaces de ser controlados.
- (6) Puesto que los experimentos que hacen uso de los procesos a menudo están acompañados de peligros o de posibles daños, según los niveles en los que se fijen los factores que se están ensayando, empezar con el primer experimento fijando los factores en dos o tres niveles que la experiencia y la tecnología hayan demostrado ser completamente seguros. Por ejemplo, cuando cierto factor tiene cierta cantidad de variación y es imposible determinar su mejor nivel a partir de los datos anteriores, pero se considera que es importante por consideraciones técnicas, fijarlo en dos niveles: uno en el valor que se crea que es su estándar, y el otro en un valor mejor dentro de su recorrido de variación. En los casos que no estén claros, fijar el factor en tres niveles, alto, bajo y estándar. A partir del segundo experimento, hacer uso de la información del primer experimento. A menudo se descubre que el nivel óptimo cae fuera de los niveles utilizados previamente.
- (7) En vez de tratar de alcanzar una conclusión definitiva con un solo experimento, es mejor realizar una serie de dos o tres, haciendo uso de los conocimientos de cada uno para el siguiente. Este método es más seguro y económico, y garantiza la reproducibilidad de los resultados. También deben compararse las varianzas del error en cada etapa. En resumen, los experimentos deben realizarse por pasos.
- (8) Cuando son inciertos los conocimientos técnicos disponibles, hacer una doble comprobación utilizando primero un método tal como la disposición ortogonal para identificar aproximadamente los factores concretos

problemáticos y finalmente realizar experimentos reiterados haciendo uso de la disposición de doble entrada o un método similar.

- (9) También puede ser ventajoso utilizar los resultados del análisis de los datos anteriores con fines de comprobación. Hay que ser especialmente cuidadoso en verificar que no se confundan los factores.
- (10) El enfoque del diseño de experimentos puede ser beneficioso cuando los niveles de los factores se pueden cambiar fácilmente al azar, paso a paso, sin gastar mucho tiempo o dinero, e.g., en operaciones por turnos. A veces, este enfoque es difícil o peligroso en operaciones continuas, pero las fábricas que tienen un equipo de control automático bien mantenido son adecuadas para este método.
- (11) Asignar los factores y los niveles de los experimentos en forma de normas de trabajo, y preparar siempre órdenes detalladas para el trabajo experimental. También es bueno preparar de antemano hojas para la recolección de datos y tomar medidas suplementarias.
- (12) Puesto que la reproducibilidad es tan importante, se deben realizar experimentos reiterados en diferentes momentos para comprobar si el gráfico de control R indica un estado de control entre las repeticiones. Los experimentos se deben planificar para que sea posible la detección de diferencias entre bloques y la interacción entre bloques y factores. Cuando las personas, las máquinas, las materias primas, etc., se toman como factores, los experimentos deben repetirse por lo menos dos veces dentro del mismo estrato.
- (13) La secuencia experimental debe ser todo lo aleatoria posible. Para conseguirlo, la secuencia debe estar claramente especificada en los planes experimentales y en las instrucciones, y el experimento mismo tiene que estar estrechamente controlado. Cuando es imposible la aleatoriedad, hacer uso del enfoque de las parcelas subdivididas, hacer un estudio técnico profundo de la secuencia experimental y de los factores posibles sujetos a confusión, y definirlos claramente en el informe y las conclusiones experimentales. También deben incluirse aleatoriamente las operaciones realizadas según las normas existentes para hacer comparaciones.
- (14) Los factores incontrolables también tienen que ensayarse, claro está, con una estratificación por equipo o materia prima, por ejemplo. Deben planificarse experimentos para detectar la interacción entre factores incontrolables y controlables, ya que es importante establecer normas operativas para la interacción, i.e., para cada estrato.
- (15) Cuando se haya alcanzado una conclusión, se deben probar realmente las condiciones en el proceso, y estudiarlas por medio de los gráficos de control. Cuando se haya hecho esto, es conveniente comparar la raíz

cuadrada de la varianza del error experimental con  $\bar{R}/d_2$  a partir del gráfico de control  $R$ .

## 4.11 Análisis de los procesos con pocos datos

Los métodos estadísticos de análisis son fáciles de usar en los procesos continuos o cuando se dispone de muchos datos. El análisis estadístico también es posible a menudo con datos escasos (e.g., cuando sólo hay veinte o treinta datos del pasado), pero en algunos casos puede resultar difícil hacer un buen análisis. Seguidamente se dan algunos puntos a observar en tales casos:

- (1) Piense en la razón de la falta de datos. Cuando las personas han estado haciendo uso del enfoque del viejo "mundo de los promedios" y han reducido los datos a unos pocos promedios mensuales, a veces es mejor utilizar métodos rápidos para analizar los datos originales. Claro que se tienen que utilizar métodos precisos cuando los datos son realmente escasos, pero se debe considerar el pasar a hacer experimentos de control en el futuro para que proporcione muchos datos fácilmente analizables.
- (2) Cuando se utilizan los datos de los puestos de trabajo para el análisis y los datos son escasos, existe el peligro de que las causas asignables se confundan con otras causas no aleatorias. Es, por tanto, necesario realizar una revisión técnica para ver si se confunden otras causas con los resultados del análisis. Por supuesto que también se tiene que prestar atención a esto cuando hay muchos datos, pero hace falta tener una precaución especial cuando los datos son escasos debido a la mala aleatorización de otras causas.
- (3) Cuando los datos son escasos, los cambios en otras causas son, a menudo, pequeños, y es peligroso ampliar las conclusiones más allá del rango del análisis.
- (4) Las herramientas estadísticas avanzadas tales como el enfoque del diseño de experimentos y el análisis de la varianza también deben ser utilizadas para el análisis bajo estas condiciones.

## 4.12 Preparación y puesta en práctica de los planes de mejora

Cuando se decide sobre un plan de mejora, se debe prestar atención a los siguientes puntos:

- (1) Estar seguro de que intervienen todas las personas que van a poner en práctica el plan. Establecer relaciones con otros departamentos afectados.



- (2) Utilizar métodos practicables, pero recordar que los enfoques que se creen imposibles a menudo y sorprendentemente tienen éxito cuando se prueban de verdad.
- (3) Delegar la autoridad para tomar decisiones en lo más bajo posible de la línea jerárquica, e.g., en los jefes de los círculos o de equipos de CC.
- (4) Preparar un plan definitivo con la intención de crear borradores para las normas internas tales como las operativas, las técnicas, las especificaciones de materias primas, etc.
- (5) Lo que se decida en esta etapa es estrictamente un plan de prueba y unas normas provisionales. Sólo deben adoptarse como normas formales después de haber sido probadas, haber comprobado los resultados y haber visto que son buenos.
- (6) Comprobar detenidamente una segunda vez cuál es el efecto que la mejora tendrá sobre otras características, condiciones y departamentos. Las condiciones óptimas para una característica o un departamento no son necesariamente las mejores para otras características o para la empresa en conjunto.
- (7) Como se mencionó antes, siempre habrá quienes se opongan dentro de la empresa cada vez que alguien trate de poner en práctica un plan de mejora o de hacer cualquier cosa nueva. Ponga en fuga a estos oponentes y lleve a cabo el plan con coraje.
- (8) Antes de empezar a poner en práctica el plan, preparar las normas que indiquen quién es el responsable de medir y evaluar la mejora, y cómo y cuándo debe hacerse esto, y cómo se va a controlar el plan de mejora.

Siga de este modo hasta el control y los pasos para mejorar más descritos en la próxima sección.

### **4.13 Comprobación de los resultados: controlar y seguir mejorando**

Por mucha tecnología patentada que tengamos y por muchos análisis estadísticos que hayamos realizado, un plan de mejora no es más que un plan y no sabemos cómo funcionará hasta que se pruebe de verdad. Un número muy grande de planes que se han considerado técnicamente sólidos han fracasado cuando se han puesto a prueba. Si las ideas técnicas brillantes que tenemos fueran realmente tan buenas podríamos producir productos mucho mejores de los que hacemos. Algunas personas llegan hasta decir que las cosas mejoran cuando hacemos lo contrario de lo que sugieren los técnicos.

Esto significa que una vez se ha llevado a cabo un plan de mejora, *siempre* tenemos que comprobar los resultados. Por ejemplo, cuando hacemos un cam-

bio en el diseño tenemos que servir el producto solamente después de haber comprobado detenidamente las consecuencias. También tenemos que establecer sistemas de relaciones con los clientes para comprobar que todo está bien después que el producto haya llegado al consumidor. Antes no se hacía esto porque las personas suponían alegremente que estaban fabricando bien sus productos, pero la omisión de este paso y no dar vueltas alrededor del ciclo de control ha llevado a muchísimos fracasos.

A continuación hay algunas indicaciones sobre la comprobación:

- (1) Hacer que comprobar todas las cosas sea un hábito. Esto significa hacer que sea una práctica estándar anotar en los impresos para los informes de mejoras los métodos de comprobación (i.e., los métodos de control) utilizados y los resultados y beneficios obtenidos, i.e., asegurarse siempre de que los informes de los resultados de la puesta en práctica se presentan. Esto no siempre sucede: por ejemplo, a menudo se incluyen los resultados previstos en los borradores de propuestas y memorandos para las inversiones en equipos, pero no se presentan informes con los resultados obtenidos después que se han hecho las inversiones.
- (2) Comprobar no sólo las características y causas que son el objeto de la mejora sino también otras que estén relacionadas.
- (3) Seguir el proceso de comprobación y control durante un periodo de tiempo bastante largo, e.g., por lo menos un año. Los procesos industriales son muy susceptibles a los cambios de estación, y también se tiene que confirmar la fiabilidad de los resultados.
- (4) Comprobar cómo han cambiado la capacidad del proceso y el estado de control como consecuencia de la mejora.
- (5) En resumen, un proceso mejorado debe controlarse y comprobarse por medio de los gráficos de control por lo menos durante un año. Si el estado de control es estable, entonces el equipo de CC ha cumplido su responsabilidades y se disgrega.

Los resultados obtenidos en la comprobación deben ser examinados para ver si se necesita mejorar más, y se repite el proceso. Siguiendo diligente y perseverantemente los pasos de análisis, mejora, control, seguir analizando y seguir mejorando, usualmente es posible, incluso con el equipo presente, reducir a la mitad el número de unidades defectuosas, reducir a la mitad la variación de la capacidad del proceso, alcanzar un incremento del cincuenta por cien en el volumen de producción, reducir el número de horas-hombre en un treinta por cien y aumentar la productividad en un treinta por cien en unos seis meses.

No es bueno relajarse sólo porque una única mejora ha dado buenos resultados. Tenemos que seguir haciendo una mejora detrás de otra y luchar continuamente para alcanzar metas cada vez más altas.

## 4.14 Preparación de informes

Siempre que se lleva a cabo un análisis de proceso y se pone en práctica una mejora, se tiene que preparar un informe escrito, aunque la mejora fuera un fracaso total o se cometieran las mismas equivocaciones de camino hacia el éxito eventual. Esta aclaración de los hechos sobre los fracasos y los éxitos es muy importante, no para el beneficio de las personas sino para recoger la tecnología para la empresa o la organización. Si no se hace esto, en el futuro se repetirán las mismas equivocaciones porque las personas tienden a pensar de la misma manera. Por la misma razón, también es muy importante preparar un informe para que la significación de las mejoras y de la tecnología utilizada se pueda comunicar a los empleados menos experimentados y a los que vengan detrás.

Los objetivos de la preparación de informes son dos:

- (1) Permitir que los superiores y otras partes interesadas comprendan profundamente el propósito del análisis, el proceso y los resultados para que puedan acometer acciones si es preciso.
- (2) Acumular tecnología para la empresa o la organización.

Para alcanzar estos objetivos, el informe tiene que redactarse de forma que sea fácilmente comprensible por las personas que no estén familiarizadas con el tema. Igual que el CC, debe escribirse no sólo para el redactor sino para su cliente, i.e., el lector.

Usualmente, no es conveniente empezar a redactar un informe a partir de las anotaciones después de concluir los análisis y los experimentos porque esto consume mucho tiempo y, en casos extremos, el informe jamás se prepara y la información se queda encerrada en la cabeza del redactor o en notas privadas. Es mejor empezar con la intención de escribir el informe desde el principio, pensando en el procedimiento para escribirlo y preparando gráficos y diagramas adecuados.

En general, los contenidos de un informe se organizan mejor según el esquema descrito más abajo, conocido comúnmente como "Historial de CC". El historial de CC o el informe del estilo del CC hace uso de los títulos enumerados más abajo y difiere del tipo de informe de negocios estándar y anticuado que se ocupaba sólo de los resultados, i.e., si se alcanzaron los objetivos o no; tales informes están basados en la filosofía de "si los resultados son buenos, todo está bien", y la alta dirección y los superiores solían coincidir en esto. En

CC nos preocupa el proceso por medio del cual se logran los resultados o, en otras palabras, de los puntos 2 al 7 que hay más abajo. Los informes del estilo del CC se centran en los métodos, los medios y los procesos por medio de los cuales se alcanzan los objetivos. Si el proceso por medio del cual se alcanzan los objetivos se puede dejar totalmente claro, entonces se acumula la experiencia y la tecnología, y en el futuro se podrá repetir el mismo proceso.

El enfoque anticuado dependía de la motivación y el esfuerzo, y a veces se pueden haber obtenido buenos resultados hasta con datos falsos, si el entorno de la empresa y la suerte lo permitían. La anticuada "dirección por objetivos" logra sólo los objetivos limitados a una situación particular y no se pueden reproducir en ninguna otra parte, mientras que el CC se centra el proceso de mejora mismo y apunta a prevenir la reaparición de los problemas.

El director de cierta empresa observó que el presidente de la misma a menudo visitaba fábricas y sucursales para realizar auditorías de CC del presidente. Cuando se le preguntó por qué era preciso hacer tantos viajes, el presidente contestó, "Usted cree que todo va bien mientras los resultados sean buenos, pero me interesa más el proceso por medio del que se alcanzan aquellos. Por eso voy a ver". Esa fue la última vez que el director sacó a colación este tema.

Un informe de historial del CC o del estilo del CC tiene que estar redactado de tal forma que cualquier persona que lo lea, bien sea un superior, un ingeniero o alguien que empieza un trabajo, pueda comprender claramente cada uno de los puntos siguientes:

1. El tema seleccionado.
2. La razón de elegir este tema (el principio de Pareto).
3. La identificación de la situación actual (hechos y estratificación).
4. El análisis de los resultados y los procesos (investigación de las causas asignables).
5. Modificaciones y su ejecución.
6. Confirmación de las modificaciones.
7. Normalización (evitar ir hacia atrás), prevención de la reaparición de problemas.
8. Establecimiento del control.
9. Revisión de las mejoras y consideración de los problemas remanentes.
10. Planes futuros.

Este tipo de informe interno de la empresa es diferente de los informes académicos anticuados. Recomiendo que los informes internos y los informes de las auditorías de CC se dividan en las tres partes siguientes:

La primera parte describe sucintamente, en una o tres páginas el problema y la acción necesaria, para comodidad de la alta dirección y otras personas ocupadas.

La segunda parte describe brevemente, en cuatro o cinco páginas, los datos principales y las conclusiones según el orden de la lista anterior de puntos, para comodidad de las personas medianamente ocupadas como los directores de sección y de departamento.

Las partes 1 y 2 deben llevar referencias a los números de página de la parte 3 que permitan un fácil acceso a la información adicional sobre las áreas de interés especial para el lector.

La tercera parte incluye los datos detallados y una explicación completa de los fracasos y los éxitos, redactada de forma que sea fácilmente comprensible por las personas que vienen detrás. Puesto que los datos originales son el tipo más importante de datos en CC, es mejor incluirlos aquí. Si esto hace que el informe sea demasiado voluminoso, se pueden compilar los datos en un volumen separado o almacenarlos en un ordenador. Según mi experiencia, los datos básicos originales y no tratados contienen mucha información, gran parte de la cual se puede poner de manifiesto en un análisis subsiguiente. Cuando los informes se archivan en un disco de ordenador, se debe preparar un índice con las palabras clave que permita la fácil recuperación de la información.

En todo caso, aunque la preparación de informes es una tarea larga y pesada, es muy importante para organizar nuestras ideas de forma que otras personas, incluyendo a nuestros superiores, puedan comprenderlos, y para acumular el saber hacer técnico para nuestras empresas u organizaciones.

## 4A.1 Investigación de los métodos de medida<sup>3</sup>

Es imposible obtener datos sin tomar medidas; esto significa que cada dato que obtenemos contiene cierto error de medición. Además, la medición es tan importante que casi podríamos decir que cualquier avance en control de calidad depende de los progresos que hagamos en los métodos de medida. Por tanto, es obvio que antes de analizar un proceso mismo primero tenemos que revisar nuestros métodos de medida desde los puntos de vista estadístico y

---

3

Las secciones 4A.1-4A.9 tratan algunos métodos estadísticos muy sencillos para el análisis que cualquier persona puede aprender enseguida a utilizar. Para las distribuciones de frecuencias, los histogramas, los diagramas de Pareto y las hojas de comprobación, ver el Capítulo 2. Para el análisis por medio de los gráficos de control, ver las secciones 3.9.2 y 3A. Para las herramientas estadísticas y los métodos del diseño de experimentos que requieren cierta cantidad de cálculos, le ruego acuda a otros trabajos.

técnico. Cuando se investigan los métodos de medida se tienen que cubrir los siguientes puntos:

- (1) Idear formas de cuantificación: cualquiera que sea la situación, la garantía de calidad y la mejora se facilitan con la evaluación numérica. Siempre que sea posible debemos idear métodos de cuantificación y ejercer el control por medio de los números.
- (2) Reconsiderar si las medidas se toman para la inspección y la garantía, para el control del proceso o para la mejora del mismo: a menudo se confunden estos fines; por ejemplo, las medidas tomadas con fines de inspección se utilizan a veces para el análisis o el control a pesar de su inadecuación. Sería mejor utilizar para la inspección las medidas con fines de mejora o control.
- (3) Investigar cuáles son más apropiadas, las medidas por variables o las medidas por atributos: normalmente las medidas por variables nos permiten arreglarnos con muestras más pequeñas y suministran más información, haciendo más fácil decidir qué acción acometer, pero recoger y ordenar la información es caro y largo. Las medidas por atributos a menudo simplifican la recogida y ordenación de datos, permite la comprobación de grandes cantidades de unidades y son fácilmente comprendidas por las personas que están en el puesto de trabajo, pero dan menos información. Puesto que es imposible dar reglas generales en cuanto a qué tipo de medida debería seleccionarse, ofreceré algunas orientaciones ilustrativas:
  - (a) Cuando la variación entre las unidades de la muestra es muy grande y el error de muestreo también, es necesario tomar un número grande de muestras y realizar muchas medidas con objeto de controlar un proceso. En tal caso, puede ser conveniente medir los atributos.
  - (b) Cuando uno quiere realizar la garantía de calidad junto con el control del proceso, puede ser necesario tomar un número bastante grande de muestras. En este caso, a veces es ventajosa la medida de atributos.
  - (c) Las medidas de atributos pueden ser mejores para mostrar el estado global de control de una fábrica a la alta dirección, y pueden ser comprendidas más fácilmente por los trabajadores y los encargados de línea.
  - (d) Las medidas de variables proporcionan más información y, por tanto, son mejores para el análisis de los procesos por parte de los círculos y equipos de CC.
  - (e) A veces es conveniente utilizar medidas de variables hasta que un proceso está bajo control, y las medidas de atributos a partir de ahí. Lo contrario es cierto a veces.

- (f) Es mejor utilizar galgas de variables para las medidas del orden de centésimas de milímetro o inferiores (o recientemente de una miera) y galgas de atributos para medidas por encima de estos valores.
  - (g) Los artículos que se han de medir con ensayos sensoriales deben clasificarse en tres a cinco clases.
- (4) Investigación de los errores de medición: en la mejora y control de un proceso, lo que nos preocupa en el error de la medición es la fiabilidad y la reproducibilidad (especialmente la de las medidas tomadas en el mismo laboratorio pero en días diferentes, por personas diferentes o con instrumentos diferentes) de las medidas. Claro que también tenemos que preocuparnos del sesgo cuando las medidas para los ensayos de control se utilizan también para garantizar los resultados, pero es suficiente si se conocen la cantidad de sesgo y la correlación, y si las medidas son fiables. Durante el análisis de un proceso, los puntos fuera de control pueden deberse a anomalías en las medidas, i.e., a medidas no fiables, y a menudo  $R$  es grande como consecuencia de la mala reproducibilidad de las medidas.

En general, si llamamos  $\sigma_p$  a la variación del mismo proceso,  $\sigma_s$  a la variación debida al muestreo, y  $\sigma_M$  a la reproducibilidad de la medida, la variación de los datos,  $a$ , aparecerá en forma de:

$$\sigma^2 = \sigma_p^2 + \sigma_s^2 + \sigma_M^2$$

Así pues, si las variaciones  $\sigma_p^2$  o  $\sigma_s^2$  son diez veces o más mayores que  $\sigma_M^2$ , el método de medida es más o menos ideal para controlar el proceso, pero si  $\sigma_p^2 \approx \sigma_M^2$  ó  $\sigma_p^2 < \sigma_M^2$ , es imposible decir si el gráfico de control se está utilizando para controlar el proceso o la medida. A veces me encuentro con tales gráficos. En tales casos, tenemos que repetir las medidas y tomar los promedios o revisar las normas de trabajo para realizar las mediciones con el fin de reducir  $\sigma_M$ . El caso contrario -cuando la precisión de la medida es buena- sucede a veces, y tenemos  $\sigma_p^2 \gg \sigma_M^2$  (e.g.,  $\sigma_p^2 \geq 100\sigma_M^2$ ). Se necesita esta clase de precisión para las pruebas de garantía pero es innecesariamente alta para las pruebas de los experimentos de control, y es mejor pasar a una forma más sencilla y barata de experimento de control si cuesta demasiado tiempo realizar las medidas o son muy caras. Conforme avanza el análisis del proceso y el control, generalmente  $\sigma_p$  disminuye gradualmente y esto puede hacer que  $\sigma_M$  se haga grande en comparación con  $\sigma_p$  aunque haya podido ser pequeña al principio. Es, por tanto, necesario comprobar de vez en cuando el método de medida para estar seguros de que todavía es adecuado.

Como se puede ver de lo anterior, es importante comprobar la fiabilidad y la reproducibilidad de las medidas en el análisis de un proceso. Si no se hace esto, se malgastará mucho tiempo y esfuerzo analizando procesos y buscando causas asignables cuando muchos de los puntos fuera de control se pueden deber a errores de medición o a causas desconocidas. Por supuesto que es el deber de las secciones de inspección, ensayos, análisis, control de medidas y calibres y herramientas controlar los instrumentos de medida y los métodos de los cuales son responsables, y cuantificar su reproducibilidad y sesgo.

- (5) Preparar y controlar normas de trabajo para hacer las mediciones: cuando se revisan los errores de medida, a menudo se ve, sorprendentemente, que las medidas no son fiables o tienen una reproducibilidad malísima. Esto es porque a menudo los métodos de medida estándar actuales y los métodos de ensayo dejan mucho que desear como normas de trabajo. De hecho, alguna vez me he encontrado con medidas y ensayos que están casi totalmente incontrolados. Las medidas y los ensayos deben ser considerados como otro tipo de proceso, y se deben preparar las normas de trabajo para ellos teniendo esto presente. Además, aquellos que son responsables de efectuar las medidas deben ser entrenados concienzudamente, y deben idearse métodos para controlar el proceso de medición, e.g., haciendo pasar sin conocimiento del controlador muestras estándar por el proceso como comprobación de vez en cuando.
- (6) Acelerar el tiempo de realización de las mediciones: para un buen control, es esencial acelerar la retroalimentación de los datos y la información. Para lograrlo, debemos investigar si los métodos de análisis y ensayos actualmente en uso son satisfactorios desde el punto de vista del tiempo, y considerar el uso de métodos más rápidos y fáciles. También se deben mejorar los métodos de retroalimentación.
- (7) Preparar instrucciones para el control de las medidas: aunque en el puesto de trabajo se utilizan muchos instrumentos y galgas diferentes para medir magnitudes tales como la temperatura y el peso en relación tanto con las características como con las causas, es necesario que, en la etapa del análisis, las personas se hagan responsables de controlarlos y de preparar las instrucciones adecuadas. Estas instrucciones deben incluir lo siguiente:
  - (a) Especificaciones de compra de los instrumentos, normas para la inspección en recepción e instalación de las comprobaciones de su instalación.
  - (b) Método de uso de cada instrumento, designación de las personas responsables del control, métodos estándar de control.
  - (c) Normas de trabajo para la limpieza, el mantenimiento, la calibración y la inspección de los instrumentos.
  - (d) Cuestiones referentes a la reparación de los instrumentos.



## 4A.2 Investigación de los métodos de muestreo

El muestreo es un tema importante que forma la base de la estadística matemática y del control de calidad estadístico. Los métodos de muestreo no se pueden tratar separadamente del análisis del proceso y de la etapa preparatoria del control del proceso. Explicaré aquí la teoría general del muestreo, pero el método de muestreo debe ser elegido para cada situación concreta en consideración a los conocimientos obtenidos del proceso, el análisis, los conocimientos técnicos presentes, el propósito del control del proceso y del estado de control del mismo.

Aunque el muestreo sea uno de los puntales del control de calidad, cuando toca poner en práctica el control de calidad, es sólo una parte del problema. Desde el punto de vista del análisis y el control, consideramos que un proceso es como si fuera como una población, y un lote que sale de un proceso es, obviamente, una muestra de ese proceso. Puesto que los datos que obtenemos son o bien datos de un lote o datos de una muestra tomada de un lote, cuando pensamos sobre el muestreo en el análisis o control de un proceso, tenemos que considerar cómo tomar muestras con objeto de controlar el proceso (i.e., la población; ver la Figura 2.1). Cuando seleccionamos un método de muestreo, tenemos que considerar los puntos siguientes:

- (i) los métodos de muestreo utilizados actualmente,
- (ii) el propósito del muestreo,
- (iii) los lugares donde hacer el muestreo,
- (iv) los errores de muestreo,
- (v) los métodos de muestreo y de subagrupamiento,
- (vi) el estado de control del proceso y el intervalo de muestreo,
- (vii) las normas para los métodos de muestreo.

### (1) Investigación de los métodos de muestreo utilizados actualmente

Algunos de los métodos de muestreo utilizados anteriormente pueden haber sido racionalizados empíricamente pero, a menudo, existen los siguientes aspectos irracionales y, por tanto, deben investigarse todos los métodos de muestreo:

- (a) El propósito puede no estar claro: puede que no esté claro para qué se van a utilizar los datos obtenidos del muestreo: para el control del proceso, el análisis del proceso, la garantía de calidad o la inspección.
- (b) El método puede ser inadecuado para el propósito del muestreo:

- (i) El muestreo con fines de inspección puede estar en uso para el control del proceso,
  - (ii) El método puede no ser fiable,
  - (iii) El método puede no tener la precisión adecuada,
  - (iv) Puede haber presente un sesgo desapercibido,
- (c) El método de muestreo puede no estar controlado.

Hay muchos ejemplos de fábricas en las que el análisis y el control de procesos han fracasado debido a los métodos irracionales de muestreo.

## **(2) ¿Cuál es el propósito del muestreo?**

A menudo se puede racionalizar el muestreo tan sólo con aclarar el propósito técnico de tomar las muestras. Esto puede hacerse considerando las normas de calidad, los requisitos del proceso siguiente, los resultados de analizar el proceso en cuestión y el estado de control del proceso previo, y seleccionando inicialmente lo que se crea que es un método racional a la luz de los conocimientos técnicos, empíricos y estadísticos. Es todavía mejor si el método se puede utilizar conjuntamente para la garantía de los lotes y el control del proceso. Luego se puede mejorar gradualmente el método realizando estudios estadísticos más detallados y poniendo en práctica el control del proceso.

Generalmente, cuando tratamos de controlar cierta dispersión, debemos tomar muestras, recoger y subagrupar los datos de forma que se pongan de manifiesto las variaciones subyacentes. Así pues, el propósito del muestreo está íntimamente relacionado con el subagrupamiento en los gráficos de control.

## **(3) Decidir los lugares donde hacer el muestreo**

Si se seleccionan las características de calidad en cuestión, y se deciden los puntos de comprobación, las características de control y los objetivos, los lugares donde hacer el muestreo se decidirán solos. Sin embargo, se deben observar los siguientes puntos:

- (a) Uno de los principios más importantes del control de un proceso es la estratificación; por tanto, el muestreo debe realizarse, en principio, después de la estratificación. En otras palabras, los lugares donde hacer el muestreo deben ser elegidos por consideraciones técnicas, para que permitan la realización del muestreo con la estratificación por materia prima, máquina, ruta de proceso, hora del día, grupo de trabajo, etc., y para que proporcione tanta información como sea posible. Usualmente no es satisfactorio tomar muestras después de haber mezclado elementos procedentes de diferentes fuentes.

- (b) Es mejor elegir lugares que faciliten el muestreo aleatorio o el muestreo a intervalos fijos (muestreo sistemático). La manera más sencilla de hacerlo es tomar muestras mientras un lote va pasando por el proceso, i.e., mientras se está moviendo. Ocasionalmente el muestreo aleatorio puede ser más fácil de realizar en lotes estacionarios pero usualmente es más difícil.

Los puntos anteriores deben ser considerados cuando se diseña o se reorganiza la distribución de una fábrica.

#### (4) Errores de muestreo

Como se mencionó en la sección sobre los errores de medida, en el control de un proceso nos preocupa especialmente la precisión y la fiabilidad. Claro que el sesgo también es un problema en garantía de calidad. Tanto si uno está considerando los métodos de muestreo presentes como si está planificando otros nuevos, es deber del departamento responsable controlar los procedimientos de muestreo, asegurarse de que se realiza un muestreo fiable y aclarar estadísticamente su precisión y su sesgo.

Tiene que controlarse la fiabilidad para que cuando aparezcan datos anómalos, el puesto de trabajo no pueda eludir el tema echando la culpa a un mal muestreo.

Si llamamos  $\sigma_p^2$  a la variación del promedio del proceso,  $\sigma_s^2$  a la reproducibilidad del muestreo, y  $\sigma_M^2$  a la reproducibilidad de la medida, la variación de los datos,  $\sigma^2$ , en el caso de unidades discretas viene dada por:

$$\sigma^2 = \sigma_p^2 + \sigma_s^2 + \sigma_M^2 \quad (4A.1)$$

(Ver la sección 4A.9.)

La variación de  $\bar{x}$ ,  $\sigma_{\bar{x}}^2$ , cuando el tamaño del subgrupo es  $n$ , viene dada por:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma_p^2 + \frac{1}{n} (\sigma_s^2 + \sigma_M^2) \quad (4A.2)$$

En el caso de materiales a granel, especialmente cuando se forman muestras compuestas, se facilita la comprensión dividiendo la variación del proceso,  $\sigma_p^2$ , en la variación entre los subgrupos,  $\sigma_e^2$ , y la variación dentro de los subgrupos,  $\sigma_d^2$ . Si hacemos esto, tenemos:

$$\sigma^2 = \sigma_e^2 + \sigma_d^2 + \sigma_s^2 + \sigma_M^2 \quad (4A.3)$$

Y la variación de  $\bar{x}$  está dada por:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma_e^2 + \frac{1}{n} (\sigma_d^2 + \sigma_s^2 + \sigma_M^2) \quad (4A.4)$$

En las fórmulas 4A.2 y 4A.4, el primer término de la derecha es la variación entre los subgrupos, y el segundo término es la variación dentro de los

subgrupos. De los diferentes componentes de  $\sigma^2$ , a menudo la variación dentro de los subgrupos más inmediata y, a corto plazo, es la más grande; por tanto es mejor elegir un método de muestreo que ponga esto de manifiesto.

Con unidades discretas, la precisión del muestreo no es un problema tan serio, ya que la variación dentro de los subgrupos indica la variación dentro de los lotes y, por tanto, el tamaño de los subgrupos y el método de subagrupamiento son más importantes.

Con materiales a granel, cuando las medidas se realizan en todas las unidades de muestra y los subgrupos se forman con varias de estas medidas,  $\sigma_d^2$  y  $\sigma_s^2$  son idénticas y las fórmulas son las mismas que las 4A.1 y 4A.2 para unidades discretas. Sin embargo,  $\sigma_s^2$  depende de la forma en que se elija la unidad de muestra. En contraste, cuando se toman muestras compuestas o muestras promedios, las fórmulas aplicables son las 4A.3 y 4A.4 (donde  $\sigma_s^2$  también incluye el error de reducción de la muestra  $\sigma_D^2$ ).

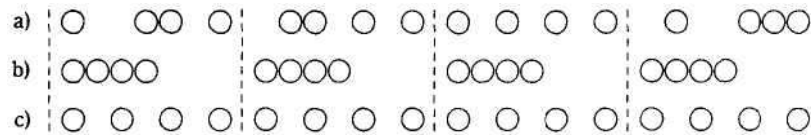
Puesto que lo que queremos controlar con el gráfico  $R$  es principalmente  $\sigma_d^2$ , es conveniente que  $\sigma_s^2$  sea aproximadamente la décima parte de  $\sigma_d^2$ , si es posible. Cuando  $\sigma_s^2$  es grande, a veces es mejor tomar dos o más muestras separadas por el método de muestreo y utilizar éstas como si fueran un subgrupo.

En el gráfico  $\bar{x}$ , la variación de  $\bar{x}$  viene dada por la fórmula 4A.4 y queremos controlar  $\sigma_e^2$  dentro de los límites de control señalados por el segundo término de la fórmula. Puesto que  $\sigma_s^2$  está multiplicado por  $1/n$ , en realidad no es ningún problema. Sin embargo, incluso en este caso, si  $(1/n)\sigma_s^2$  es mucho mayor que  $\sigma_e^2$ , o si el método de muestreo no está controlado y usualmente el muestreo no es fiable, a veces las personas que están en los puestos de trabajo dibujan gráficos de control creyendo firmemente que están controlando el proceso cuando lo que están haciendo en realidad es controlar el muestreo. Cuando sucede esto, a menudo permanecen oscuras las causas de los puntos fuera de control.

Como se explicó anteriormente, cuando se lleva a cabo el control de un proceso, tenemos que comprobar estadística y detenidamente nuestros métodos de muestreo para cada proceso y asegurarnos de que son fiables y tienen una precisión razonable.

## (5) El método de muestreo y el subagrupamiento

Los métodos de muestreo se pueden clasificar de varias maneras, pero aquí me gustaría explicar sólo aquello que es necesario para el control del proceso en relación con el subagrupamiento. Es mejor estratificar en cualquier situación, siempre que sea posible, puesto que el muestreo aleatorio de todo el proceso sin la estratificación pierde información. Sin embargo, cuando alcanzamos la etapa de tomar muestras realmente de algo que está delante de



**Figura: 4A.1: Métodos de muestreo**

nosotros, tenemos que recordar que hay que observar el principio del muestreo aleatorio. En otras palabras, tomamos muestras aleatorias de grupos cuya variación interna no necesitamos conocer; cuando necesitemos esta información, estratificaremos todo lo posible antes del muestreo. Querría empezar por explicar brevemente el muestreo de artículos discretos.

- (a) Naturalmente que es conveniente estratificar el material en lotes conforme pasa a través del proceso y tomar muestras de cada estrato. Estas son tres formas de hacerlo (ver la Figura 4A. 1):
- (i) Tomar un lote fabricado durante un cierto periodo de tiempo, estratificarlo con arreglo a la máquina, por ejemplo, etc., sacar muestras aleatorias de  $n$  artículos de cada estrato, y utilizarlas como subgrupos. Este método trata los productos fabricados durante cierto periodo de tiempo como si fueran un lote y trata de controlar el proceso usando la variación dentro de los lotes como si fuera un dato. Esto es satisfactorio cuando la variación dentro de los lotes satisface las normas internas de calidad.
  - (ii) A intervalos determinados de tiempo, tomar una muestra de  $n$  unidades sucesivas de producto producidas por el proceso y utilizarla como subgrupo. Este método es adecuado cuando el proceso está relativamente bien controlado y sus operarios comprenden la filosofía del control de calidad. Si este método se utiliza antes de haber alcanzado esta etapa, existe el peligro de que haya demasiados puntos fuera de control, lo que hace que los gráficos de control no sean adecuados para controlar el proceso, o que se pasen por alto variaciones en el proceso o que se haga un trabajo descuidado entre las muestras,
  - (iii) Tomar  $n$  muestras a intervalos fijos dentro de un determinado periodo de tiempo y utilizar éstas como subgrupo. Este método permite detectar rápidamente la variación dentro de los subgrupos en un cierto periodo de tiempo, pero la variación dentro de los subgrupos será mayor que con el método (ii). Este método se utiliza a menudo en el control ordinario de los procesos, especialmente en sus etapas iniciales.

Cada uno de los tres métodos anteriores tiene sus ventajas y sus inconvenientes, y es imposible hacer ninguna afirmación tajante sobre cuál es el mejor, ya que esto depende del estado del proceso. El tercer método proporciona la máxima información sobre el proceso pero existe el riesgo de pasar por alto las variaciones entre los intervalos del muestreo. Hay menos riesgo de pasar por alto esta variación con el primer método, pero se pierde la información sobre la variación con el tiempo dentro de los subgrupos. El segundo método minimiza la variación dentro de los subgrupos, pero ignora la variación que tiene lugar después de una muestra y antes de la siguiente. Lo más importante con estos tres métodos es estratificar los materiales en lotes en su paso a través del proceso y asegurarse de que la historia de los lotes y de los datos está clara, así como decidir el intervalo del muestreo y los periodos de tiempo en que se van a tratar como subgrupos. En abstracto, el intervalo del muestreo debe ser tal que ninguna causa asignable pueda deslizarse entre la red del muestreo. Cuando se suministran y procesan establemente lotes de materia prima relativamente uniformes, la maquinaria se ajusta pocas veces y hay base técnica para creer que es más probable que las anomalías ocurran sistemáticamente, más que esporádicamente, es relativamente fácil decidir los intervalos de tiempos a los que se deben tomar las muestras. Por ejemplo, podría ser cada vez que se introduce un lote de materia prima nueva, se hace un ajuste o se cambia el turno. Sin embargo, cuando los lotes de materia prima alimentan aleatoriamente al proceso y la maquinaria se está ajustando constantemente, no es fácil decidir el intervalo de tiempo para el muestreo. En tal caso, la primera consideración es reorganizar radicalmente y normalizar la forma en que los lotes de materia prima se suministran, y normalizar el ajuste del equipo.

No obstante, por lo menos es mejor hacer algo hasta que se logre dicha reorganización; así pues, mientras tanto, el muestreo debe realizarse a intervalos fijos de tiempo, subagrupar los datos, dibujar los gráficos de control y adoptar medidas fiables para prevenir la reaparición de problemas cada vez que se dé la señal de falta de control. Si se hace esto, aunque al principio se pasen por alto las causas asignables que surjan entre las muestras, se localizarán más pronto o más tarde y el proceso se irá controlando gradualmente.

- (b) Con materiales a granel, los datos pueden obtenerse bien en forma de muestras compuestas o de unidades individuales de muestreo. Cualquiera de los dos casos será idéntico al (a) anterior si la unidad de la cual se obtienen los datos se trata como si fuera una unidad discreta. Sin embargo, dejaré esta cuestión a los trabajos especializados en el muestreo, ya que es un asunto bastante complejo que implica cuestiones de cómo

preparar muestras compuestas, cómo realizar la reducción de las muestras y cómo decidir el tamaño de la unidad de muestreo.

Tomar muestras compuestas también implica las cuestiones de si el muestreo en un instante determinado es satisfactorio y a qué intervalo de tiempo deben promediarse las muestras. Generalmente no es conveniente calcular el promedio de las muestras un día, ya que se perderá la información de la variación a lo largo del día, y a menudo es mejor un método de muestreo que ponga de manifiesto el promedio para una hora, cuatro horas o para un turno. Cualquiera que sea el intervalo utilizado, es mejor instalar un equipo de muestreo automático.

Cuando se miden unidades individuales de muestreo -por ejemplo, en el muestreo de tejidos y papel- en principio la unidad de muestreo debe decidirse según las normas de calidad y los requisitos del cliente. Se deben revisar los métodos de ensayo existentes, ya que muchos son inadecuados para estos fines o para los requisitos de los clientes.

## **(6) El estado de control del proceso y el intervalo de muestreo**

Como se dijo antes, en principio el intervalo de muestreo debe elegirse de modo que no se pasen por alto las anomalías del proceso. Sin embargo, cuando un proceso está fuera de control y cambia rápidamente, y es imposible decir cuándo puede haber sucedido una anomalía, no podemos estar tomando muestras, midiendo y buscando anomalías constantemente. En tal caso, tenemos que normalizar los procedimientos de trabajo y suprimir las anomalías activamente. Mientras tanto, puesto que a menudo están presentes cambios cíclicos de periodo largo y tendencias junto con fluctuaciones rápidas a corto plazo cuando se da el tipo de variación anterior, o bien tenemos que calcular el promedio para cierto periodo de tiempo y adoptar algún método para controlar estos cambios cíclicos de periodo largo y las tendencias, o bien tenemos que instalar un equipo de registro y control automático. Sin embargo, a veces es un problema técnico difícil y es cuestionable si debemos ir corriendo a instalar tales dispositivos sólo porque un proceso sea inestable. Debemos hacer esto únicamente si se puede demostrar objetivamente que será beneficioso después de un estudio completo estadístico y técnico por medio de los gráficos de control.

Tampoco es necesariamente ventajoso reducir el intervalo de tiempo del muestreo inmediatamente basándose en que el proceso es inestable. De hecho, aunque el intervalo sea bastante largo y se pasen por alto algunas anomalías que se den entre las muestras, el estado de control mejorará gradualmente si trabajamos pacientemente para llevar el proceso bajo control, revisamos las normas de trabajo o acometiendo alguna otra acción para evitar que vuelvan a aparecer las causas asignables siempre que se descubra una anomalía. Así pues, el intervalo del muestreo también depende de si se actúa sobre el proce-

so y se evita completamente que vuelvan a aparecer las causas asignables. El intervalo del muestreo tiene que ser corto si los gráficos de control se utilizan para actuar prontamente para suprimir las anomalías, pero es permisible alargarlo ligeramente si siempre se adoptan medidas fiables para prevenir la reaparición de problemas.

Conforme mejore gradualmente de este modo el estado de control del proceso, se puede alargar el intervalo del muestreo, aumentar el tamaño de los lotes o reducir el tamaño de las muestras. El alargar los intervalos de muestreo y aumentar los tamaños de los lotes es una gran ventaja económica de la puesta en práctica del control de calidad, pero esto depende del estado de control del proceso, el nivel de concienciación en control de calidad dentro de la empresa y de los progresos de la normalización. Por tanto, deben fomentarse estas cuestiones.

En general, si se han hecho progresos en los puntos anteriores, si hay una base técnica para la confianza y si, por lo menos, han aparecido cien puntos sucesivos dentro de control en los gráficos de control, se pueden dar los pasos siguientes:

- (i) Alargar el intervalo de muestreo de dos a cinco veces,
- (ii) Aumentar entre dos y cinco veces el periodo para el que se calcula el promedio de las muestras.
- (iii) Reducir a la mitad o la quinta parte el tamaño de las muestras,
- (iv) Tomar muestras sin estratificar.

## **(7) Formulación de las normas para el método de muestreo**

Puesto que el muestreo también es un tipo de trabajo, los métodos normalizados también tienen que ser estipulados de la misma forma que los procesos ordinarios. Las normas pueden ser formuladas haciendo uso del mismo enfoque que para las normas de trabajo ordinarias. Las cuestiones a decidir incluyen las siguientes:

- (i) Quién es responsable del muestreo, quién debe estar presente y quién a cargo de llevarlo a cabo,
- (ii) Cuándo y cómo debe llevarse a cabo el muestreo, por qué método y con qué equipo,
- (iii) Cómo se debe disponer de las muestras tomadas, cómo se deben numerar, reducir, almacenar, transportar, etc.

Además, de la misma manera que para la normalización ordinaria, se debe prestar atención a cuestiones tales como las siguientes:

- (i) Poner siempre las normas por escrito,
- (ii) Afanarse constantemente por racionalizarlas.



- (iii) Asegurarse de que los métodos especificados son técnicamente factibles en el puesto de trabajo.
- (iv) Dar criterios específicos de acción y utilizar tablas de muestreo aleatorio.
- (v) Aclarar la autoridad y la responsabilidad de todas las personas implicadas.
- (vi) Asegurarse de que todas las personas afectadas aprueban las normas.
- (vii) Elegir métodos fiables y fácilmente controlables,
- (viii) Utilizar métodos de precisión y fiabilidad conocidas.
- (ix) Elegir métodos que no sean susceptibles de sesgo.

### **(8) Resumen**

Las cuestiones explicadas anteriormente deben tenerse siempre presentes durante el análisis de un proceso, y se tienen que revisar siempre y especificarse por lo menos una vez cuando se analiza un proceso y se camina hacia el control. En el estado actual del control de calidad en Japón, se está investigando el muestreo en los tres tipos siguientes de fábricas:

- (a) Fábricas en las que no se puede intentar el análisis y control de procesos sin estudiar los métodos de muestreo, debido a la irracionalidad de los métodos usados en el pasado.
- (b) Fábricas que han llevado a cabo el análisis y el control y han mejorado el estado de sus procesos y en las que el muestreo se ha convertido ahora en un problema.
- (c) Fábricas que están experimentando dificultades en la introducción del control de calidad y en las que los técnicos de control están entusiasmados con el estudio del muestreo porque es el área más fácil de abordar, i.e., están huyendo hacia el muestreo.

Que el número de fábricas del segundo tipo haya aumentado recientemente es una prueba gratificante de los progresos del control de calidad.

## **4A.3 El concepto de las pruebas estadísticas**

En la sección 2.2 se describieron algunas ideas generales sobre estadística, pero me gustaría tratar aquí el procedimiento de las pruebas estadísticas de una forma ligeramente más teórica, ampliando el ejemplo dado en aquella sección (del lanzamiento de un dado); así pues, cada paso se describe aquí con más detalle.

- (1) Decidir el propósito del análisis o el experimento (i.e., el propósito de emitir un juicio): quejarse si se están haciendo trampas.

- (2) Hacer suposiciones: supondremos que el dado es uniforme, que no está trucado.
- (3) Elaborar una hipótesis (la hipótesis nula): "El dado se lanza honestamente, sin trampas, y los números pares e impares aparecen con la misma probabilidad de 1/2".
- (4) Calcular las probabilidades de los datos a la vista de la distribución de los estadísticos, suponiendo que la hipótesis sea correcta: calcular la probabilidad de obtener cinco números pares sucesivos cuando el dado se lanza honestamente. En este caso, la probabilidad es:

$$(1/2)^5 = 1/32 \approx 0,03 = 3 \%$$

- (5) Comparar la probabilidad con el nivel de significación o de confianza y emitir un juicio: normalmente la hipótesis es decididamente errónea si la probabilidad es del uno por cien o inferior, y debemos decidir que la hipótesis es rechazable en este caso. En el ejemplo del dado, la probabilidad de que aparezcan siete números pares sucesivos es de 1/128, que es menor que 0,01, luego la hipótesis de que no se están haciendo trampas puede rechazarse totalmente si sucede esto. En otras palabras, podemos decir, "Se están haciendo trampas". Si la probabilidad es del cinco por cien o inferior, debemos decidir que la hipótesis es rechazable, i.e., si se obtienen cinco números pares sucesivos, podemos decir, "Parece que se están haciendo trampas". Si la probabilidad es del diez por cien o inferior, la hipótesis es un poco dudosa, i.e., sólo podemos decir, "Es posible que se estén haciendo trampas".

**Tabla 4A.1: Niveles de significación estándar**

|                   | Nivel de significación (a%) |                     |                   |
|-------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|
|                   | Diferencia posible          | Diferencia aparente | Diferencia segura |
| Laboratorio       | 10-30                       | 5-10                | 1-5               |
| Planta piloto     | 5-20                        | 1-5                 | 1                 |
| Puesto de trabajo | 5-10                        | 1-5                 | 0,1-1             |

Esta tabla muestra un ejemplo; en la práctica, los valores dependen de la acción que se ha de acometer.

Estas probabilidades se llaman "niveles de confianza" o "niveles de significación". Como se explicó en la sección 2.2, un nivel de confianza es la probabilidad de cometer un error del tipo I, e.g., decidir que se están haciendo trampas cuando de hecho no es así (i.e., rechazar la hipótesis cuando de hecho no debería rechazarse). En los gráficos de control, este nivel de significación se fija alrededor del 0,3 % (aproximadamente equi-

valente a ocho números pares seguidos en el caso del dado), por lo que es aceptable decidir que es seguro que hay algo mal en el proceso si un punto cae fuera de los límites de control.

- (6) Acometer acciones según la decisión: quejarse de que se están haciendo trampas.

Tenemos que observar que, a menudo, los pasos cuatro y cinco están combinados y se hacen comparaciones con el nivel de significación del paso cinco sin calcular la probabilidad en el paso cuatro. Por ejemplo, el valor de  $t_{(10, 0,05)}$  puede compararse con el valor de  $t_0$  como en el ejemplo siguiente.

### (1) Prueba de la diferencia en las medias

Las ideas descritas más arriba se ilustrarán ahora por medio de un ejemplo en el cual comprobamos si hay una diferencia en las medias de la población, i.e., si ha cambiado la media de una distribución.

El rendimiento medio de cierto producto parece ser diferente según el tipo de materia prima utilizada. Para comprobarlo, se midió el rendimiento seis veces para cada materia prima en un orden aleatorio y se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 4A.2.

- (a) Propósito del experimento: comprar la mejor materia prima si hay alguna diferencia, y comprar la más barata si no la hay.
- (b) Suposiciones:
- (i) Que las pruebas se llevan a cabo con el proceso en estado de control,
  - (ii) Que las medidas se toman en orden aleatorio.
  - (iii) Que la varianza del error experimental es la misma para las dos materias primas.
- (c) Definir la hipótesis: "No hay ninguna diferencia entre los rendimientos de la materia prima A y la B, i.e., el rendimiento es el mismo para ambas". Esto se indica simbólicamente por:

$$H_0: \mu_A = \mu_B \text{ (hipótesis nula)}$$

- (d) Calcular la probabilidad según la hipótesis: en esta etapa, se hace el cálculo con fórmulas estadísticas. Esta es la única diferencia entre este método y el juicio anticuado basado en el sentido común.

El método manual para el cálculo se describe a continuación, pero se puede hacer más fácilmente con una calculadora o un ordenador.

Primer paso: Simplificar el cálculo codificando los datos como se indica en la tabla. En este ejemplo,  $X = x - 80$ .

Segundo paso: Calcular la media y la suma de los cuadrados de las desviaciones,  $S$  (ver la sección 2A.2).

$$\begin{aligned}\bar{x}_A &= 83,83 & \bar{x}_B &= 80,83 \\ S_A &= 52,83 & S_B &= 46,83 \\ n_A &= 6 & n_B &= 6\end{aligned}$$

Tercer paso: Calcular  $t_0$  con la fórmula siguiente:

$$t_0 = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{S_A + S_B}{n_A + n_B - 2} \left( \frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)}} = \frac{83,83 - 80,83}{\sqrt{\frac{52,83 + 46,83}{6 + 6 - 2} \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right)}} = 1,65$$

Se ha comprobado estadísticamente que si  $\mu_A = \mu_B$ ,  $t_0$  sigue la distribución  $t$ , con  $\varnothing = n_A + n_B - 2$  grados de libertad. Por tanto, la prueba se realiza usando la distribución  $t$ .

Nota: se han obtenido estadísticamente fórmulas de este tipo para diversas situaciones.

(e) Comparar las probabilidades y tomar una decisión.

Cuarto paso: Encontrar el valor de  $t$  para una probabilidad (i.e., nivel de significación) de  $\alpha$  (e.g., 0,05, 0,01) en las tablas de la distribución  $t$  para  $6 + 6 - 2 = 10$  grados de libertad. Generalmente esto se expresa como  $t(n_A + n_B - 2, \alpha)$ .

$$t(10, 0,05) = 2,228 \quad t(10, 0,01) = 3,169$$

Así pues,  $t_0 = 1,65 < t(10, 0,05) = 2,228$ , y no se puede rechazar la hipótesis de que  $\mu_A = \mu_B$ . En otras palabras, no podemos decir que haya alguna diferencia entre los dos conjuntos de datos. Se puede dar por casualidad una diferencia de  $\bar{x}_A - \bar{x}_B = 3,00\%$  entre las medias cuando hay este grado de dispersión en los datos.

(f) Actuar según la decisión: puesto que no se podía demostrar que hubiera una diferencia, se decidió utilizar en el futuro la materia prima más barata, A.

En este caso, aunque se hubiera encontrado alguna diferencia, la decisión en cuanto a qué materia prima utilizar debería hacerse sólo después de estimar la diferencia y tener en cuenta consideraciones técnicas y económicas.

**Tabla 4A.2: Diferencias entre los rendimientos de las materias primas A y B**

| Materia prima A | Materia prima B | $x_A - 80$ | $x_B - 80$ | $(x_A - 80)^2$ | $(x_B - 80)^2$ |
|-----------------|-----------------|------------|------------|----------------|----------------|
| 83%             | 80%             | 3          | 0          | 9              | 0              |
| 79%             | 85%             | -1         | 5          | 1              | 25             |
| 83%             | 83%             | 3          | 3          | 9              | 9              |
| 87%             | 80%             | 7          | 0          | 49             | 0              |
| 88%             | 76%             | 8          | -4         | 64             | 16             |
| 83%             | 81%             | 3          | 1          | 9              | 1              |
| Total           | -               | 23         | 5          | 141            | 51             |
| Promedio 83,883 | 80,83           | 3,83       | 0,83       |                |                |

## (2) Prueba de la diferencia en las varianzas

Esta prueba se realiza utilizando las tablas de la distribución  $F$ . Se compara el valor de  $F_o = V_1/V_2$  (donde  $V_1$  es un estimador insesgado de la varianza, y  $V_1 > V_2$ ) con el valor de  $F(\varnothing_1, \varnothing_2, \alpha/2)$  de las tablas de distribución  $F$ , y se puede decir que hay diferencia con un nivel de confianza de  $\alpha\%$  si  $F_o > F(\varnothing_1, \varnothing_2, \alpha/2)$

## 4A.4 El concepto de la estimación estadística

Como se describió en las secciones 2.2 y 2.10, los datos siempre contienen cierta dispersión y varios tipos de errores, lo que hace imposible la estimación exacta de los valores verdaderos de la población (parámetros de la población, e.g., media y varianza de la población). Por tanto, los estimamos con una cierta precisión o dentro de ciertos límites. Para ello se pueden utilizar las distribuciones de los estadísticos mencionadas en la sección 2A.3. Cuando se hacen estimaciones estadísticas, son convenientes las siguientes cuestiones:

- (i) No debe haber sesgo, i.e., las estimaciones deben ser insesgadas.
- (ii) La precisión o los límites de confianza de las estimaciones deben conocerse con una probabilidad definida.
- (iii) Se deben utilizar estadísticos que minimicen el tamaño de la muestra y den una buena precisión (en otras palabras, estadísticos de buena eficiencia).

La media de la población se estima por:

$$E(\bar{x}) = \mu \therefore \hat{\mu} = \bar{x}$$

Si  $\beta$  se fija para una precisión del 95 % de probabilidad,

$$D(\bar{x}) = \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{Cuando } 1/10 \geq n/N)$$

$$\therefore \beta = 1,96(\bar{x}) \approx 2D(\bar{x})$$

El intervalo de confianza para una probabilidad (nivel de confianza) del 95% está dado por:

$$\bar{x} - 1,96D(\bar{x}) \leq \mu \leq \bar{x} + 1,96D(\bar{x})$$

Cuando no se conoce  $\alpha$ ,

$$\bar{x} - t(\emptyset, 0,05) \sqrt{\frac{V}{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t(\emptyset, 0,05) \sqrt{\frac{V}{n}}$$

donde  $\emptyset$  (el número de grados de libertad) es el número de grados de libertad de  $V$ .

La principal ventaja de hacer las estimaciones estadísticas de la forma anterior es que el error y los límites de confianza están claros. Por ejemplo, cuando se obtiene una media de 74,3 %, probablemente los datos se usarán de forma diferente dependiendo de si la precisión para la probabilidad del 95 % es  $\pm 1$  % ó  $\pm 10$  %.

## 4A.5 Diferencia entre las medias de dos conjuntos de datos correspondientes continuos -método simple

Algunos datos sobre el rendimiento del producto se han obtenido dividiendo diariamente en dos el lote de materia prima e introduciendo cada mitad en un reactor diferente (reactores 1 y 2; ver la Tabla 4A.3). ¿Hay alguna diferencia entre los rendimientos de los reactores 1 y 2?

En este ejemplo podemos decir que los dos conjuntos de datos se corresponden entre sí puesto que proceden del mismo lote de materia prima utilizado el mismo día.

Primer paso: comparar los valores correspondientes de los reactores 1 y 2 y anotar el signo más en la columna correspondiente al signo si el valor del reactor 1 es mayor, y un signo menos si es menor. Si los dos valores son iguales, anotar un cero. Segundo paso: contar los más y los menos. En este ejemplo hay 27 más y 13 menos. Tercer paso: comparar el total menor (en este caso, 13) con los valores de la tabla 4A.4. Aquí, puesto que el número de datos ( $k$ ) es 40, miramos en la fila de  $k = 40$ , El número de esta fila y de la co-

**Tabla 4A.3: Datos del rendimiento (%)**

| N° | Máquina 1 | Máquina 2 | Signo | N° | Máquina 1 | Máquina 2 | Signo |
|----|-----------|-----------|-------|----|-----------|-----------|-------|
| 1  | 85        | 64        | +     | 21 | 80        | 85        | -     |
| 2  | 73        | 82        | -     | 22 | 92        | 88        | +     |
| 3  | 88        | 76        | +     | 23 | 70        | 56        | +     |
| 4  | 90        | 72        | +     | 24 | 82        | 83        | -     |
| 5  | 99        | 79        | +     | 25 | 64        | 78        | -     |
| 6  | 63        | 64        | -     | 26 | 84        | 60        | +     |
| 7  | 95        | 56        | +     | 27 | 70        | 80        | -     |
| 8  | 97        | 61        | +     | 28 | 80        | 71        | +     |
| 9  | 88        | 56        | +     | 29 | 70        | 78        | -     |
| 10 | 59        | 89        | -     | 30 | 73        | 71        | +     |
| 11 | 75        | 74        | +     | 31 | 81        | 78        | +     |
| 12 | 89        | 74        | +     | 32 | 94        | 60        | +     |
| 12 | 75        | 87        | -     | 33 | 73        | 75        | -     |
| 14 | 85        | 99        | -     | 34 | 81        | 57        | +     |
| 15 | 87        | 83        | +     | 35 | 89        | 78        | +     |
| 16 | 92        | 72        | +     | 36 | 88        | 71        | +     |
| 17 | 75        | 57        | +     | 37 | 81        | 80        | +     |
| 18 | 66        | 90        | -     | 38 | 73        | 89        | -     |
| 19 | 94        | 81        | +     | 39 | 91        | 77        | +     |
| 20 | 89        | 72        | +     | 40 | 95        | 56        | +     |

lumna 0,05 también es 13. Cuarto paso: si el total menor es mayor que el valor de la columna 0,05 (si es de 14 o más en este caso), no hay ninguna diferencia entre las medias de los dos conjuntos de datos. Si es mayor que el valor de la columna 0,01 pero igual o menor que el valor de la columna 0,05 (i.e., si es 12 ó 13 en este ejemplo), podremos decir que parece haber una diferencia entre las medias. Si es igual o menor que el valor de la columna 0,01 (i.e., si es 11 o menos en este ejemplo), podremos decir que sí que hay una diferencia en las medias. Puesto que el total menor es 13 en este caso, parece haber una diferencia entre el reactor 1 y el 2. El reactor uno parece dar un rendimiento mejor.

En cuanto a este procedimiento, hay que señalar estas otras cuestiones siguientes:

Primero, cuando se analiza esta clase de datos, es mejor tener por lo menos 30 pares, o si es posible, 50 o más.

**Tabla 4A.4: Tabla de la prueba de los signos**

| $k$ | 0,01 | 0,05 | $k$ | 0,01 | 0,05 | $k$ | 0,01 | 0,05 |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| 20  | 3    | 5    |     |      |      |     |      |      |
| 21  | 4    | 5    | 46  | 13   | 15   | 71  | 24   | 26   |
| 22  | 4    | 5    | 47  | 14   | 16   | 72  | 24   | 27   |
| 23  | 4    | 6    | 48  | 14   | 16   | 73  | 25   | 27   |
| 24  | 5    | 6    | 49  | 15   | 17   | 74  | 25   | 28   |
| 25  | 5    | 7    | 50  | 15   | 17   | 75  | 25   | 28   |
| 26  | 6    | 7    | 51  | 15   | 18   | 76  | 26   | 28   |
| 27  | 6    | 7    | 52  | 16   | 18   | 77  | 26   | 29   |
| 28  | 6    | 8    | 53  | 16   | 18   | 78  | 27   | 29   |
| 29  | 7    | 8    | 54  | 17   | 19   | 79  | 27   | 30   |
| 30  | 7    | 9    | 55  | 17   | 19   | 80  | 28   | 30   |
| 31  | 7    | 9    | 56  | 17   | 20   | 81  | 28   | 31   |
| 32  | 8    | 9    | 57  | 18   | 20   | 82  | 28   | 31   |
| 33  | 8    | 10   | 58  | 18   | 21   | 83  | 29   | 32   |
| 34  | 9    | 10   | 59  | 19   | 21   | 84  | 29   | 32   |
| 35  | 9    | 11   | 60  | 19   | 21   | 85  | 30   | 32   |
| 36  | 9    | 11   | 61  | 20   | 22   | 86  | 30   | 33   |
| 37  | 10   | 12   | 62  | 20   | 22   | 87  | 31   | 33   |
| 38  | 10   | 12   | 63  | 20   | 23   | 88  | 31   | 34   |
| 39  | 11   | 12   | 64  | 21   | 23   | 89  | 31   | 34   |
| 40  | 11   | 13   | 65  | 21   | 24   | 90  | 32   | 35   |
| 41  | 11   | 13   | 66  | 22   | 24   | 100 | 36   | 39   |
| 42  | 12   | 14   | 67  | 22   | 25   |     |      |      |
| 43  | 12   | 14   | 68  | 22   | 25   |     |      |      |
| 44  | 13   | 15   | 69  | 23   | 25   |     |      |      |
| 45  | 13   | 15   | 70  | 23   | 26   |     |      |      |

Nota: Los números de la tabla representan el total de signos más o menos, cualquiera que sea el menor. Si el total es mayor que el número que aparece en la tabla, no hay una diferencia significativa.

Cuando  $k > 100$ , utilizar el valor calculado con la fórmula siguiente, redondeado por abajo al número entero más próximo:

$$(k-1)/2 - K \sqrt{k+1}$$

Ejemplo: cuando  $k = 100$ ,

$$(100 - 1)/2 - 1,29 \sqrt{(100 + 1)} = 36,6 = 36$$

| Probabilidad | $K$  |
|--------------|------|
| 0,01         | 1,29 |
| 0,05         | 0,98 |

Segundo, en esta clase de ejemplo, la diferencia entre las medias se puede analizar por medio del método usual de doble entrada o cogiendo las diferencias entre los datos correspondientes y haciendo cálculos numéricos.

Tercero, esta clase de datos se puede comprobar mejor de la manera descrita en la nota 1 de la sección 4A.8, utilizando una línea divisoria 50:50 sobre el papel probabilístico binomial.



**Tabla 4A.5: Número de unidades defectuosas producidas por las máquinas**

| Máquina \ Día |                                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | Total |
|---------------|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
|               |                                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
| Máquina 1     | Número de productos            | 58 | 63 | 65 | 57 | 70 | 62 | 60 | 52 | 72 | 65 | 624   |
|               | Número de unidades defectuosas | 5  | 7  | 5  | 7  | 3  | 4  | 6  | 11 | 4  | 6  | 58    |
| Máquina 2     | Número de productos            | 55 | 65 | 63 | 60 | 65 | 53 | 68 | 50 | 70 | 59 | 608   |
|               | Número de unidades defectuosas | 7  | 6  | 7  | 6  | 6  | 9  | 6  | 12 | 7  | 6  | 72    |

Total: Número de productos  $n = 1.232$ ; número de unidades defectuosas  $r = 130$

## 4A.6 Diferencia entre las fracciones de unidades defectuosas de dos conjuntos de datos - método del papel probabilístico binomial<sup>4</sup>

En la sección 4A.5 nos ocupamos de las variables. Los datos de las fracciones de unidades defectuosas se pueden tratar del mismo modo si los tamaños muestrales son aproximadamente iguales y existe correspondencia, pero usualmente las fracciones de unidades defectuosas se investigan con el método siguiente:

Se están fabricando las mismas piezas con dos máquinas diferentes y utilizando la misma clase de materiales todos los días. En la Tabla 4A.5 se muestran los datos tomados durante 10 días. ¿Podemos decir que hay alguna diferencia entre las fracciones de unidades defectuosas de las dos máquinas?

Primer paso: Calcular el número total de productos y de unidades defectuosas para cada máquina. En este ejemplo, el número de productos producidos por la máquina 1 ( $n_1$ ) es de 624 y el número de unidades defectuosas ( $r_1$ ) es 58. Los valores para la máquina 2 ( $n_2$  y  $r_2$ ) son 608 y 72 respectivamente.

Segundo paso: Calcular el número total de productos ( $n$ ), unidades defectuosas ( $r$ ) y no defectuosas ( $a$ ) para las dos máquinas. En este ejemplo,  $n = n_1 + n_2 = 1.232$ ,  $r = r_1 + r_2 = 130$ , y  $a = n - r = 1.102$ .

<sup>4</sup>

Ver Nakasato y Takeda: *Niko Kakuritsushi no Tsukaikata* (Cómo utilizar el papel probabilístico binomial), edición revisada, JUSE Press, 1965.

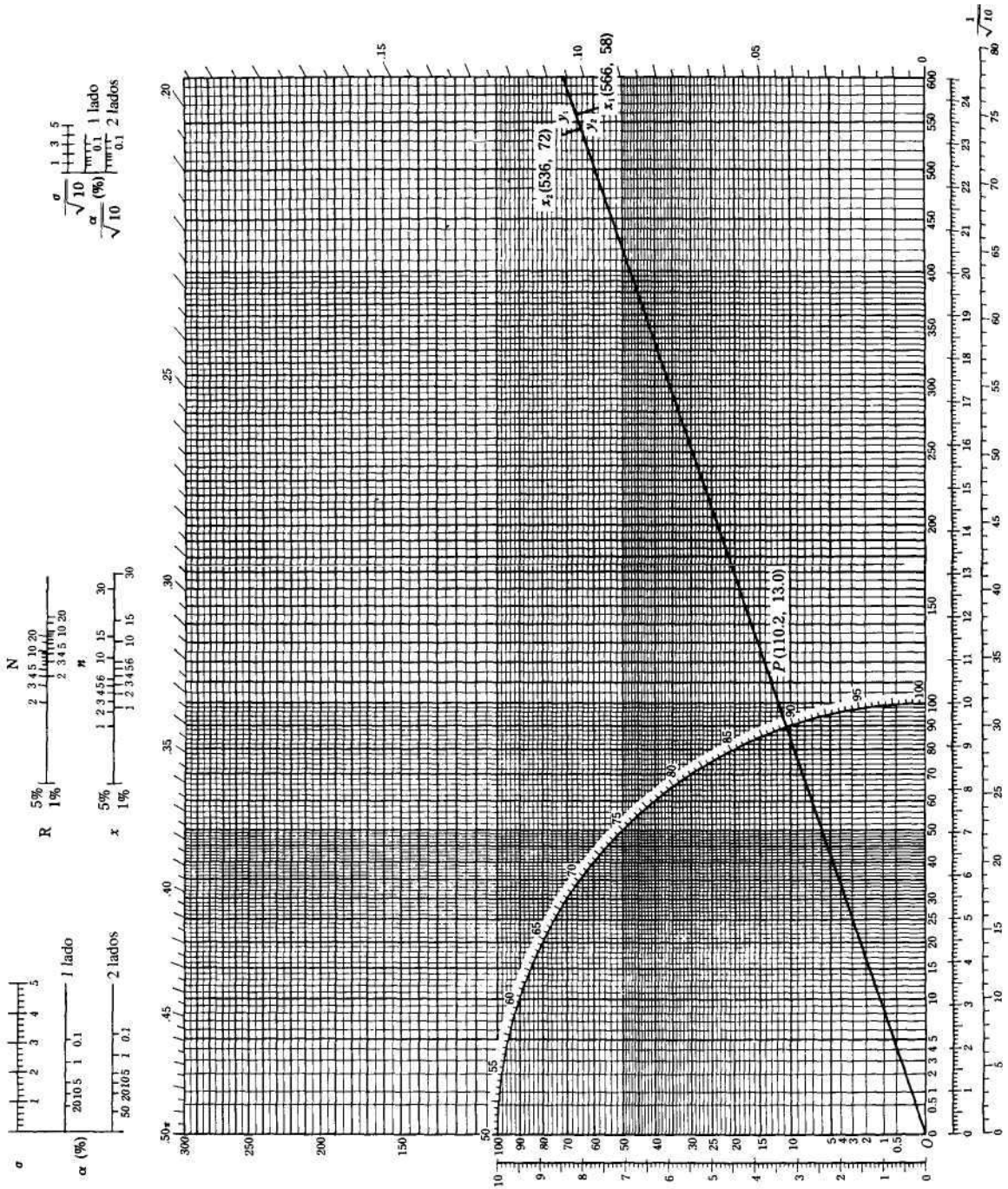


Figura 4A.2: Papel probabilístico binomial

- Tercer paso: Dibujar este punto en el papel probabilístico binomial como indica la Figura 4A.2 con  $a$  en el eje horizontal y  $r$  en el vertical, y llamarle  $P$ . Al hacer esto, dividir los dos valores por 10 si  $a$  es mayor que 600 o menor que 300. Aquí, puesto que  $a$  es 1.102 y es, por tanto, mayor que 600,  $a$  y  $r$  se dibujan como 110,2 y 13,0 respectivamente.
- Cuarto paso: Unir  $P$  con el origen ( $O$ ) por medio de una recta (ver la Figura 4A.2). A ésta se le llama "línea divisoria".
- Quinto paso: Calcular el número total de unidades no defectuosas para cada máquina. Aquí,  $a_1 = n_1 - r_1 = 566$ , y  $a_2 = n_2 - r_2 = 536$ .
- Sexto paso: Dibujar los puntos  $x_1 = (a_1, r_1)$  y  $x_2 = (a_2, r_2)$  utilizando el número de unidades no defectuosas y defectuosas para cada máquina. Aquí,  $x_1 = (566, 58)$  y  $x_2 = (536, 72)$ .
- Séptimo paso: Dibujar las perpendiculares de  $x_1$  y  $x_2$  a  $OP$  y llamar  $y_1$  e  $y_2$  respectivamente a los puntos de intersección.
- Octavo paso: Medir las distancias  $x_1y_1$  y  $x_2y_2$  y comparar la suma de estas dos longitudes con los valores del 5 % y del 1 % de la escala  $R$  de la parte superior del diagrama para  $N = 2$ . Si la distancia en la escala  $R$  es mayor, no podemos concluir que existe alguna diferencia; si es más corta, sí que podemos. En este ejemplo,

$$x_1y_1 \approx 3,0 \text{ mm}$$

$$x_2y_2 \approx 5,0 \text{ mm}$$

$$10,0 \text{ mm}$$

y la longitud total, 10,0 mm, es menor que la distancia del 5% de la escala  $R$  para  $N = 2$ .

- Noveno paso: Conclusión: puesto que la longitud total es menor que el valor del 5 %, no podemos decir que hay alguna diferencia en las fracciones de unidades defectuosas de las dos máquinas.

## 4A.7 Diferencia entre las medias de dos conjuntos de datos (variables) cuando no hay correspondencia

Cuando, por ejemplo, las máquinas se montan con piezas servidas por la Empresa A un día, y por la Empresa B el día siguiente, la diferencia en los días u otros factores pueden afectar a las características de las máquinas y no podemos decir que haya correspondencia entre los datos. En casos como éste, procedemos de la manera siguiente:

Se tomaron cinco muestras de cada lote de productos, se midió cierta característica y se dibujaron los promedios en la Figura 4A.3. Los datos procedentes de las máquinas hechas con piezas servidas por la Empresa A se indican mediante cruces mientras que los datos procedentes de las máquinas hechas con piezas de la Empresa B se indican mediante círculos. ¿Podemos decir que el comportamiento de las máquinas hechas con las piezas de la Empresa A difiere del de las máquinas hechas con piezas de la Empresa B?

Primer paso: Representar los datos por orden temporal utilizando símbolos diferentes para la Empresa A y la B como se indica en la Figura 4A.3.

Segundo paso: Dibujar una línea horizontal con la mitad de los puntos por encima de ella y la mitad por debajo (la línea mediana; ver las notas).

Nota 1: Los puntos también se pueden dividir horizontalmente por medio de otra línea cuyo valor sea próximo al de la mediana. Si se hace esto, la línea divisoria dibujada en el cuarto paso no debe ser la línea 25:25, sino la línea correspondiente a los números obtenidos, e.g., 27:23.

Nota 2: Los puntos que caen sobre la línea mediana no se incluyen en los cálculos del tercer paso.

Tercer paso: Sumar el número de puntos por arriba y por debajo de la línea mediana por separado para las empresas A y B (i.e., sumar el número de cruces y círculos por arriba y por debajo de la línea) y ordenarlos como se indica en la Tabla 4A.6. Esta tabla se llama tabla de contingencia 2x2.

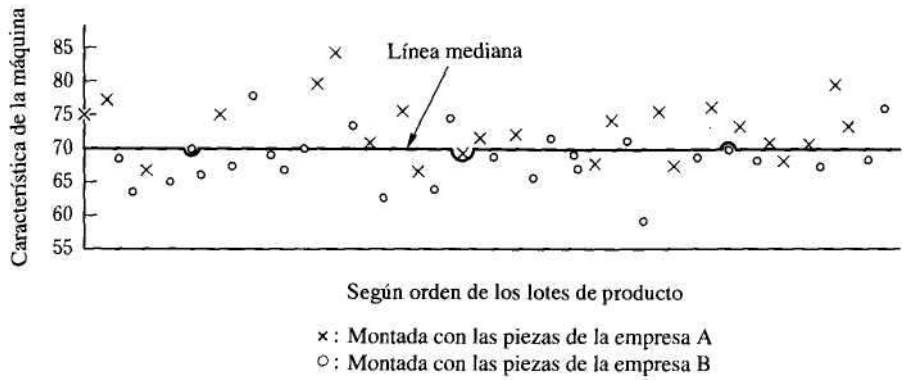
**Tabla 4A.6: Tabla de contingencia 2x2**

|            | Empresa A | Empresa B | Total |
|------------|-----------|-----------|-------|
| Por encima | 18        | 7         | 25    |
| Por debajo | 5         | 20        | 25    |
| Total      | 23        | 27        | 50    |

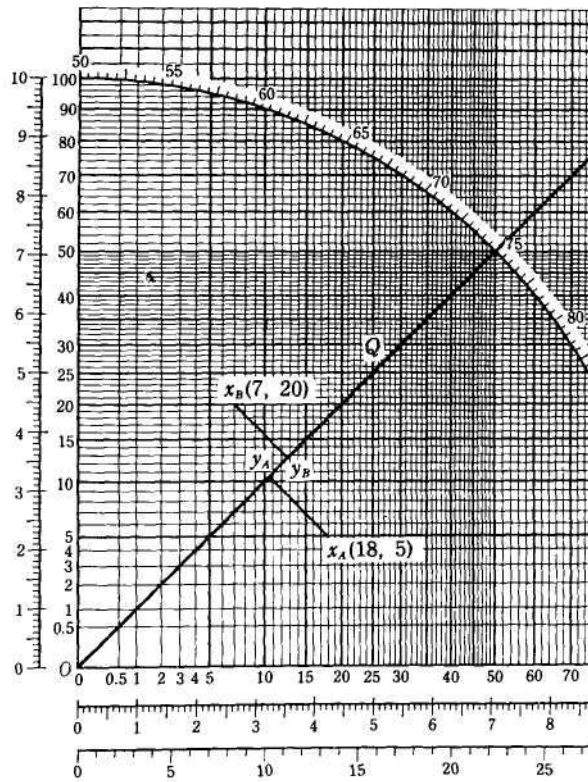
Cuarto paso: En papel probabilístico binomial, unir el punto  $Q$  25:25 (= 50:50) (porque se utilizó la línea mediana) con el origen  $O$  con una línea recta (la línea divisoria; ver la figura 4A.4).

Quinto paso: Representar los puntos  $x_A = (18, 5)$  y  $x_B = (7, 20)$  para  $A$  y  $B$ .

Nota: El papel probabilístico binomial hace uso de una aproximación a la distribución binomial. Cuando el número de datos es pequeño, es mejor hacer la comprobación construyendo "triángulos



**Figura 4A.3: Gráfico de una característica ( $n = 50$ )**



**Figura 4A.4: Papel probabilístico binomial**

de observación". En este ejemplo se construyen dos triángulos rectángulos, uno para A con los puntos (18,5), (18+1=19, 5), y (18, 5+1=6), y uno para B con los puntos (7,20), (7+1=8, 20) y (7, 20+1=21). La prueba se hace según los pasos 6 y 7, tomando la distancia más corta hasta la línea divisoria. En este ejemplo, el total de las distancias a la línea divisoria desde los puntos (18, 6) y (8, 20) se mide como en el paso 7. Puesto que el total, 24 mm, es mayor que 18,5 mm, la conclusión es la misma. Cuando

zar pruebas de precaución utilizando los triángulos de observación.

Sexto paso: Trazar las perpendiculares  $x_A y_A$  y  $x_B y_B$  a  $OQ$  desde  $x_A$  y  $x_B$  respectivamente.

Séptimo paso: Hacer la comprobación de la misma forma que en la sección 4A.6 calculando la longitud total  $x_A y_A + x_B y_B$  y compararla con el valor de la escala  $R$  para  $N = 2$ .

Aquí,

$$x_A y_A = 14,5 \text{ mm}$$

$$x_B y_B = 13,0 \text{ mm}$$

$$\text{Total: } 27,5 \text{ mm}$$

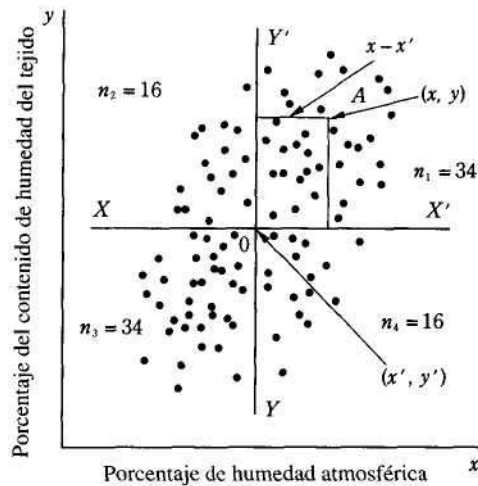
Las distancias en las escalas  $R$  del 5 % y 1 % para  $N = 2$  son de 14 mm y 18,5 mm respectivamente, y la longitud total es mayor que cualquiera de estos dos valores.

Octavo paso: Conclusión: en este caso, puesto que la longitud total es incluso mayor que la distancia en la escala  $R$  del 1 %, podemos decir que los comportamientos de las máquinas hechas con piezas de la Empresa A y de la Empresa B son netamente diferentes.

## 4A.8 Relación entre conjuntos de datos correspondientes - correlación

Como ejemplo, tenemos algunos datos correspondientes de la humedad atmosférica y el porcentaje de humedad de cierto producto textil. ¿Podemos decir que la primera afecta al segundo?

Primer paso: Representar los datos en un gráfico de correlación con la causa en el eje horizontal y el efecto en el vertical (ver la Figura 4A.5). En este ejemplo, los datos de la humedad se



**Figura 4A.5: Relación entre la humedad atmosférica y el contenido de humedad de un producto textil**

dibujan sobre el eje horizontal y el contenido de humedad sobre el vertical.

Segundo paso: dibujar una línea horizontal para cierto valor de  $y$  de modo que la mitad de los puntos queden por encima y la mitad por debajo (la línea mediana  $XX'$ ).

Tercer paso: dibujar una línea vertical para cierto valor de  $x$  de modo que la mitad de los puntos queden a la izquierda y la mitad a la derecha (la línea mediana  $YY'$ ).

Cuarto paso: contar el número de puntos  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  y  $n_4$  de cada cuadrante (usualmente  $n_1 = n_3$  y  $n_2 = n_4$ ) y sumar el número de puntos del primer cuadrante (superior derecho) con el número del tercer cuadrante (inferior izquierdo), i.e., calcular  $n_1 + n_3$ . Sumar también el número de puntos del segundo cuadrante (superior izquierdo) con el número del cuarto cuadrante (inferior derecho), i.e., calcular  $n_2 + n_4$ . Aquí,

$$n_1 + n_3 = 34 + 34 = 68$$

$$n_2 + n_4 = 16 + 16 = 32$$

Cuando esto esté hecho, el número total de puntos debe ser igual al número original. No incluir en los cálculos ningún punto que caiga sobre la mediana.

Quinto paso: Comparar el menor de los dos totales con los valores de la tabla 4A.4. En este ejemplo, el total menor, 32, es menor que 36, el valor del 1 % para  $k = 100$ .

Debe señalarse que si  $n_1 + n_3 > n_2 + n_4$ , la correlación es positiva, pero si  $n_1 + n_3 < n_2 + n_4$ , la correlación es negativa.

Sexto paso: Conclusión: en este ejemplo, podemos decir con certeza que existe una correlación positiva. En otras palabras, podemos decir que el contenido de humedad del tejido será alto si la humedad atmosférica es alta.

Hay varios métodos para hacer las pruebas y tomar decisiones aparte de los anteriores, pero no se tratarán aquí. El método que hemos explicado es el más utilizado.

Nota 1: Esta prueba también puede realizarse utilizando papel probabilístico binomial, tal como se describe a continuación:

Primer paso: Representar el punto A ( $n_1 + n_3$ ,  $n_2 + n_4$ ) sobre el papel probabilístico binomial como se indica en la Figura 4A.6. Por ejemplo, tomemos el punto

A como el punto (110, 40). cuando se hace esto, representar el valor más grande (110 en este caso) sobre el eje horizontal.

Segundo paso: Si A cae fuera de los límites del 5 % o del 1 % de la línea divisoria, se puede decir que existe correlación. Puesto que el punto (110,40) sí que cae fuera de estas líneas, sí que existe correlación.

Tercer paso: El grado de correlación entre  $x$  e  $y$  se expresa por medio de una cantidad llamada "coeficiente de correlación",  $r$ . Si el coeficiente de correlación es cero, no hay correlación. Si es la unidad, hay una correlación muy estrecha entre los dos conjuntos de datos y, por ejemplo, pueden caer sobre una línea recta. El coeficiente de correlación se puede obtener fácilmente a partir de los datos utilizando papel probabilístico binomial de la manera siguiente:

Encontrar el punto de intersección  $P$  entre el arco del círculo y la recta que une  $O$  con  $A$ , trazar la perpendicular desde este punto al eje horizontal y leer el valor de  $P'$ , el punto en el que la perpendicular corta al eje. En este ejemplo es 74. Luego encontrar el punto  $Q$  (el valor de 74 en la escala del arco), trazar la perpendicular desde este punto a la escala horizontal en centímetros y leer el valor. Se obtiene un coeficiente de correlación de 0,68 al multiplicar este valor por



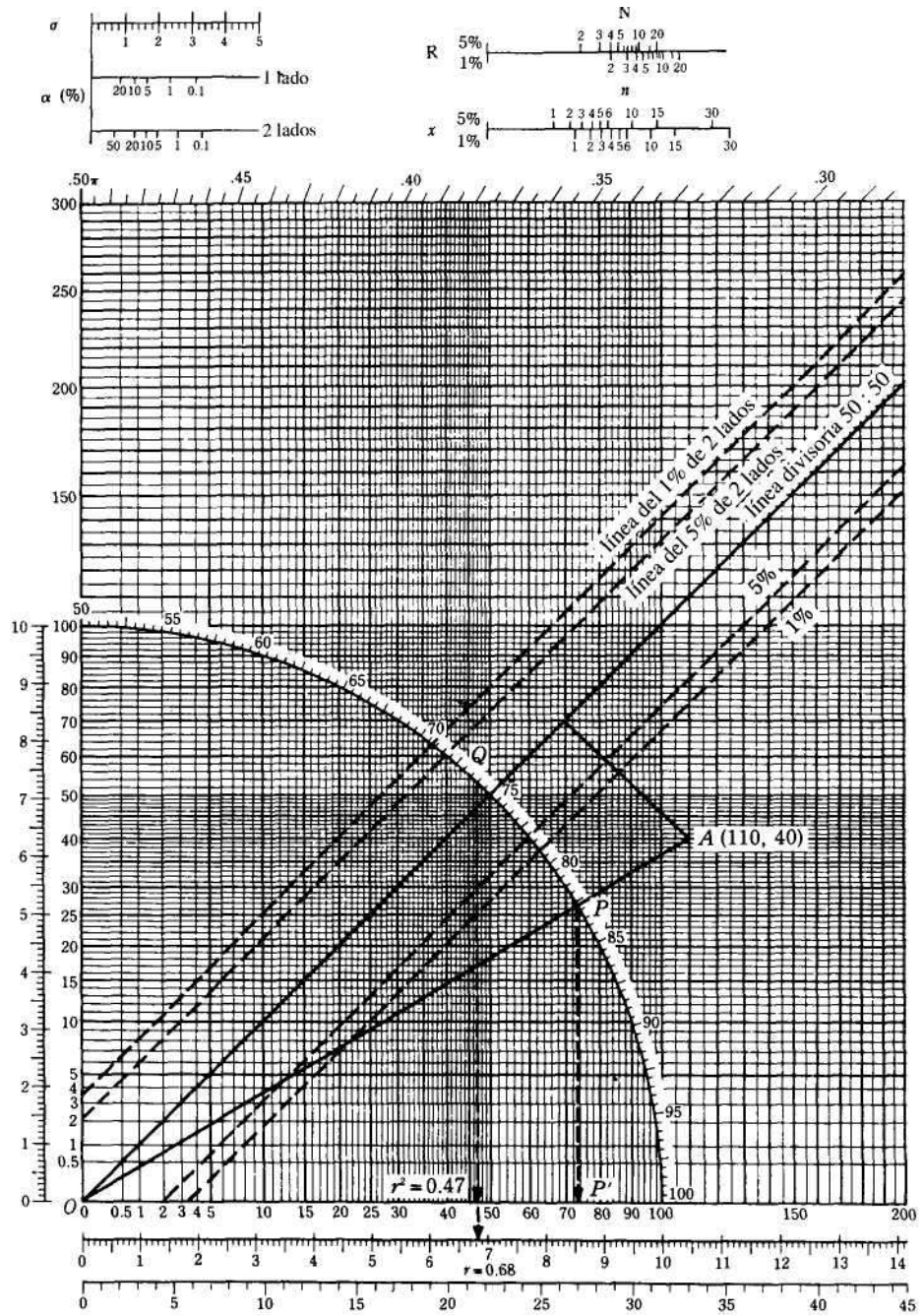


Figura 4A.6: Papel probabilístico binomial

1/10. Cuando se hace esto, 1/100 del valor del eje horizontal da un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0,47.

Nota 2: Cálculo de la línea de regresión por el método de la mediana: si se comprueba la correlación por medio de un método tal como el anterior y se considera que sí que existe, se puede obtener una recta que estima y a partir de  $x$  (la línea de regresión que estima y a partir de  $x$ , i.e., la línea de regresión de  $y$  sobre  $x$ ) del modo siguiente:

Primer paso: Dibujar una línea mediana por los puntos a la derecha de  $YY'$  dividiéndolos igualmente de arriba a abajo, y otra que los divida igualmente de izquierda a derecha, y ver el punto de intersección de las dos líneas.

Segundo paso: Repetir el primer paso para los puntos a la izquierda de  $YY'$ .

Tercer paso: Dibujar una recta que una los dos puntos de intersección obtenidos en el primer y segundo pasos. Esta es la línea de regresión que estima y a partir de  $x$ .

Nota 3: La línea de regresión que estima  $x$  a partir de  $y$  se puede obtener llevando a cabo los pasos del primero al tercero para los puntos por encima y por debajo de  $XX'$ .

Nota 4: El coeficiente de correlación se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i) / n}{\sqrt{(\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n) (\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n)}}$$

Nota 5: la recta que estima y a partir de  $x$  se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$y = \bar{y} + b(x - \bar{x})$$

donde  $b = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / \sum (y_i - \bar{y})^2$ , y la recta que estima  $x$  de  $y$  se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$x = \bar{x} + b'(y - \bar{y})$$

$$\text{donde } b' = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / \sum (y_i - \bar{y})^2$$

## 4A.9 Aditividad de las varianzas

El principio de la aditividad de las varianzas nos dice lo que sucede a la dispersión neta resultante de sumar dos datos,  $x_1$  y  $x_2$ , cada uno de los cuales contiene su propia dispersión individual. Por ejemplo, algunas personas creen que si las piezas que tienen una variación de  $\pm 0,5$  mm se juntan aleatoriamente con piezas que tienen una variación de  $\pm 0,04$  mm, la dispersión resultante

será de  $\pm 0,9$  mm. Esto no es verdad. En casos como éste, tenemos que basar nuestro razonamiento en las leyes descritas a continuación.

- (1) Cuando no hay correlación entre  $x_1$  y  $x_2$  y sus distribuciones respectivas son  $(\mu_1, V(x_1))$  y  $(\mu_2, V(x_2))$ , y si ambos  $x_1$  y  $x_2$  se toman al azar, la distribución de  $y$ , la suma de  $x_1$  y  $x_2$ , se puede calcular de la forma siguiente:

$$y = x_1 \pm x_2$$

$$\mu_y = \mu_1 \pm \mu_2$$

$$V(y) = V(x_1) + V(x_2)$$

- (2) De un modo un poco más general, cuando  $y$  se puede expresar como función lineal de varias variables  $x_i$ , i.e.,

$$y = a + bx_1 + cx_2 + \dots$$

donde  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , etc. son constantes, si los términos  $x_j$  son independientes (i.e., no hay correlación entre ellos) y se muestrean aleatoriamente, la varianza de  $y$  se puede calcular de la manera siguiente:

$$V(y) = b^2 V(x_1) + c^2 V(x_2) + \dots$$

- (3) Cuando  $y$  se puede expresar como la relación funcional  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , tenemos, bajo las mismas condiciones que en (2) (independencia y muestreo aleatorio),

$$V(y) \approx \left( \frac{\delta f}{\delta x_1} \right)^2 V(x_1) + \left( \frac{\delta f}{\delta x_2} \right)^2 V(x_2) + \dots + \left( \frac{\delta f}{\delta x_n} \right)^2 V(x_n)$$

donde la variación de cada término  $x_i$  está aproximadamente dentro del 20 % del correspondiente  $\mu_i$ .

- (4) En (2), si hay correlación entre  $x_1$  y  $x_2$  expresada por el coeficiente de correlación de la población, tenemos

$$V(y) = b^2 V(x_1) + c^2 V(x_2) + 2pbc \sqrt{V(x_1) V(x_2)}$$

La propiedad anterior de las varianzas es importantísima y se utiliza mucho cuando se discuten las tolerancias y los errores, o cuando un efecto  $y$  es el resultado de muchas causas  $x_i$ , i.e., cuando se discuten los errores en las relaciones funcionales.

Nota: La fórmula para la varianza del error dada en la sección 4A.1 es un ejemplo de la aplicación práctica de la teoría de la aditividad de las varianzas.

---

# El control de los procesos

## 5.1 ¿Qué es el control de los procesos?

El control de procesos del que hablo aquí quiere decir control de todas las clases de procesos. En Japón se solía utilizar el término para describir el control de la producción o el control de los progresos realizados, pero en realidad deberíamos hacer una distinción entre los términos.

El proceso al que nos referimos aquí, como se dijo en la sección 4.7.7, es "un conjunto de causas que producen un cierto resultado". En otras palabras, incluye no sólo los procesos de fabricación sino también el trabajo realizado de diversas maneras. Por tanto, querría que los principios aquí descritos se utilizaran para controlar no sólo los procesos de producción sino todos los tipos de procesos de trabajo.

Los métodos de control descritos en este capítulo se pueden poner en práctica básicamente aplicando el enfoque descrito en la sección 1.5, que los lectores podrían desear revisar detenidamente antes de estudiar el presente capítulo. En todo caso, el buen control de un proceso requiere primero un diseño y análisis adecuados del proceso (ver el Capítulo 4). Otros requisitos más son los siguientes:

- (i) Entusiasmo, liderazgo y determinación por parte de la alta dirección; política clara y delegación de la autoridad.
- (ii) Comprensión del enfoque del CC y verdadero interés por parte de todos los empleados; instrucción, difusión, educación y formación.
- (iii) Análisis del trabajo y de los procesos; identificación de las relaciones entre las características (efectos) y las causas.
- (iv) Fomento de la normalización.

- (v) Establecimiento de sistemas estadísticos de comprobación; acciones decididas. Las modificaciones para prevenir la reaparición de problemas son especialmente importantes.

Como con frecuencia no se comprende bien, me gustaría una vez más explicar la diferencia entre el control y diversos términos con los que se puede confundir.

### **"Control" y "Mejora"**

"Control" quiere decir mantener un proceso en su estado presente, de momento. Sin embargo, si sucede una anomalía, su causa es eliminada y se evita que vuelva a suceder, y esta acción produce una ligera mejora. En este sentido, el control es una forma pasiva de mejora. La "mejora" consiste en buscar activamente los problemas, resolverlos, efectuar un arreglo permanente para evitar cualquier vuelta atrás, y controlar la nueva situación. Quiere decir continuar mejorando activamente las cosas (ver la Figura 1.18).

### **"Control" e "Inspección"**

El "control" consiste en hacer comparaciones con estándares de control o con límites de control en los gráficos de control, buscar las causas asignables en el proceso o trabajo si se violan los estándares o hay puntos que caen fuera de los límites, y acometer acciones respecto al proceso. En contraste, la "inspección" consiste en hacer comparaciones con normas de inspección y, si no se cumplen, acometer acciones sobre el producto, e.g., designando a los productos individuales como unidades defectuosas, rechazando a los lotes por inaceptables o instituyendo la inspección del 100 % (inspección tipo cribado). La idea de que se debe adoptar la inspección del 100 % si un gráfico de control indica que un proceso se ha salido de control es equivocada. La decisión de si hacer o no una inspección del 100 % se debe basar en las normas para la inspección del tipo del cribado.

### **"Control" (eliminación de causas asignables) y "Ajuste"**

"Control" quiere decir buscar y eliminar las causas de las anomalías siempre que los puntos de un gráfico de control caigan fuera de los límites de control, i.e., cuando el gráfico indica falta de control. "Ajuste" quiere decir realizar alguna acción reguladora tal como alterar la temperatura cuando se exceden ciertos límites de ajuste. Generalmente, es erróneo hacer ajustes tales como alterar la temperatura o cambiar la profundidad de penetración de una herramienta cortante cuando algunos puntos caen fuera de los límites de control en un gráfico de control. Tales ajustes pueden hacerse como medida pro-

visional, pero esto no elimina las verdaderas causas de la anomalía. Usualmente, los límites de control y los de ajuste son intrínsecamente diferentes.

Este capítulo explica los métodos de control de procesos, basados principalmente en los gráficos de control, pero los procesos y el trabajo se pueden controlar más o menos del mismo modo sin utilizar los gráficos de control, siempre que basemos nuestro juicio en el enfoque de los gráficos de control.

## 5.2 Diseño de la calidad y diseño del proceso

Puesto que este libro trata del control de calidad, el objetivo de los procesos de los que estamos hablando es la calidad. Así pues, aunque esta sección explica los diseños de la calidad y del proceso, se puede aplicar más o menos del mismo modo a otros tipos de control, e.g., control de costes, sustituyendo la palabra "calidad" por la palabra adecuada, e.g., "coste".

Las secciones 1.4 y 1.6 discuten el problema de qué fabricar. La alta dirección ha de tomar esta decisión teniendo en cuenta los requisitos de los consumidores y la política de la empresa; lo importante desde el punto de vista del control es el análisis de los procesos (explicado en el Capítulo 4), especialmente los estudios de capacidades de los procesos internos y externos mencionados en la sección 4.5.7. Aunque hayamos especificado la calidad de lo que queremos producir, generalmente es imposible diseñarlo a menos que conozcamos la capacidad del proceso y otros hechos pertinentes. Lo que es más, a menudo la capacidad del proceso es insuficiente.

En muchas empresas que no ejercen un control adecuado, con frecuencia no se ejercen en su totalidad las capacidades de los procesos. Si éstas se mejoran, bien por los círculos de CC formados con encargados de planta y operarios, o por equipos de CC formados por el *staff* de CC, o las personas responsables de los procesos concretos, se ve a menudo que se pueden hacer eficientemente productos de una calidad satisfactoria con el equipo existente. Así pues, en calidad de diseño, es mejor empezar por identificar cuál sería la capacidad del proceso si se ejerciera en su totalidad. Inversamente, si se da a las personas unas metas firmes dentro de la política, a menudo se obtienen mejoras espectaculares en la capacidad del proceso por medio de los estudios de la capacidad de proceso sin hacer ninguna gran inversión en equipo.

## 5.2.1 Normas de calidad

### (1) Distinción entre normas de calidad y características de control o niveles de control

Como se dijo anteriormente, una "norma de calidad" es el nivel de calidad que se puede obtener en vista a los costes y las políticas relativas a los requisitos de los clientes, la capacidad de proceso, y la calidad, si el proceso está realmente controlado y ejerce totalmente su capacidad. Usualmente se expresa en forma de una distribución que tiene una media y una desviación estándar, o una media y un recorrido. Si, a pesar de todo, la capacidad de proceso es deficiente y es inferior a 1,0, no se puede hacer otra cosa más que llevar a cabo el control del proceso y empezar la producción tal como están las cosas, y someter el producto a un cribado del 100 %. Según la forma en que estén estipuladas las normas de trabajo, las normas de calidad no siempre son características de control.

Las "características de control" son características que expresan el resultado de un proceso, y el examen de estas características indica el estado de control del proceso. En otras palabras, son las características representadas en los gráficos de control y otros gráficos. Las características de control, por tanto, no están limitadas a la calidad y pueden ser cualquier cosa desde el volumen de producción hasta el coste unitario, la cantidad necesaria para una unidad de producto, el volumen de ventas, la tasa de asistencia laboral o la cantidad de horas extraordinarias. Si todas las normas de trabajo tratan de las causas asignables, algunos de aquellos factores que, por sentido común, se considere que son los resultados del proceso, serán características de control. Sin embargo, si las normas de trabajo no están bien meditadas y son del tipo de tratar de cerrar la puerta cuando el caballo ya se ha zafado, en los gráficos de control se dibujarán las causas como si fueran características de control y se creará que los resultados son normas de trabajo. Esto es confundir las causas con los resultados.

Un "nivel de control" es el nivel de una característica de control; normalmente se expresa por  $\bar{x}$ ,  $\bar{R}$ ,  $\bar{p}$ ,  $n\bar{p}$ ,  $\bar{c}$ ,  $\bar{u}$ , etc. La capacidad de proceso es el nivel obtenido cuando un proceso está en el estado controlado, y se toma usualmente como el nivel de control, pero también se pueden utilizar los valores correspondientes a las metas y los planes.

### (2) Orientaciones generales para establecer las normas de calidad

- (a) Las características de calidad que nos ocupan en el control de procesos son aquellas en que están interesados los clientes o el proceso siguiente, o sus características sustitutas identificadas por el análisis de la calidad.

- (b) Se tienen que proveer algunos medios para medir la calidad así como métodos de muestreo y de medida; además, se tiene que comprobar y controlar el tamaño de los errores que introducen (ver la sección 4A.1).
- (c) Las características de calidad deben ordenarse según su importancia y clasificarse en mayores, menores y leves, o mayores y menores (ver la sección 1.4.4(4) y la Figura 1.4).
- (d) Puesto que las normas de calidad son diferentes de las metas de calidad, se deben seleccionar las que sean razonables consultando con los clientes y con el proceso siguiente. Usualmente, las personas tratan de comprar bienes de la mayor calidad posible, pero realmente deberían considerar el aspecto económico y pedir productos del nivel de calidad más bajo permisible. Esto también debe tenerse siempre presente cuando se compran materias primas puesto que ello conducirá a que sus productos tengan unos precios razonables. En general, la tecnología consiste en hacer buenos productos con materias primas de mala calidad. Sin embargo, es conveniente fijar los niveles de calidad ligeramente por encima de los niveles de inspección y deshacerse de la inspección. Analizar esto estadística y técnicamente es una especie de análisis del valor (AV).
- (e) Se tienen que establecer normas de calidad para cada proceso completo e intermedio, y se tiene que tener cuidado de no confundir las normas de calidad con los de inspección.
- (f) Las normas de calidad tienen que tener cierta tolerancia.
- (g) Las normas de calidad se tienen que revisar y racionalizar constantemente.
- (h) Para cada característica de calidad se tiene que definir qué normas de calidad se van a decidir, y bajo la autoridad y responsabilidad de quién. Generalmente, el departamento técnico los investiga y luego los comités de control de calidad o de normas de calidad o sus subcomités elaboran los borradores de los planes. Las normas de calidad del producto final deben ser decididos en línea con la política de la alta dirección, y las normas de las materias primas o los procesos intermedios deben ser decididos bien por el departamento técnico o por el nivel de dirección que esté justo por encima del proceso. Por ejemplo, el jefe de un departamento podría establecer los estándares para los productos finales de las secciones de su departamento, el director de fábrica para los productos finales de cada departamento, y el presidente de la empresa para los productos finales de cada fábrica.
- (i) Es deseable que las normas técnicas y las normas de trabajo se formulen con el propósito de alcanzar las normas de calidad.



### (3) Comparación con las especificaciones, las nietas de calidad, etc.

Como se explicó en el Capítulo 4, si un proceso se analiza detenidamente, si se identifica la capacidad del mismo y si se controla según las normas de trabajo, se conocerán el estado del proceso y la dispersión de los productos que se produzcan en el futuro. Debemos considerar separadamente si esto satisface los requisitos del cliente, las especificaciones y las normas, o si cumple los niveles de calidad exigidos por el proceso siguiente. Sólo podremos estar satisfechos con la calidad del proceso y las normas de calidad cuando los niveles de calidad que emergen realmente del proceso satisfagan las normas de nuestros clientes (ver las secciones 2.8 y 4.7.7).

Normalmente, podemos suponer que se satisfacen las especificaciones y que casi no se produce ningún producto por fuera de ellas si el gráfico de control indica que el proceso está sustancialmente en un estado de control, hay por lo menos cien puntos y los datos originales caen dentro de los límites de la especificación, y el valor de  $\bar{x} \pm 4s$  calculado a partir de los histogramas cae dentro de los límites de la especificación. Si  $\bar{x} \pm 5s$  cae dentro de los límites, podremos afirmar que la fracción de unidades defectuosas es del orden de partes por millón.

Cuando se compara la capacidad real de un proceso con las especificaciones y las metas de control por medio de histogramas, etc., y se ve que no concuerdan, se deben adoptar las siguientes medidas:

- (a) Cuando la capacidad de proceso excede las especificaciones:
  - (1) Reducir los límites de la especificación a  $\pm 4s$  o  $\pm 5s$ .
  - (2) Cuando las especificaciones pueden satisfacer con holgura los requisitos de los clientes tal como están, aumentar la dispersión del proceso o cambiar el promedio del proceso cuando esto sea económicamente ventajoso.
- (b) Cuando la capacidad de proceso no cumple las especificaciones:
  - (1) Cuando el promedio del proceso esté fuera de lugar, alterarlo si es una cosa sencilla técnicamente.
  - (2) Puesto que la variación y  $\bar{R}$  no se pueden cambiar a voluntad, se debe acometer una acción especial para "exterminar  $R$ " cuando éstos sean demasiado grandes (ver la sección 3.9.2).
  - (3) Si no hay forma de cambiar la capacidad de proceso para producir productos que cumplan las especificaciones aún después de haber investigado varios aspectos técnicos y estadísticos, se deben dar los siguientes pasos:
    - (i) Considerar la relajación de las especificaciones: a menudo, las especificaciones y las normas existentes son estadística y técnicamente irracionales.

- (ii) Cambiar la capacidad de proceso al introducir mejoras técnicas radicales en el proceso.
- (iii) De ser posible, llevar a cabo un cribado del 100% para eliminar los productos defectuosos.
- (iv) Cuando la capacidad de proceso se haya quedado corta respecto a las especificaciones, la segregación puede hacer que el producto se pueda utilizar. Por ejemplo, se pueden utilizar unos ajustes o montajes selectivos. Cuando se haga esto, hay que tener en cuenta los errores de medida.

#### **(4) Control y revisión de las normas de calidad**

Puesto que las normas de calidad son como cosas vivientes, tienen que ser controladas y revisadas para que nunca se queden anticuados. Para lograrlo, se tienen que estipular procedimientos estándar para establecer y revisar las normas de calidad, y se tienen que formular las reglamentaciones para controlarlos.

Las normas de calidad deben revisarse en las ocasiones siguientes:

- (i) Cuando cambian los requisitos del cliente (e.g., para diferentes países y diferentes clientes).
- (ii) Cuando cambia la política empresarial de la empresa.
- (iii) Cuando cambian las capacidades de los procesos, se introducen modificaciones técnicas o se revisan las normas de trabajo.
- (iv) Cuando cambia el producto como consecuencia de un cambio en las materias primas.
- (v) Cuando cambia el clima económico.
- (vi) Cuando ha pasado cierto periodo de tiempo desde que se emitieron las últimas normas de calidad.

### **5.2.2 Diseño de los procesos, análisis de los procesos y preparación de los gráficos de procesos de control de calidad**

Aquí, "diseño del proceso" quiere decir el tipo de diseño que hace uso de los diagramas de flujo de CC (gráficos de proceso de control de calidad o "gráficos de proceso de CC") para la fabricación de un producto determinado, para especificar cómo controlar las diversas causas asignables e incorporar la calidad al proceso. También podría llamarse la planificación del control de calidad del producto (ver la sección 4.7.5 y las Figuras 4.5 y 4.6).

La diferencia entre los gráficos de proceso de control de calidad y los diagramas de flujo ordinarios es que los primeros son más detallados y llegan

hasta mostrar las relaciones con las normas de trabajo, las normas para los métodos de muestreo, las normas de medida, de materias primas y otros para controlar las causas asignables, junto con los puntos de verificación (las causas, i.e., hojas de comprobación) y las verificaciones que se han de llevar a cabo con las características de control (los resultados, i.e., los gráficos de control) necesarios para controlar el proceso y garantizar la calidad. Los gráficos especifican dónde y cuándo se tienen que hacer estas verificaciones y quién va a hacerlas, así como describir qué características de calidad van a ser inspeccionadas y por quién. La existencia o ausencia de normas relacionadas, junto con sus números, condiciones, etc., deben anotarse brevemente en estos diagramas de flujo. Igualmente, cuando se están dibujando los diagramas de flujo, se deben preparar los diagramas de causa y efecto para cada característica, para asegurarse de que no se pasa por alto ninguna causa asignable.

### **(1) Cuando el trabajo ya está en marcha o la fábrica ya está funcionando**

En este caso, tal como se describió en la sección 4.7, debe analizarse el trabajo o el proceso, y debe prepararse el gráfico del proceso de CC mientras se estudia cómo proceden con objeto de alcanzar un buen resultado o un producto de buena calidad, teniendo en cuenta los puntos anteriores. Luego se prueba el gráfico en la práctica y se revisa a la luz de los resultados. Luego se vuelve a revisar mientras se atiende a los requisitos de los clientes y del proceso siguiente, o se adoptan medidas para prevenir la reaparición de anomalías. La revisión del gráfico del proceso de CC mejora la calidad, reduce los costes, impulsa la productividad y eleva los niveles técnicos.

### **(2) Cuando se empieza un nuevo trabajo o se desarrollan productos o tecnología nuevos**

Tal como se describió en la sección 4.7.5, el Gráfico de Proceso de CC I se prepara en la etapa de diseño y planificación, y se perfecciona gradualmente durante la fabricación del prototipo y la producción piloto. Luego se prepara el Gráfico de Proceso de CC II para asegurarse de que se puede llevar a cabo un buen control del proceso durante la producción inicial y a escala total, y que la puesta en marcha de la producción avanza uniformemente. La técnica para hacerlo mejorará en cada experiencia con la puesta en marcha de un nuevo producto.

Los gráficos de proceso de CC y los diagramas de causa y efecto son esenciales para el control del proceso. También se pueden utilizar para revisar los métodos de control del proceso, realizar auditorías de control de calidad, etc. Si se anotan en ellos factores tales como la eficiencia, el coste y el tiempo,

pueden convertirse en lo que se conoce generalmente como normas de producción.

## 5.3 Acciones

### 5.3.1 Tipos de acciones

Aunque la acometida de acciones con respecto a un proceso basado en los gráficos de control es fundamental para el control del proceso, a menudo no se comprende y, por tanto, los gráficos de control no se utilizan adecuadamente, *las normas de calidad se confunden con las normas de trabajo, la inspección se confunde con el control y el ajuste se confunde con la eliminación de causas asignables*. Entonces, las personas murmuran que los gráficos de control son inútiles y el control de calidad no avanza.

Aquí me gustaría explicar cómo interpretar las acciones cuando se utilizan los gráficos de control (ver también la sección 5.1)

Las acciones normalmente realizadas sobre los procesos se pueden clasificar en los dos tipos siguientes:

#### (I) Acción sobre el proceso

- (a) Acción inmediata con respecto al proceso:
  - (i) Acción en línea con las normas de trabajo -principalmente los ajustes y el control automático.
  - (ii) Acción basada en los gráficos de control -investigación y eliminación de las causas asignables, o realización de ajustes provisionales de emergencia.
- (b) Acción realizada para prevenir la reaparición de causas asignables en el futuro: investigación y eliminación de las causas asignables, i.e., revisión de diversas normas, educación y formación, redistribución del personal, etc.

#### (II) Acción sobre el producto

- (a) Cribado de los productos individuales por medio de una inspección del 100% cuando hay presentes unidades defectuosas.
- (b) Pasar, desechar o cribar los lotes, o hacer descuentos en su precio, por medio de la inspección por muestreo y la estimación estadística.

Las acciones sobre los productos individuales o los lotes de productos deben estar basadas en las normas de inspección y, en principio, los gráficos de

control no deben utilizarse con este fin. Cuando las personas tratan de utilizar los gráficos de control como base para acometer acciones respecto a los productos individuales o a los lotes de productos, a menudo su enfoque es erróneo. El control del proceso y la inspección son diferentes, y esto es confundir la inspección con el control.

### 5.3.2 Gráficos de ajuste

El punto (I) (a) (i) anterior se refiere a cuestiones relacionadas con causas asignables y operaciones formuladas en las normas de trabajo. Realmente deberían llamarse ajustes y son completamente diferentes del punto (I) (a) (ii). Por ejemplo, podrían consistir en instrucciones tales como "Ajustar la temperatura a  $700 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ", o "Cuando la temperatura alcance  $703^{\circ}\text{C}$ , aumentar el flujo de aire  $10 \text{ m}^2/\text{h}$ ". En situaciones tales como la medida del Ph o del porcentaje de oxígeno para saber cuándo terminar una reacción química, o medir una dimensión para saber cuándo parar una máquina, las características deben estar especificadas en forma de normas de trabajo. Para que estas operaciones se desarrollen uniformemente, a veces es muy útil dibujar gráficos que muestren las líneas límite, pero estrictamente hablando, éstos son *gráficos de ajuste*, no gráficos de control. El control automático consiste en automatizar este tipo de procedimientos.

Tiene que observarse, tal como se explica en este libro, que cualquier gráfico que muestre límites calculados estadísticamente puede llamarse generalmente gráfico de control, y en ese sentido puede todavía llamarse gráfico de control aun cuando se utilice con fines de ajuste. Sin embargo, en este caso es mejor llamarlo gráfico de ajuste y distinguirlo de los gráficos de control. Si los diversos errores implicados no se examinan adecuadamente, es fácil pasarse en los ajustes y en las acciones, al tratar de obligar al proceso a mantenerse dentro de los límites. El profesor Genichi Taguchi ha investigado métodos para calcular los límites de ajuste.

Los puntos (I) (a) (ii) y (I) (b) anteriores cubren las acciones que hacen uso de los gráficos de control o las acciones para eliminar las anomalías. Las características que deben representarse en los gráficos de control son, por tanto, aquellas características de control que son el resultado del proceso.

Los gráficos de control que utilizamos para el control del proceso se pueden clasificar con los dos nombres siguientes, desde el punto de vista de las acciones que se han de acometer:

- (1) Gráficos de control dirigidos principalmente a una acción inmediata: punto (I) (a) (ii) anterior.

- (2) Gráficos de control dirigidos principalmente a una acción para prevenir la reaparición de anomalías en el futuro: punto (1) (b) anterior.

Estos dos tipos de acciones no son, claro está, enteramente independientes. Por ejemplo, incluso con gráficos de control dirigidos principalmente a una acción inmediata, no mejorará la tecnología ni avanzará el proceso si no se considera la acción de prevención. E incluso con gráficos de control dirigidos principalmente a la prevención, se tiene que actuar tan rápidamente como sea posible.

Tanto si el propósito principal de un gráfico de control es la acción inmediata como la prevención, en principio debe utilizarse para dibujar los resultados de un proceso, descubrir las causas de las anomalías y eliminarlas. Los gráficos de control no deben utilizarse para el ajuste.

### **5.3.3 Gráficos de control encaminados principalmente a entrar en acción de forma inmediata**

En principio, los gráficos de control deben utilizarse para detectar prontamente y eliminar inmediatamente las causas asignables siempre que algunos puntos caigan fuera de los límites de control. Sin embargo, si la causa es desconocida, no se puede eliminar o no se puede eliminar con la suficiente rapidez, a veces es necesario realizar un ajuste provisional de algún otro factor. Si se hace esto, se tiene que eliminar rápidamente la causa real de la anomalía y restablecer a su condición original el proceso ajustado provisionalmente.

En las fábricas bien normalizadas, los operarios y supervisores utilizan los gráficos de control de la forma anterior. Especialmente con el aumento reciente de la automatización y el uso de robots, los operarios hacen cada vez más de supervisores y controladores de la maquinaria y los equipos, y los gráficos de control se utilizan gradualmente cada vez más por los supervisores y operarios del nivel más bajo. Para que los gráficos de control se utilicen así, un proceso tiene que satisfacer las siguientes condiciones:

- (1) El muestreo tiene que ser sencillo, y las medidas tienen que poder tomarse inmediatamente. Tiene que ser posible una retroalimentación rápida.
- (2) Los supervisores de puestos de trabajo tienen que poder dibujar gráficos de control y tienen que tener unos buenos conocimientos de cómo interpretarlos.
- (3) Todas las causas asignables tienen que ser totalmente comprendidas en términos técnicos.
- (4) Las causas asignables tiene que poder ser eliminadas inmediatamente.
- (5) Tienen que normalizarse los cuatro puntos anteriores.

- (6) Es deseable que las características de calidad del producto y las características de control satisfagan las especificaciones y las metas basadas en las condiciones anteriores.

Estas condiciones tienen que cumplirse con rapidez y se tienen que preparar los gráficos de control que permitan la acometida inmediata de acciones. Para que los gráficos de control se utilicen de este modo, se tiene que establecer firmemente la tecnología del proceso, y las actividades tales como las de los círculos de CC tienen que haber situado a quienes están en los puestos de trabajo en un nivel en el que les sea posible utilizar estos gráficos. Si de momento es imposible cumplir las condiciones, se tienen que hacer esfuerzos para conseguirlo promoviendo la normalización al mismo tiempo que se utilizan los gráficos de control que se centran en la prevención de la reaparición de problemas.

### **5.3.4 Gráficos de control que se centran en la prevención de la reaparición de los problemas**

Cuando las condiciones para utilizar los gráficos de control que se centran en la acometida de acciones inmediatas no se satisfacen, i.e., en fábricas que no están bien normalizadas, forzosamente se tiene que dar prioridad al uso de los gráficos de control que se centran principalmente en la prevención de la reaparición de los problemas, i.e., la acción para prevenir que en el futuro no se repitan las causas de las anomalías.

Este tipo de acción incluye lo siguiente:

- (1) Preparación y revisión de las normas: revisión de las normas operativas, técnicas y de control actuales, las especificaciones de materiales, los métodos de almacenado y control, las normas para los equipos (incluyendo las normas para la modificación e instalación de equipos y de instrumentos de medida), y la racionalización organizativa.
- (2) Educación y formación en normas, puesta en práctica de las mismas, redistribución del personal según haga falta.

Cuando se utilizan los gráficos de control para la prevención de la reaparición de los problemas, nos preocupa principalmente si se está o no acometiendo de verdad una acción, si los problemas se están resolviendo adecuadamente y si se están comprobando los resultados. En otras palabras, queremos saber si se están siguiendo los procedimientos estándar para resolver los problemas y si se están preparando y utilizando adecuadamente los informes de las anomalías.

Sin este enfoque, no sólo será imposible mejorar el proceso o la tecnología sino que también será imposible pasar al uso de los gráficos de control para actuar inmediatamente. En otras palabras, si se acometen acciones eficaces para la prevención de la reaparición de problemas, los puntos del gráfico de control empezarán a caer, de forma natural, entre los límites de control como consecuencia de la normalización y la formación. Tal como implica la explicación anterior, este modo de utilizar los gráficos de control consiste en utilizarlos para controlar el proceso al mismo tiempo que se fomenta la normalización y se racionaliza la organización.

La prevención de la reaparición de problemas se puede dividir en tres tipos principales:

- (1) Eliminación de los síntomas (medidas y ajustes provisionales).
- (2) Eliminación de las causas inmediatas.
- (3) Eliminación de las causas básicas subyacentes (ver la sección 1.5.3).

A menudo, las personas solían considerar la prevención de la reaparición de problemas una cuestión de eliminar los síntomas solamente, pero esto es un mal uso del término. Tenemos que volver a las causas e incluso a las causas básicas, y acometer acciones para cambiar nuestros métodos de trabajo, procedimientos, estándares y reglamentaciones.

### **5.3.5 Informes de las anomalías de un proceso**

Es responsabilidad de los directivos conocer inmediatamente si sucede algo fuera de lo normal en sus procesos y comprobar rápidamente si se están dando los pasos adecuados para hacerle frente. Cuando sucede cualquier clase de anormalidad en un proceso, se tiene que preparar y utilizar un informe de anomalías del proceso.

#### **(1) El propósito de la preparación de los informes de anomalías de un proceso**

Los informes de anomalías de un proceso se preparan con los siguientes fines en mente:

- (a) Para informar rápidamente de las anomalías del proceso.
- (b) Para confirmar si se está acometiendo la acción correcta.
- (c) Para acelerar el análisis de las anomalías y la actuación inmediata, especialmente en la prevención de la reaparición de problemas.



- (d) Para clasificar las anomalías y sistematizar la investigación de modificaciones, y para tener una referencia cuando se decida sobre las prioridades en la inversión en equipos.

## **(2) Contenido de los informes de anomalías de un proceso**

Los informes de anomalías de un proceso deben presentarse en impresos normalizados que tengan espacio para los siguientes puntos (ver la Tabla 5.1):

- (a) Número de referencia.
- (b) Estado del proceso: número del gráfico de control, nombre del proceso, nombre del producto y características de control, número del lote, estado del lote, nombre del operario, líneas de control y otros detalles de los gráficos de control.
- (c) Detalles de la anomalía: fecha y hora de la aparición, descripción del fenómeno, nombre de la persona que detecta la anomalía.
- (d) Causa: si se conoce o no; si se conoce, dar detalles de la misma y las opiniones de los responsables.
- (e) Acción: modificaciones provisionales, acción con respecto a la causa y al proceso, detalles de la acción inmediata, si es la eliminación de la causa o un simple ajuste, fecha y hora, estado de las relaciones con otros departamentos, detalles de la disposición del lote si es necesario. Si el problema está totalmente resuelto, medio resuelto o todavía no se ha acometido.
- (f) Investigación: detalles de la investigación de modificaciones para la prevención de la reaparición de problemas.
- (g) Modificaciones para prevenir la reaparición de problemas: modificaciones radicales para la prevención, opiniones respecto al futuro, fechas de iniciación y terminación de las modificaciones, sus efectos, etc.
- (h) Confirmación de las modificaciones: confirmación de las mismas y métodos de control futuros.
- (i) Otros: e.g., persona responsable, persona de contacto, lista de circulación, lugar de archivo, etc.

## **(3) Procedimientos para el manejo de los informes**

Deben formularse procedimientos normalizados para el manejo de los informes de las anomalías de un proceso. Estos deben incluir lo siguiente:

- (a) Detalles de quién debe redactar los informes, cuándo deben redactarse, qué deben incluir y cuántas copias se deben emitir.
- (b) El método de circulación.

Tabla 5.1: Informe de anomalías de un proceso

Tabla 5.1 Informe de anomalías de un proceso

| Nº ref. UA-009                                   |  | Impreso del informe de anomalías de un proceso   |   |                     | Emitido el 5 de Febrero de 1974           |                 |
|--|--|--|---|---------------------|---|-----------------|
| Aparición de la anomalía                         | Nombre de la máquina   | ENT-86814  | Diario de gráficos de control número      | 20-2 TIII-A3-2      | Fecha y hora de la aparición              |                 |
|  | Nombre del proceso   | PRE-ENSAYO                                       | Número del lote                           |                     | 15 febrero a.m. 5:00 p.m.                 |                 |
|  | Característica de calidad  | Comportamiento eléctrico (configuración de onda) | Operario                                  | Inspector           | Akemi Yoshikawa                           |                 |
|  | 3% en gráfico de control estratificado indica errores del gráfico de configuración de onda del pre-ensayo  |  |   |                     | Detectado por                             |                 |
|  |  |  |   | Tabuchi             |   |                 |
| Investigación de las causas                      | <p>En el pasado, la posición de la leva se determinaba con relación a la abertura del eje del rotor (i.e., por la dimensión C). Para mejorar la eficiencia, se alteró la plantilla para soldar la leva y que su posición estuviera determinada por la dimensión B. Debido a las rebabas y otras irregularidades del extremo del eje del rotor, esto aumentó la variación de la dimensión C haciendo que la leva tropezara con el chasis y se alterara la configuración de la onda.</p> |  |   |                     | Investigación de la causa                 |                 |
|  |  |  |   |                     | ¿Cuándo?                                  | 16 febrero      |
|  |  |  |   |                     | ¿Quién?                                   | Tabuchi         |
|  |  |  |   |                     | ¿Cuándo?                                  | Día mes         |
|  |  |  |   | ¿Quién?             |   |                 |
|  |  |  |   | ¿Cuándo?            | Día mes                                   |                 |
|  |  |  |   | ¿Quién?             |   |                 |
| Acción de emergencia                             | Cuando se suelde cada amortiguador de tierra, comprobar si la leva interfiere con el chasis.   |  | Relaciones con departamentos relacionados |                     | Acción de emergencia                      |                 |
|  | Durante el proceso de montaje del rotor, corregir la plantilla de soldadura de la leva del eje del rotor.  |  | 17 febrero                                |                     | ¿Quién?                                   | Tabuchi         |
| Acción para prevenir la reaparición del problema | Durante el proceso de montaje del rotor, controlar la dimensión de la soldadura eje/leva (dimensión B) con un gráfico de control $\bar{x}-R$ (a partir del 17 de febrero).   |  |   |                     | Prevención                                |                 |
|  | Cambiar la dimensión de la pieza donde el chasis hace contacto con la leva (dimensión A) de 5,5 a 6,5 mm.  |  |   |                     | ¿Cuándo?                                  | 28 febrero      |
|  |  |  |   |                     | ¿Quién?                                   | Tokuno          |
| Confirmación del efecto de la prevención         | Después de alterar la dimensión A, no hubo errores en la conformación de la onda. Puesto que el gráfico de control $\bar{x}-R$ para los errores de la configuración de la onda siguió mostrando cero defectos, dejó de hacerse.  |  |   |                     | Confirmación de los detalles de la acción |                 |
|  | También dejó de hacerse el gráfico de control $\bar{x}-R$ para la dimensión de la soldadura rotor/leva.  |  |   |                     | Aoki                                      |                 |
|  |  |  |   |                     | Comprobación                              |                 |
|  |  |  |   | ¿Cuándo?            | 8 marzo                                   |                 |
|  |  |  |   | ¿Quién?             | Tokuno                                    |                 |
| Período de almacenamiento 3 años                 | División sintonizadores  |  |   | Director de sección | Encargado                                 | Líder del grupo |
| Número formato TG-Q001                           | Sección de Producción Fábrica MP Grupo de Montaje UHF  |  |   | Aoki                | Tokuno                                    | Tabuchi         |

Nota 1: este informe indica claramente la fecha y la hora en que se realizó cada paso, desde el descubrimiento de la anomalía a la puesta en práctica de la acción para prevenir su reaparición y la confirmación de los resultados.

Nota 2: permite el trazado de los progresos realizados hasta la confirmación de los resultados de la acción.

Nota 3: hay una columna para anotar los detalles de los contactos con los departamentos relacionados.

- (c) El procedimiento hasta la solución final del problema descrito en el informe, especialmente cómo se debe acelerar la acción preventiva y la confirmación de su efecto.
- (d) Métodos generales para analizar y utilizar los informes.

Aun cuando se haya emitido un informe de las anomalías de un proceso, también se debe preparar una *lista de* anomalías para asegurarse de que el asunto no se archiva hasta que se hayan establecido firmemente las modificaciones de prevención. Esta lista debe utilizarse para comprobar los progresos realizados y asegurarse de que no vuelve a aparecer el mismo problema. El problema se tiene que perseguir obstinadamente hasta que se hayan acometido las acciones para eliminar las causas fundamentales.

## 5.4 Normas de trabajo y normas técnicas

### 5.4.1 ¿Qué son las normas de trabajo y las normas técnicas?

Uno de los primeros problemas encontrados cuando se introdujo el control de calidad en la industria japonesa fue que muchas empresas no tenían normas de trabajo racionales (incluyendo normas técnicas). Esto hizo necesario que se tuviera que aumentar el grado de conciencia de las personas en cuanto a calidad; todo el mundo tenía que ser consciente de su responsabilidad para realizar estudios de capacidades de los procesos, analizar los mismos y establecer la tecnología de producción, mientras que los departamentos técnicos formulaban, revisaban y perfeccionaban las normas técnicas e investigaban las maneras de mejorar la tecnología para alcanzar las metas de calidad, y los departamentos de fabricación y de inspección trabajaban de acuerdo con las normas de trabajo para producir productos que estuvieran de acuerdo con las normas de procesos. La industria de la construcción, las industrias de servicios y las de ventas todavía son así; sólo recientemente han introducido el CCT y todavía van atrasadas en la normalización.

En el pasado, las normas de trabajo japonesas estaban infestadas de defectos; algunas eran tan inútiles que simplemente se archivaban y se olvidaban. Algunos de estos defectos eran los siguientes:

- (1) Muchas normas, especialmente las normas de trabajo, eran inadecuadas porque las personas no estaban acostumbradas a formularlas.
- (2) Algunas eran enteramente del tipo de la ingeniería industrial anticuada, del tipo de estudios de trabajo o del tipo de eficiencia del trabajo, mientras que otras omitían completamente estos elementos.
- (3) Muchas no eran más que documentos sin ninguna otra finalidad.

- (4) Algunas personas estaban infectadas de la manía de reglamentar y normalizar, y pasaban todo el tiempo haciendo reglas porque creían que control quería decir atar a la gente. Igual que los burócratas mezquinos, hacían las reglas tan estrictas que no había esperanza de que se obedecieran.

El resultado de esto fue que la obediencia de las normas produjo unidades defectuosas en vez de prevenirlas.

Una de las condiciones previas básicas para promover el control de calidad, que es al mismo tiempo un medio para establecer la verdadera tecnología en cualquier industria, es fortalecer los puestos de trabajo por medio de los círculos de CC, llevar a cabo estudios y análisis extensivos de procesos y formular normas de trabajo racionales.

Si se comprende bien el concepto de control, y la política de la dirección y la organización han sido firmemente establecidas, el control de calidad se puede poner en práctica sin preparar gráficos de control si se dispone de normas de calidad y de normas de trabajo y éstas están en uso. Sin embargo, si no hay normas de calidad o normas de trabajo racionales (aunque pueda haber normas de trabajo y reglamentaciones sobre el papel), si la organización no ha sido racionalizada y si la política de la dirección es confusa, cualquier gráfico de control que se prepare se verá meramente como un gráfico y las normas de calidad y la garantía de calidad serán inexistentes.

Con los avances recientes de la automatización, del uso de robots y del control por ordenador, los procesos se han acelerado, y se producirán raudales de unidades defectuosas si no se han establecido las normas de trabajo y las técnicas, las capacidades de los procesos son inadecuadas o el sistema es tal que el control de los procesos no se ejerce adecuadamente. Antes de promover la automatización, se tiene que llevar a cabo un análisis profundo de los procesos y se tiene que instaurar firmemente un sistema de control de los mismos. Si se hace esto, el equipo se hará cargo del trabajo y las personas que están en los puestos de trabajo serán responsables principalmente de la vigilancia, como en las industrias de proceso. Por tanto, las normas de trabajo cambiarán y el control de equipos y de medidas se hará más importante.

### **5.4.2 Características de calidad, características de control y normas de trabajo**

Realmente las normas de trabajo deben decidirse solamente después de que hayan sido establecidos las normas de calidad y las metas de los procesos. En la práctica, no obstante, las normas de calidad y las normas de trabajo se determinan a menudo haciendo concesiones mutuas. Las normas de calidad tienen prioridad cuando la tecnología ya está establecida y se han analizado completamente las capacidades de los procesos.

En muchas fábricas japonesas hay confusión en cuanto a si hay que dar las instrucciones en forma de normas de calidad o de trabajo. Esto es porque no se distinguen claramente las causas y los efectos, y están mal definidas la autoridad y la responsabilidad. Las características de control de un proceso o trabajo determinados se manifiestan a sí mismas como los resultados de ese proceso o trabajo, y las normas de trabajo describen específicamente qué hacer con las causas asignables que producen esas características. Dar a los trabajadores las instrucciones en forma de características de calidad o resultados es una mala manera de hacer las cosas, ya que es como decirle a alguien que cierre la puerta cuando el caballo ya se ha escapado. Si se han formulado las normas prioritarias del tipo de las descritas en la sección 1.5, las características de calidad se convertirán en las características de control.

Desde el punto de vista del uso de los gráficos de control para eliminar las causas de las anomalías, los valores medidos deben darse como normas de trabajo si es que los datos se van a utilizar con fines de ajuste. Si los datos se van a representar en gráficos de control y se van a buscar y eliminar las causas de las anomalías cuando los puntos caigan fuera de los límites de control, los valores medidos se deben dar en forma de características de control. Por ejemplo, si la temperatura (el resultado) se puede cambiar simplemente al girar ligeramente una válvula (la causa), puede especificarse en una norma de trabajo. Sin embargo, cuando hacen falta varias operaciones (Le., cuando se tienen que cambiar varias causas asignables) con objeto de alterar la temperatura, esto debe tratarse como una característica de control y cada una de las operaciones debe ser especificada en las normas de trabajo.

Cuando se controla un proceso que ha sido automatizado o que hace uso de robots, muchas de las causas asignables serán controladas automáticamente, y es necesario meditar mucho sobre qué clase de resultados deben representarse en los gráficos de control como características de control y cómo debe comprobarse el proceso automatizado. Aun cuando haya un alto grado de automatización o robotización, es bueno seleccionar las características de calidad y utilizar los gráficos de control para controlar el proceso como si fuera un sistema completo.

### **5.4.3 Propósitos y tipos de normas de trabajo**

#### **(1) Propósitos**

La preparación de las normas de trabajo tiene varios fines, según la norma concreta de que se trate. Aquí me gustaría hablar principalmente de las normas relativas al control de los procesos, desde los siguientes aspectos:

- (i) Calidad
  - (ii) Control
- } desde el punto de vista del cc
- (iii) Movimientos estándar, eficiencia del trabajo, producción - desde el punto de vista anticuado de la II.
  - (iv) Coste.
  - (v) Seguridad.

Las normas de trabajo, claro está, incorporan todo lo anterior. Los gráficos de control se utilizan para comprobar si el trabajo se está realizando de acuerdo con las normas de trabajo preparadas con los fines anteriores en mente.

Los fines de la preparación de las normas de trabajo también pueden clasificarse como sigue:

- (i) Para la educación (para los recién llegados, los empleados de hace tres meses, un año o diez años, etc.).
- (ii) Para los operarios y supervisores.
- (iii) Para acumular tecnología (para la organización más que para el individuo).
- (iv) Para crear un historial (no es un fin muy significativo).
- (v) Para obtener el registro de la marca JIS u otras marcas de distinción (esto puede conducir fácilmente a la normalización porque sí).

El fin más general de la normalización es hacer que las personas hagan su trabajo más fácilmente, permitir que la autoridad se delega extensamente, para captar y preservar la tecnología y para evitar que se repitan las equivocaciones.

## (2) Tipos de normas

Ahora me gustaría explicar la mejor manera de clasificar las normas, fijándome en los procesos de fabricación. Puesto que el método de clasificación dependerá del tipo de proceso y del tipo de producto que se esté produciendo, me limitaré a una clasificación general que creo aplicable a todos los casos. La filosofía básica es la misma para el sector de servicios, aunque habrá diferencias entre las distintas industrias. La venta de servicios por medio de las relaciones personales necesita normas de opinión que se puedan adaptar a satisfacer las necesidades y preferencias de los clientes.

Las *normas técnicas* son utilizadas principalmente por los técnicos y directivos de nivel medio o superior. Se refieren a asuntos considerados importantes desde el punto de vista técnico, junto con sus antecedentes históricos; su fin es construir un cuerpo tecnológico para la organización. Según la situación, pueden incluir gráficos de proceso de fabricación, gráficos del proceso de

CC, normas de calidad, capacidades de procesos, diagramas de causa y efecto, normas de control de procesos, normas de tecnología de inspección, etc.

Las *normas de diseño y las normas de la tecnología del diseño* son utilizadas principalmente por los departamentos de diseño. Las normas de diseño se utilizan para normalizar y uniformizar el proceso de diseño, mientras que las normas de la tecnología del diseño se utilizan para normalizar las cuestiones técnicas importantes relativas al diseño, y se orientan a construir un cuerpo tecnológico de diseño.

Las *normas de trabajo* tienen varios propósitos y se conocen por varios nombres pero me gustaría definir las aquí simplemente como "las maneras especificadas de cómo realizar el trabajo". En última instancia conducen a la automatización y a la robotización. En el sector de servicios hace falta una gran variedad de ellas para acomodarse a los diferentes requisitos de los clientes.

Las *instrucciones de trabajo* establecen cómo debe hacerse un trabajo en forma de órdenes.

Los *procedimientos de trabajo* son un tipo de normas de trabajo que dan justo los puntos clave para llevar a cabo un trabajo.

Tales normas, instrucciones y procedimientos de trabajo se clasifican y llaman de diferentes maneras según la historia de la organización, pero el método de clasificación debe estudiarse y adaptarse para acomodarlo a cada puesto de trabajo individual.

Los procesos se pueden dividir en los tres tipos principales siguientes:

- (1) Procesos de fabricación a medida y según contrato, o procesos de producción de gran variedad y pequeño volumen en los cuales se repite la misma clase de trabajo a pesar de la variedad de los productos.
- (2) Tornos automáticos, máquinas de transferencia, procesos que hacen uso de robots industriales y otros procesos del tipo de las industrias de procesos en los que cada máquina o planta tiene su propio método de operación. Muchos procesos de la industria de procesos caen bajo este nombre al igual que muchos trabajos que consisten en la vigilancia de equipos, i.e., en los cuales los operarios están a cargo de controlar la planta y el equipo.
- (3) Procesos de montaje, i.e., procesos en los cuales los productos tales como televisores y coches son montados encajando y ajustando diversas piezas. Los procesos de empaquetado también caen bajo esta designación. Recientemente ha aumentado el uso de los robots industriales en estos tipos de procesos y están empezando a parecerse más a la industria de procesos. Este tipo de procesos también es corriente en el sector de los servicios.

Por supuesto que hay otros muchos procesos que caen entre estas categorías o que combinan elementos de varias de ellas.

En los procesos del primer tipo, cuando se repite la misma clase de operación de varias maneras y cada operación se puede desglosar en movimientos estándar, se pueden preparar normas de trabajo corrientes para cada operación estándar y combinarse con las normas técnicas y de diseño para crear instrucciones de trabajo que indiquen, por ejemplo, un proceso de mecanizado junto con la secuencia y métodos del proceso. Esto también es aplicable a muchas industrias de servicios. Un ejemplo podría ser el siguiente:

"Producir X unidades del producto Y antes de tal y tal fecha, haciendo uso de la Norma de Trabajo N° S-10547 y procesando de acuerdo con el Plano N° ABC-18247 y la Norma Técnica N° E-35764".

Con el segundo tipo de procesos, el trabajo es principalmente del tipo de los procesos. Se seleccionan aquellas normas de trabajo que cubran condiciones técnicas importantes para formar las normas técnicas, y en las normas de trabajo se definen claramente la autoridad y la responsabilidad. Las normas de trabajo se utilizan sin modificación como instrucciones de trabajo.

Con los procesos del tercer tipo, deben decidirse los métodos de montaje, los métodos de ajuste y el control autónomo y la inspección de las piezas para cada proceso.

#### **5.4.4 Condiciones que se han de incluir en las normas de trabajo**

Cuando se decide el contenido de las normas de trabajo se tienen que considerar los puntos siguientes:

- (1) Deben formularse con vistas a alcanzar objetivos específicos.
- (2) Deben tratar de las causas asignables, i.e, deben ser prioritarias. Deben indicar qué causas afectan a qué características, y deben hacer uso de los diagramas de causa y efecto.
- (3) Deben ser fáciles de aplicar por los usuarios. Las normas de trabajo deben ser tales que el trabajo pueda ser realizado bien incluso por los trabajadores que no estén totalmente preparados y puedan estar ligeramente despistados. Se debe hacer uso de calibres y herramientas e instrumentos de medida.

Aquí hace falta una observación sobre los fallos: puesto que es humano cometer equivocaciones, deben idearse dispositivos de seguridad, calibres y herramientas, y métodos de comprobación para asegurarse de que las cosas procedan fluidamente aunque divague la atención de los trabajado-



res o cometan errores. Esto se llama hacer las cosas a prueba de error. Cuando las actividades de los círculos de CC están en plena forma, los propios círculos empezarán a pensar en hacer las cosas a prueba de error. En vez de enfadarse por las equivocaciones y los descuidos, los superiores deberían cooperar con los operarios para pensar en los métodos a prueba de error.

- (4) Las normas de trabajo no deben ser abstractas: deben indicar criterios específicos de acción. Para que ello sea posible, se deben proveer instrumentos de medida y escalas adecuados. Conforme avanza la cuantificación, las normas de trabajo se hacen más concretas y fáciles de establecer.
- (5) Las normas de trabajo tienen que acoplarse con las condiciones reales y tiene que ser posible su aplicación con el equipo y habilidades disponibles. Las normas idealistas son inútiles. En otras palabras, las normas tienen que tener en cuenta las capacidades de los procesos. Uno jamás tiene que dar a las personas normas que no se puedan seguir. Cuando las normas de trabajo se emiten por primera vez, las condiciones y las tolerancias no deben ser demasiado estrictas; es mejor fijar condiciones que se puedan seguir sin demasiada dificultad y asegurarse de que se obedecen fielmente.
- (6) Al principio, uno no debe apuntar a la perfección. Las normas de trabajo son entidades vivas y siempre son imperfectas. Es mejor adoptar la actitud de que las normas necesitan revisarse constantemente. Si las normas no se están revisando, es una prueba de que no se están utilizando, y que los progresos de la tecnología se han detenido.
- (7) Se tienen que identificar las prioridades; los procesos sólo están seriamente afectados por uno, dos o tres factores causales. Si se preparan las normas para hacer frente a éstos, el número de unidades defectuosas se puede reducir a la mitad.
- (8) Las normas deben indicar claramente dónde residen las responsabilidades de las personas.
- (9) Las normas deben definir clara y específicamente el ámbito de autoridad de las personas, y se debe delegar la autoridad.
- (10) Las normas deben ser aceptadas por todos los afectados. Por ejemplo, deben ser preparadas con el acuerdo de los equipos de CC, los círculos de CC, los grupos de estudio de CC de los puestos de trabajo, etc. Deben ser revisadas haciendo uso de las ideas procedentes de los puestos de trabajo, adoptadas a través de los canales adecuados por medio de un sistema de sugerencias.
- (11) Las normas deben ser formuladas de forma que aseguren la acumulación de tecnología y habilidades en forma escrita.

- (12) A menudo, las normas de trabajo se vuelven complejas cuando las materias primas o las causas asignables que son responsabilidad de otros procesos no están adecuadamente controladas. Se pueden producir normas de trabajo relativamente sencillas si se asignan con habilidad.
- (13) Uno tiene que decidir qué acción se debe acometer, y bajo la autoridad de quién, cuando un proceso se sale del control. Esto puede publicarse separadamente en forma de una norma de control.
- (14) Las normas deben evitar instrucciones negativas del tipo "no debería" y "no tiene que".
- (15) Todo se tiene que tomar en consideración cuando se preparan las normas. Lo peor que puede ocurrir es que las normas o las reglamentaciones sean mutuamente incoherentes.
- (16) Como consecuencia de lo anterior, debe resultar más fácil que todo el mundo haga su trabajo.

### 5.4.5 Preparación de las normas de trabajo

Cuando se preparen normas de trabajo por primera vez, debe utilizarse el siguiente procedimiento:

#### (I) Métodos de preparación

- (a) El método del esquema: éste es un método para normalizar un puesto de trabajo que ya está funcionando. Según éste, se hace un esquema del trabajo que se está haciendo actualmente tal como está. Sus ventajas es que dan una imagen clara de cómo se está llevando a cabo realmente el trabajo, indica claramente las operaciones que se están realizando inconsistentemente o las áreas mal definidas, y el puesto de trabajo se normaliza de un golpe. Sus desventajas son que las personas tienden a relajarse y quedarse satisfechas una vez se ha terminado el esquema, las normas son voluminosas, cuesta tiempo escribirlas y su control subsiguiente es pesado, y si el enfoque del control de calidad y de proceso no es bien comprendido en el puesto de trabajo, es posible que las normas sean extremadamente inadecuadas y que pasen por alto los puntos importantes.

He aquí algunas ideas útiles para utilizar este método:

- (i) Dar a aquellas personas responsables de redactar las normas una buena base en CC antes de empezar.
- (ii) Basándose en los círculos de CC, hacer uso del proceso de redactar las normas para dar a los operarios y supervisores una educación profunda en cuestiones tales como la importancia de seguir fielmente las normas.

- (iii) Puesto que es muy importante revisar las normas una vez hayan sido preparadas, enlazar esto con el análisis posterior, la mejora y las actividades de los círculos de CC, y hacer que las personas sean conscientes de que ellas mismas son responsables de mejorar las normas.
- (b) El método de prioridades: la palabra "prioridad" tiene aquí dos significados: uno es empezar por normalizar las características más importantes de los procesos más importantes, mientras que el otro es empezar por normalizar los factores causales más importantes de las características más importantes de cada proceso.  
Las ventajas de este método es que siempre se alcanzarán buenos resultados si se identifican estadísticamente y se normalizan los factores causales realmente importantes; el puesto de trabajo se formará una buena opinión de la normalización y acabará por confiar en los resultados del análisis del proceso; este tipo de normalización consume menos tiempo; y puesto que las normas preparadas según este método son más sencillas, la documentación, la revisión y el control son más fáciles.  
Sus desventajas son que es difícil identificar los factores causales realmente importantes; es imposible normalizar simultáneamente todas las características y procesos, y el propósito de las normas se limita fácilmente a un tipo de control de procesos que consiste meramente en reducir la variación; habrá luego una insuficiente conexión con el control de costes, el control del volumen de producción, incentivos de productividad, etc.  
Algunas ideas sobre este método incluyen:
  - (i) Hacer uso de equipos de CC y círculos de CC.
  - (ii) Dar a los supervisores de los puestos de trabajo y a los técnicos una formación profunda en análisis de procesos y en los métodos del control de procesos,
  - (iii) Dar forma a las normas después de su preparación inicial:
    - (1) Incorporar la II, IV, aspectos de seguridad, etc.
    - (2) Siempre que un gráfico de control indique la presencia de una causa de una anomalía, revisar las normas para evitar que vuelva a aparecer.
  - (iv) Empezar por normalizar los factores causales más importantes y continuar descendiendo a los detalles más pequeños con un esfuerzo implacable.
- (c) El método ortodoxo: en este método se movilizan los técnicos, y el departamento técnico lleva la dirección en cooperación con el puesto de trabajo y con los departamentos que están a cargo del control de

calidad y la eficiencia, para formar equipos o círculos de CC bajo el sistema del técnico a cargo. Los procesos se seleccionan para su análisis en orden de prioridad; si es necesario se realizan experimentos y se redactan desde el principio unas normas comparativamente racionales. Con este enfoque, las áreas detalladas se tratan en las discusiones con los círculos de CC. Es importante adquirir el hábito de utilizar este método cuando *se construye una nueva planta*, cuando se instala por primera vez o se reconstruye la maquinaria o el equipo, o antes de *la producción piloto de nuevos productos*. La iniciación de un nuevo trabajo es una oportunidad ideal para fomentar la normalización.

Algunas ideas sobre el método ortodoxo son:

- (i) Tener cuidado de que los técnicos no se dejen arrastrar por la teoría sobre el papel, y se olviden de las condiciones reales del puesto de trabajo,
- (ii) El departamento técnico tiene que estar ocupado por técnicos de primera.
- (iii) Los técnicos tienen que estudiar detenidamente el CC. El método que deba utilizarse para preparar las normas depende de las condiciones de la empresa y del puesto de trabajo. Cualquiera que sea el método elegido, los borradores de las normas deben ser preparados por *las personas que conocen mejor el proceso y el trabajo*.

## **(II) Procedimiento de preparación**

No se pueden preparar normas buenas y utilizables sin una idea clara de sus fines y su necesidad.

La normalización en empresas y negocios ya en funcionamiento requiere un enfoque diferente del de una nueva planta o para nuevos productos. Aquí me gustaría explicar el procedimiento para la normalización en empresas y sucursales que ya están en funcionamiento. El siguiente procedimiento es, generalmente, adecuado para las condiciones que hay en Japón:

- (1) Establecer un comité y varios subcomités de normalización.
- (2) Decidir un sistema de normalización, una política para preparar las normas de trabajo y los impresos a utilizar. Hacer que el comité de normalización redacte las reglas (procedimientos para la preparación de las normas de trabajo, procedimientos para el manejo de las mismas, etc.), un esquema de clasificación y los impresos que constituirán la columna vertebral de las normas de trabajo.

- (3) Decidir qué organizaciones formularán las normas: equipos, el departamento técnico, el puesto de trabajo, los círculos de CC, etc.
- (4) Especificar los factores causales y el trabajo que debe redactarse en forma de normas de trabajo.
- (5) Idear medios para cuantificar los factores causales seleccionados.
- (6) Formular métodos de trabajo y tolerancias específicos para los factores causales seleccionados. Utilizar ampliamente para ello los diagramas de causa y efecto, el análisis estadístico, los conocimientos de los operarios veteranos y los círculos de CC.
- (7) Si es necesario como consecuencia de lo anterior, llevar a cabo experimentos de fábrica.
- (8) Redactar borradores de las normas. Reunir a tantas personas relacionadas con el puesto de trabajo como sea posible y hacer uso de los círculos de CC u otros foros para investigar si las normas preparadas serán o no practicables en el puesto de trabajo. En este momento, educar a las personas en el significado de las normas y la necesidad de trabajar de acuerdo con ellas.
- (9) Establecer un periodo de prueba preliminar de uno a tres meses y probar las normas en la práctica.
- (10) Preparar un diario de normas y registrar las mismas en él.
- (11) Revisar las normas.

Una vez se haya registrado oficialmente una norma en el diario, cualquier revisión debe llevarse a cabo siempre de acuerdo con los procedimientos oficiales. No se tiene que permitir que el puesto de trabajo cambie las normas a su propia discreción sin obtener permiso. Esto significa que es importante formular las reglamentaciones para la revisión de las normas. Sin embargo, la autoridad para hacer esto debe delegarse todo lo posible, y debe hacerse que sea fácil que los puestos de trabajo individuales lleven a cabo las revisiones.

Es necesario especificar claramente las responsabilidades y los procedimientos para cuestiones tales como hacer los borradores de las revisiones y los impresos a utilizar para ello, la ruta de circulación de las revisiones de los borradores y quién tiene que aprobarlas, anotar las revisiones en el diario de normas y comprobar las entradas, el cuerpo que tomará decisiones y los procedimientos para asegurarse de que se retiran las instrucciones de trabajo antiguas y se hacen llegar a todos las nuevas.

### **5.4.6 Puesta en práctica y control de las normas de trabajo**

La puesta en práctica de las normas y el proporcionar la educación y formación adecuadas son exactamente tan importantes como su preparación.

*Asegurarse de que las normas se ponen en práctica adecuadamente* es responsabilidad de los supervisores de línea, los directores de sección, supervisores de grupo, encargados y otras personas con cargos de liderazgo. La importancia de la educación orientada hacia este fin se explicó en la sección 1.5. Se pueden utilizar *varios métodos educativos*, incluyendo (1) la educación en grupos (e.g., conferencias); (2) formación para el trabajo por parte de los superiores; (3) discusiones en reuniones de estudio de CC, equipos de CC, círculos de CC, etc.; (4) hacer que la gente participe en la preparación de las normas; (5) delegar la autoridad y dejar que las personas se eduquen a sí mismas; (6) celebrar auditorias de CC; y (7) folletos, carteles, lemas, simposios de los círculos de CC, etc. Es mejor hacer uso de todos estos métodos juntos.

Si las normas no son siempre utilizables, acabarán por no seguirse. Así pues, como se mencionó antes, deben ser consideradas como entidades vivas, y el diario de las normas debe ponerse al día rápidamente conforme sea necesario, teniendo en mente la racionalidad y la practicabilidad. El control de las normas es tremendamente importante.

Puesto que las normas, una vez establecidas, no se pueden cambiar a discreción del puesto de trabajo sin pasar por los procedimientos formales, se tienen que tener en cuenta los siguientes puntos:

### **(1) Revisión y control de las normas**

- (a) Los responsables de controlar las normas tienen que decidir qué elementos se pueden cambiar, en qué grado y bajo la autoridad de quién. Cuando se toma esta decisión, se debe delegar la autoridad para hacer las revisiones tanto como sea posible.
- (b) Se tiene que formular un procedimiento fijo para revisar las normas.
- (c) Uno tiene que asegurarse de que las personas de los puestos de trabajo puedan ofrecer sus sugerencias y opiniones fácilmente a través de los canales adecuados. Naturalmente, son los líderes de grupos, los supervisores y los operarios los que conocen mejor las condiciones en sus puestos de trabajo. Se puede esperar que aparezcan con una variedad de sugerencias para mejorar, puesto que son los que están constantemente en contacto con los puestos de trabajo. Para hacer un uso completo de esto se deben llevar a cabo actividades de círculos de CC, campañas de creatividad e ingenio, y campañas de invención y originalidad junto con la revisión de las normas.
- (d) Los detalles de las revisiones deben registrarse siempre en el diario de normas junto con las razones de las mismas, sus fechas y las personas responsables. Se tiene que tener un cuidado especial para organizar las revisiones de las normas técnicas y de diseño para que todos

los que las lean puedan entender fácilmente la historia de los cambios y sus razones.

- (e) Siempre que se haga una revisión, se tienen que recuperar las normas y los planos antiguos, y sustituirlos por las nuevas versiones, o corregirlos y emitirlos después de ser firmados o sellados.

## (2) Situaciones en las que se deben revisar las normas

- (a) Cuando hay puntos que caen fuera de los límites de control en los gráficos de control: si han sido formuladas las normas, aunque puedan ser imperfectas, puede que algunos puntos caigan fuera de los límites de control en los gráficos de control para características de calidad en las situaciones siguientes:
  - (i) Cuando no se están siguiendo las normas.
  - (ii) Cuando las normas no dan suficiente orientación,
  - (iii) Cuando las normas no abarcan esa área de trabajo, Le., cuando las normas son incompletas.
  - (iv) Por defectos de la materia prima o de otro proceso,
  - (v) Por razones desconocidas.

Nota: me gustaría mencionar aquí la idea de *problemas controlables por los operarios* y *problemas controlables por la dirección*. De las cosas que van mal en un puesto de trabajo, sólo de un tercio a un quinto son responsabilidad de las personas que están en planta, i.e., son controlables por los operarios. Esto corresponde a la situación (i) anterior. Las situaciones (ii)-(v) son principalmente controlables por la dirección, y éstas suponen de dos tercios a cuatro quintos de los problemas que hay en los puestos de trabajo. En ambas situaciones, la (i) (descubrir por qué no se pudieron seguir las normas) y las (ii)-(v), la dirección, junto con el personal de planta, tiene que buscar las causas y acometer acciones. Esto significa que la *dirección no debe, bajo ningún pretexto, mostrar enfado por las equivocaciones de las personas que están en el puesto de trabajo*.

- (b) Cuando se hacen sugerencias desde los puestos de trabajo.
- (c) Cuando se descubren equivocaciones o fallos en las normas.
- (d) Cuando cambian las normas de calidad.
- (e) Cuando se hacen mejoras técnicas en la maquinaria, el equipo o los métodos.
- (f) Cuando se ha instalado un nuevo equipo de medida o se ha mejorado el viejo.
- (g) Cuando han cambiado las materias primas u otros factores causales (normas de trabajo).
- (h) A intervalos regulares después de la adopción inicial de las normas de trabajo.

## 5.5 Niveles de control

### 5.5.1 Selección de los elementos de control

En la sección 1.5 ya se ha mencionado la importancia de la comprobación en la práctica del control. Sin embargo, cuando aquellos que tienen cargos de autoridad tratan realmente de crear una red de comprobación sistemática y por toda la empresa, construir sistemas de control y poner en práctica el control, se encontrarán con muchos problemas. Para seleccionar las características de control, las diferentes personas y empresas utilizan actualmente una gran variedad de clasificaciones y terminologías. Es bien sabido que *hay una gran confusión en la terminología gerencial empresarial en todo el mundo*; ello es porque los elementos de control se clasifican con demasiado detalle. Cuando se clasifican los elementos de control, es mejor centrarse en las ideas subyacentes en vez de en las palabras usadas en la realidad, y elegir categorías que sean adaptables al uso desde diferentes puntos de vista.

#### (1) Clasificación de los elementos de control

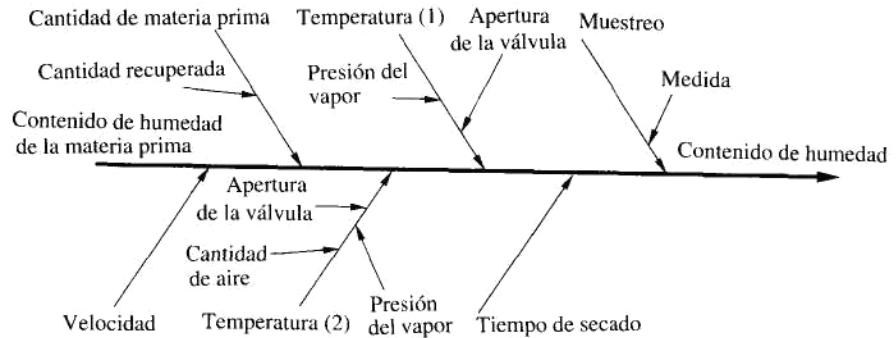
##### (a) Clasificación según la causa y el efecto.

Como ya se explicó en las secciones 1.5, 5.2.1(1) y 5.4.2, tenemos que diferenciar claramente las causas de los efectos como método de comprobación cuando se pone en práctica el control. Aquí llamaremos "*puntos de comprobación*" a las causas asignables a comprobar, y "*características de control*" o "*puntos de control*" a las características a comprobar cuando se comprueban los resultados. A todos ellos se les llamará, en términos generales, "elementos de control".

|                      |                     |  |
|----------------------|---------------------|--|
|                      | (i) Causas....."    | "puntos de comprobación"                               |
| Elementos de control | (ii) Resultados.... | "características de control"<br>o "puntos de control". |

Causas y resultados son términos relativos; dependiendo de la categoría de un supervisor y de cómo estén colocadas las normas de trabajo, lo que es una causa para una persona puede ser un resultado para otra y viceversa. Por ejemplo, en la Figura 5.1 el contenido de humedad es obviamente un punto de control para el supervisor de esa área particular de trabajo porque es el resultado del proceso. La temperatura es una causa del contenido de humedad y es, por tanto, un punto de comprobación. Sin embargo, en lo que se refiere al operario responsable de ajustar la temperatura de la secadora, la presión y la





**Figura 5.1: Discriminación de causas y efectos.**

apertura de la válvula son causas y, por tanto, puntos de comprobación, mientras que la temperatura es un resultado de éstas y, por tanto, un punto de control.

Si las normas de trabajo están redactadas de modo que traten de "cerrar la puerta del establo cuando el caballo ya se ha escapado", instruirán al operario para que ajuste la válvula en respuesta a los cambios de temperatura. Esto hará que la temperatura sea un punto de comprobación y el tiempo de secado un punto de control. Igualmente, si las normas de trabajo están formuladas todavía más inadecuadamente e instruyen al operario para que ajuste la apertura de la válvula en respuesta a los cambios del contenido de humedad, éste será el punto de comprobación, y el tiempo de secado será el resultado o punto de control.

La relación anterior entre el supervisor y el operario sirve igualmente para la que hay entre el director de departamento y el director de sección, y entre el director de sección y el supervisor.

Hablando en términos generales, el número de puntos de comprobación aumenta y el número de puntos de control disminuye conforme descendemos por una organización. Las causas deben ser comprobadas por los directivos de nivel bajo, y no es bueno que los directivos de nivel alto se impliquen demasiado en esto. Los directivos de nivel alto deben vigilar a través de los puntos de control y ejercer el control desde una perspectiva más amplia, con la mirada puesta en el futuro. Las personas que todavía quieren inspeccionar y verificar los datos en sistemas detallados de causas, incluso después de haber llegado a directores de departamento o directores gerentes, son lo que yo he llamado "*directores artesanos de departamento*" y "*direc-*

*tores gerentes artesanos*". Es suficiente con que los directivos de nivel alto comprueben la causa, si es necesario, cuando un punto de control (un resultado) indica una anomalía. Y aún así, el sistema de control debe ser tal que en el momento en que se pongan a hacer esto ya tengan sobre su mesa un informe procedente de la dirección de nivel bajo sobre la causa de la anomalía.

Puesto que los puntos de comprobación se vigilan principalmente por medio de las comparaciones con las normas de trabajo y las reglamentaciones, usualmente es una buena idea hacerlo por medio de listas de comprobación o similares. Los puntos de control, igual que los resultados, serán dispersos y, por tanto, en principio deben ser vigilados por medio de los gráficos de control; como mínimo deben hacerse gráficos. Puesto que tales gráficos se van a utilizar para vigilar y detectar las anomalías y las excepciones, deben incluir, claro está, los límites de control calculados estadísticamente. Si esto es difícil, por lo menos deben incluir unas líneas que indiquen los valores estándar, los valores de la especificación, las metas obligatorias y deseables, o los planes.

Debe observarse que los directores de departamento y de sección pueden utilizar a veces los mismos puntos de control, pero luego tendrán un intervalo diferente entre las comprobaciones (por ejemplo, los directores de sección pueden hacer las comprobaciones diariamente y los de departamento una vez al mes), y acometerán acciones diferentes.

- (b) Clasificación en términos de las acciones que se han de realizar
  - (i) Ajuste y regulación,
  - (ii) Eliminación del fenómeno,
  - (iii) Eliminación de la causa inmediata,
  - (iv) Eliminación de la causa básica.

Esta clasificación también es bastante difusa, pero (i) e (ii) son principalmente puntos de comprobación (incluyendo los criterios para los ajustes), mientras que (iii) e (iv) son puntos de control. Sin embargo, (i) e (ii) también pueden ser puntos de control, y las acciones (iii) e (iv) pueden realizarse de acuerdo con los puntos de comprobación.

- (c) Clasificación en términos de la responsabilidad y la autoridad.
  - (i) Elementos de los cuales los subordinados de una persona tienen la responsabilidad y la autoridad para acometer acciones.
  - (ii) Elementos de los cuales la misma persona tiene la responsabilidad y la autoridad para acometer acciones.

- (iii) Elementos de los cuales los superiores de una persona tienen la responsabilidad y la autoridad para acometer acciones.
- (iv) Elementos de los cuales otro departamento tiene la responsabilidad y la autoridad para acometer acciones.

Esta clasificación también cambia constantemente según la responsabilidad y la autoridad, y las capacidades y experiencia individuales. También podría decirse que los elementos (iii) e (iv) están incluidos en el (ii), puesto que, en estos casos, la persona tiene que hacer que su superior u otro departamento adopte las medidas. Una persona que no pueda hacer esto no puede ser llamada directivo.

Incluso antes de interesarme por el CC, mi teoría preferida era que *los directivos o técnicos que no pueden utilizar a sus subordinados hábilmente están a menos de la mitad del camino de ser verdaderos directivos o técnicos. Además, sólo podrán ser directivos o técnicos adecuados cuando puedan utilizar bien a sus superiores y a otros departamentos, i.e., cuando sean capaces de hacer que las personas actúen de la manera que ellos quieren que lo hagan.*

Hay otras diversas maneras de clasificar los elementos de control aparte de los tres anteriores, pero su combinación producirá docenas de tipos diferentes de elementos de control y conducirá a la confusión. Recomiendo que se clasifiquen simplemente como puntos de comprobación o puntos de control.

## **(2) Unos consejos generales sobre los elementos de control**

Las siguientes son algunas cuestiones corrientes a observar en el caso tanto de causas como de resultados:

- (a) Puesto que siempre habrá repeticiones, incluso en la producción de alta variedad y bajo volumen, y en la fabricación a medida, a los operarios se les deben dar medidas estándar y escalas para hacer las comprobaciones en el puesto de trabajo.
- (b) Se deben decidir por adelantado los criterios para emitir juicios (tanto si son criterios para hacer ajustes o límites de control) y las acciones que se han de acometer si se sobrepasan los límites.
- (c) Uno tiene que decidir sobre la responsabilidad, la autoridad y el método de informar cuando sucedan anomalías.
- (d) Los puntos anteriores deben ser normalizados y se debe proveer una educación y formación amplias a todos los afectados.
- (e) Los directivos son responsables de asegurarse de que a sus subordinados inmediatos se les den puntos de comprobación y de control adecuados.

- (f) Los puntos de control deben revisarse a intervalos regulares o siempre que haya un cambio o una anomalía en el proceso, y siempre que sea necesario.
- (g) Uno debe elegir los elementos (éstos pueden ser características sustituidas) para los cuales se puedan obtener los datos rápidamente y sea posible una retroalimentación inmediata.
- (h) Cuando se decide sobre los elementos de control, se debe considerar la responsabilidad y el grado de delegación de la autoridad de cada persona, al igual que cómo se van a asignar las normas y reglamentaciones.
- (i) El fin no es preparar una tabla de elementos de control sino poner en práctica el control específico.
- (j) Uno tiene que decidir cuál será el intervalo de tiempo para hacer las comprobaciones -e.g., cada hora, una vez por la mañana y otra por la tarde, una vez al día, todas las semanas, todos los meses, cada periodo financiero, cada año, etc. Generalmente, este intervalo será más corto para los directivos de niveles bajos y más largo para los de los niveles más altos. Los directores de los niveles bajos tienen que remitir los informes de cualquier anomalía a sus superiores siempre que sucedan.
- (k) Si los elementos de control son seleccionados hábilmente y ordenados para su uso como herramientas de control en forma de listas de comprobación, gráficos de control, o gráficos, el estudio detenido de los informes diarios o mensuales será cosa del pasado. Dicho de otro modo, los elementos de control deben ser elegidos de forma que sea innecesario ver tales informes.

### **(3) Selección de los puntos de comprobación**

Aparte de los elementos mencionados en (1), se tienen que considerar las siguientes cuestiones cuando se eligen los puntos de comprobación, tal como ya he repetido muchas veces:

- (a) Seleccionar las causas como puntos de comprobación.
- (b) Seleccionar puntos de comprobación que se puedan ajustar o regular mientras se vigila algún resultado.
- (c) Asignar principalmente los puntos de comprobación a los operarios, encargados, supervisores y otras personas directamente responsables de vigilar el puesto de trabajo. Disponer las cosas para que, en la medida de lo posible, usualmente los directivos de sección y más altos no tengan que comprobar las causas directamente. En otras palabras, normalmente estos directivos no deben tener puntos de comprobación aunque, por supuesto, pueden tener muchos puntos de control.

- (d) No es necesario hacer puntos de comprobación de todas las causas; se debe dar prioridad a aquellas que se considere que es más probable que provoquen problemas, y seleccionarlas como puntos de comprobación. Esto significa que cambiarán con el tiempo. Las personas de la primera línea del puesto de trabajo tendrán muchos puntos de comprobación.
- (e) Los encargados de los puestos de trabajo o las personas responsables de los puntos de comprobación pueden seleccionar ellos mismos los puntos de comprobación. Hay varias razones para hacerlo:
  - (i) El meditar sobre las mejores cosas a comprobar es un buen entrenamiento para los supervisores de puestos de trabajo.
  - (ii) Los responsables de un área de trabajo particular conocen mejor las condiciones y los riesgos de esa área.
  - (iii) Los superiores inmediatos de las personas pueden mirar a los puntos de comprobación seleccionados y utilizar sus observaciones para decidir sobre la necesidad de la educación y formación.
- (f) La comprobación debe llevarse a cabo generalmente preparando listas de comprobación o gráficos.
- (g) Al igual que las listas de comprobación se ponen al día constantemente, los resultados deben ser cotejados periódicamente y utilizados como base para la prevención de la reaparición de problemas de acuerdo con el principio de Pareto.

#### **(4) Selección de los puntos de control**

Deben tenerse en cuenta las siguientes cuestiones además de lo mencionado en (1):

- (a) Los puntos de control deben ser seleccionados entre los resultados del trabajo del subordinado de uno.
- (b) Los directivos de nivel bajo deben utilizar más datos estratificados como puntos de control, mientras que los directivos de nivel alto deben utilizar más datos agregados o promediados.
- (c) Deben tenerse en cuenta todos los aspectos de las obligaciones rutinarias de una persona -e.g., personal, calidad, coste (beneficio), cantidades, plazos de entrega, seguridad, factores ambientales, etc.- cuando se seleccionan los puntos de control. Si sólo se comprueba un aspecto (e.g., la calidad), generalmente será a costa de otro punto de control (e.g., la eficiencia). Cuando se controla enérgicamente una característica, otras se deterioran.
- (d) En la medida de lo posible, uno debe elegir como puntos de control no los resultados finales sino las características sustitutas o las intermedias que dan una indicación precoz de los resultados. Esto hace que sea importante

ejercitar el ingenio en la selección de los puntos de control y cuando se idean los métodos de medida.

- (e) Es aceptable cierto error de medida siempre que sea menor que la dispersión del proceso.
- (f) Es mejor utilizar valores reales medidos y datos originales en vez de valores compuestos calculados con muchas medidas diferentes. Los errores se acumulan en los valores calculados y es posible perder de vista lo que se desea controlar.
- (g) Como líderes, debemos seleccionar como puntos de control aquellas características que indiquen nuestras políticas y metas.
- (h) Los puntos de control deben seleccionarse entre aquellas características (resultados) que se puedan representar en los gráficos de control y para las que se puedan acometer acciones. En otras palabras, los puntos de control deben ser seleccionados después de haber realizado un detenido análisis del proceso.
- (i) En los procesos en los que es fácil que ocurran equivocaciones y faltas de atención, se deben seleccionar las características que proporcionen una comprobación de tales errores en los resultados.
- (j) Considerando los puntos (b), (c) y (g) anteriores, el número de puntos de control (i.e., el número de gráficos de control y de gráficos a vigilar) debe ser normalmente como sigue:
  - Operarios: 1-3.
  - Encargados y supervisores: 5-20.
  - Desde director de sección al presidente de la empresa y director general: 15-50.

## 5.5.2 Establecimiento de los niveles de control

Tal como se explicó en las secciones 1.5 y 5.5.1, cuando se fijan los niveles de control, las directrices son decidir qué persona con autoridad debe hacer la comprobación (i.e., los puntos de control), cuantificar todo lo posible, y fijar los niveles de las características de control (i.e., los niveles de control y los límites de control), tal como se describe más adelante.

Debe observarse que los niveles de control y los límites de control son distintos de los valores de referencia. Los niveles de control y los límites de control son orientaciones y límites con fines de control, mientras que los valores de referencia son los valores a los que hay que apuntar cuando se hacen mejoras. Los valores de referencia se pueden dibujar en los gráficos de control y en los gráficos, pero se tiene que tener cuidado en no confundir el control con la mejora. Como se mencionó anteriormente, los valores de referencia deben dividirse en valores obligatorios y valores deseables.

Para determinar los niveles de control (i.e., los límites de control), generalmente es necesario poner a punto los gráficos de control para prepararse a poner en práctica el control. El método general para determinar estadísticamente los niveles de control es como sigue (ver la sección 3.9.2):

- (1) Cuando se hayan analizado los datos del pasado y se hayan preparado normas hasta cierto grado, se debe tratar de poner en práctica esas normas durante algún tiempo. Cuando esté hecho esto, se tienen que llevar a cabo las medidas y los subagrupamientos por medio de los métodos de muestreo y medición especificados en las normas.
- (2) Cuando se hayan recogido cien o más datos con este método (es aceptable utilizar solamente 20-50 valores si se tarda mucho tiempo en obtener cada valor, pero la precisión con la que se estimen las líneas de control se deteriorará si se hace esto), se prepara un gráfico de control utilizando estos valores.
- (3) Uno debe comprobar si este gráfico de control indica un estado de control o no, y si se están cumpliendo o no los valores estándar y los de referencia.
- (4) Si el gráfico de control indica un estado de control, se pueden utilizar las líneas de control como niveles de control para controlar el proceso en el futuro. En la práctica, las líneas de control pueden proyectarse al futuro de este modo y ser utilizadas para controlar los procesos y otras operaciones sin demasiados problemas cuando el número de puntos que caen fuera de los límites de control no es mayor de 0 en 25, 1 en 35 o 2 en 100.

Sin embargo, uno tiene que ser consciente de que cuando los datos obtenidos en la preparación para el control indican que no se están cumpliendo los valores estándar o las especificaciones, hace falta un análisis posterior. Sin embargo, las líneas de control existentes se adoptan generalmente como niveles de control de momento, se inicia el control del proceso provisional utilizando éstas, y el análisis y la mejora se llevan a cabo separadamente.

Como se puede ver de lo anterior, damos los siguientes pasos cuando preparamos el control de un proceso:

- (1) Analizar el proceso.
- (2) Establecer las normas diseñadas para crear un estado de control.
- (3) Calcular las líneas de los límites de control.

Si al hacer esto se agrupan los datos del pasado sin más y se obtienen unos gráficos de control que indican vagamente un estado de control, a menudo los gráficos no son muy útiles para hacer un buen control del proceso en el futuro. Es necesario aclarar el significado de los niveles de control dando unos pasos tales como los siguientes:

- (i) Describir claramente los fines del control del proceso.
- (ii) Identificar el significado de los subgrupos.
- (iii) Formular las normas de trabajo.
- (iv) Aclarar dónde reside la responsabilidad.
- (v) Establecer las normas para el uso de los gráficos de control.

Los anteriores son los principios para utilizar seriamente los gráficos de control y es mejor seguirlos todo lo posible. No obstante, de hecho se pueden establecer niveles de control temporales, controlar los procesos y obtener resultados incluso cuando, como a menudo es el caso, no existen normas de trabajo o es imposible analizar los datos anteriores y dibujar gráficos de control que indiquen un estado de control que satisface las condiciones para proyectar al futuro los límites de control. Sin embargo, si se hace esto durante mucho tiempo, ello conducirá a un mal control y llevará al proceso a un callejón sin salida. Por tanto, es mejor pasar a utilizar los gráficos de control en línea con los principios anteriores tan pronto como sea posible. Cuando se hace esto, se deben observar los puntos siguientes:

- (1) Aunque no existan normas de trabajo, se pueden utilizar gráficos de control para comprobar si el trabajo se está haciendo igual que antes. Como mínimo, el hacer los gráficos del trabajo de este modo tendrá cierto efecto motivador.
- (2) Cuando se analizan los datos del pasado y el número de puntos que caen fuera de los límites de control por razones desconocidas no cumplen las condiciones anteriores (0 en 25, etc.), probablemente aparecerán en el futuro muchos más de tales puntos si los límites de control se utilizan tal como están, y no se puede asegurar con confianza la distribución futura del producto. Sin embargo, si se investiga la causa con esmero siempre que un punto cae fuera de los límites de control extrapolados, y se establecen las normas de trabajo una a una para evitar que las causas vuelvan a reaparecer, el número de puntos que caen fuera de los límites decrecerá gradualmente, también decrecerá el número de causas desconocidas y se avanzará hacia un control adecuado.
- (3) Cuando no se han establecido los niveles de control, en principio debemos coger los datos del mes anterior o los datos recientes que se crea, por razones técnicas, que se aproximan a las condiciones actuales, eliminar los datos anormales de los que se conocen claramente las causas, calcular los niveles de control y utilizar éstos para controlar el proceso el mes en curso.



### 5.5.3 Control y revisión de los niveles de control

Puesto que los niveles de control son entidades vivas, tienen que ser revisados siempre que sea necesario. Esto es especialmente importante durante la etapa de preparación de las normas de trabajo y su revisión mientras se controla un proceso, puesto que los gráficos de control no podrán cumplir su papel como herramientas de control del proceso y se convertirán en simples gráficos si no se revisan adecuadamente los niveles.

Generalmente, los niveles de control deben revisarse (ver la sección 3.9.3) aproximadamente al mismo tiempo que los niveles de calidad (ver la sección 5.2.1(4)). Para cada gráfico de control se debe decidir quién será responsable de revisar los niveles de control y debe anotarse en el diario de los gráficos de control. Si es posible, también se debe decidir de antemano el método de revisión.

- (1) Si no hay ningún cambio en el proceso o en la política, los niveles de control se deben volver a calcular todos los meses o cada 100 puntos, durante algún tiempo después del inicio del control del proceso.
- (2) Cuando el proceso ha permanecido en control durante un periodo de tiempo largo y todos los puntos caen dentro de los límites de control, se pueden revisar los niveles de control una vez cada tres meses, o cada 500 puntos, o a intervalos más largos. Las estimaciones también serán más precisas cuando los niveles de control se estimen a partir de grandes cantidades de datos así.
- (3) Si el proceso no muestra un estado de control y ocasionalmente algunos puntos caen fuera de los límites, es mejor revisar los niveles de control una vez al mes o cada 100 puntos. En este caso, naturalmente que buscaremos las causas de las anomalías y volveremos a calcular los niveles de control después de eliminar los valores anómalos cuyas causas se hayan descubierto y sobre las que se haya actuado. En principio debemos dejar los valores anómalos cuyas causas son conocidas, pero sobre las que no se puede actuar, y los valores cuyas causas siguen siendo desconocidas.

Aquí hay que señalar algunas cuestiones. Primero, no es bueno utilizar niveles de control que contengan muchos valores que caigan fuera de los límites de control y sobre cuyas causas no se puede actuar dentro de las responsabilidades de control para ese proceso, incluso si se conocen esas causas, ya que esto desdibuja la responsabilidad del control del proceso. En tales casos debemos o bien volver a calcular los límites estimando el efecto de esas causas y modificando los datos, o bien calcular niveles de control estratificados y utilizarlos como límites de control para el proceso.

Segundo, deben ser útiles los ejemplos siguientes de niveles de control inadecuados:

- (a) Cuando los gráficos de control indican puntos que forman rachas a lo largo de periodos relativamente extensos o que diariamente caen fuera de los límites de control.
- (b) Cuando los puntos se representan sobre el gráfico de control cada mes sin dibujar las líneas de control y éstas se calculan y dibujan al cabo del mes.
- (c) Cuando se representan los valores de la especificación y se acometen acciones (ajustes principalmente) cuando los puntos caen fuera de estos valores. Esto es confundir el control del proceso con la inspección o la eliminación de las causas de las anomalías con el ajuste.
- (d) Cuando se fijan límites estrictos sin ninguna referencia a los datos anteriores o a las capacidades reales del proceso.

## 5.6 Causas de las anomalías y normas de control

### 5.6.1 Causas de las anomalías

Las causas de las anomalías se pueden clasificar de varias maneras, tal como se describe más abajo:

#### **(A) Clasificación de las causas de las anomalías en función de las normas**

- (1) Debidas a que no se siguen las normas.
- (2) Debidas a que no se pueden seguir las normas.
- (3) Debidas a errores en las normas.
- (4) Debidas a lagunas en las normas.

#### **(B) Clasificación de las causas de las anomalías por tipos**

- (1) Causas debidas a un control inadecuado:
  - (i) causas humanas,
  - (ii) causas mecánicas,
  - (iii) causas en las materias primas,
  - (iv) causas metrológicas (errores propios del muestreo, las medidas, los cálculos, etc.).
- (2) Causas que requieren una investigación técnica.
- (3) Causas inevitables debidas a condiciones externas.
- (4) Causas desconocidas.

En las fábricas que practican el control de calidad las causas del tipo (1) son, generalmente, las más corrientes, seguidas por los tipos 2, 3 y 4. Si los gráficos de control se dibujan con habilidad, aumenta la proporción de causas del tipo (1). Cuando hay muchas causas desconocidas (tipo 4), a menudo es porque el análisis del proceso y, por tanto, la normalización es inadecuada, la tecnología se ha deteriorado o la filosofía del control no se comprende muy bien en el puesto de trabajo (especialmente cuando los gráficos de control están mal dibujados o el subagrupamiento es inadecuado). Las causas inevitables (tipo 3) son rarísimas. Puesto que alguien de la empresa tiene que ser responsable de acometer acciones, es importante ser persistente. Por ejemplo, cuando hay problemas con la subcontratación, la empresa que encarga el trabajo es la responsable y está en situación de actuar el 60-70% de las veces.

### **(C) Clasificación de las causas de las anomalías según el modo de aparición**

- (1) Causas de las anomalías que aparecen sistemáticamente (responsabilidad del staff técnico principalmente):
  - (i) causas que aparecen sistemática e instantáneamente, i.e., las que salen a la superficie a intervalos regulares de tiempo,
  - (ii) causas que aparecen sistemáticamente y producen una sucesión de anomalías.
- (2) Causas de las anomalías que aparecen esporádicamente (responsabilidad del *staff* de control de línea principalmente).
- (3) Causas de las anomalías que aparecen crónicamente (responsabilidad de los ingenieros o la dirección principalmente).

Las causas del tipo 1 se descubren fácilmente por medio de la estratificación o el análisis de correlación. Las causas del tipo 2 se pueden poner de manifiesto buscando diligentemente siempre que los puntos caigan fuera de los límites de control. Estas causas son más fáciles de trazar que las del tipo 1 si los gráficos están dibujados con habilidad. La aparición de una causa del tipo 3 es prueba de que no se ha acometido la acción para prevenir la reaparición de los problemas. Entre los ejemplos están la falta de atención de los trabajadores, la preparación defectuosa de calibres, herramientas, instrumentos de medida y otros equipos, y materias primas de baja calidad.

### **(D) Clasificación de las causas de las anomalías según el tipo estadístico**

Las causas anteriores se pueden seguir clasificando en las dos categorías estadísticas siguientes:

- (1) Causas del modelo de efecto fijo.
- (2) Causas del modelo de efecto aleatorio.

### **(E) Causas de las anomalías fuera del proceso**

Fuera del proceso se encuentran causas de las anomalías con una frecuencia sorprendente. Ellas incluyen:

- (1) Lotes: contaminación por lotes de calidad diferente.
- (2) Muestreo:
  - (i) muestreo sesgado,
  - (ii) muestreo no fiable,
  - (iii) errores en las normas de los métodos de muestreo.
- (3) Muestras: muestras equivocadas, mala manipulación de las muestras.
- (4) Medidas y ensayos:
  - (i) medidas y ensayos incontrolados: errores de medida, errores de lectura, mal uso o mala instalación de los aparatos de medida y ensayo,
  - (ii) normas malas de los métodos de medida.
- (5) Datos: errores de anotación y de cálculo, errores de trazado, errores de procesamiento, contaminación por datos diferentes.

### **(F) Resumen de las causas de las anomalías**

Las causas de las anomalías se pueden clasificar de varias maneras tal como se ha descrito más arriba. Cuando se formulan criterios para prevenir la reaparición de problemas y para el control de procesos, es mejor utilizar el siguiente procedimiento para ordenarlas:

- (1) Comprobar las frecuencias de las causas y dibujar diagramas de Pareto para ver cuáles aparecen con más frecuencia.
- (2) Comprobar qué características están afectadas por qué causas y cómo se indican las anomalías, e.g., si cambia  $x$  o  $R$ , o si los puntos caen fuera de los límites de control o forman rachas, tendencias u otros patrones.
- (3) Comprobar el estado de control a largo plazo calculando los números o porcentajes de puntos que caen fuera de los límites de control todas las semanas o meses y representándolos en un gráfico o un gráfico de control. Normalizar luego los métodos para buscar las causas y acometer acciones de acuerdo con la situación.

## **5.6.2 Normas de control**

Para realizar el control hábilmente, deben aclararse, normalizarse y delegarse en la medida de lo posible la autoridad y la responsabilidad de efectuar el control, emitir juicios y acometer acciones. Las reglas que especifican estas cuestiones se llaman normas de control.

La siguiente explicación de las normas de control se centra principalmente en la situación en la que se van a utilizar los gráficos de control, pero las ñor-

mas de control se pueden formular siguiendo el mismo enfoque aun cuando no estén en uso los gráficos de control.

Para acelerar el control de un proceso con fluidez, como una forma de trabajo rutinario por medio del uso de los gráficos de control, tenemos que preparar normas de trabajo (que se pueden llamar un tipo de normas de control). Para empezar, aunque sólo sea una para cada puesto de trabajo, *debemos preparar gráficos de control utilizables y tomarle gusto a su uso.*

Al hacer esto, se tienen que tener en cuenta los siguientes puntos:

- (1) Numerar cada gráfico de control y registrarlo en el diario de los gráficos de control.
- (2) Decidir quién va a dibujar las líneas de control, cuándo se van a calcular y volver a calcular, y de quién se tiene que obtener permiso antes de dibujarlas.
- (3) Decidir quién va a realizar el muestreo y las mediciones, y cuándo y cómo se va a hacer. Decidir qué impresos se van a utilizar para registrar los datos, a quién se debe informar, y en qué fecha tiene que remitirse el informe.
- (4) Representar los puntos en los gráficos de control. Decidir quién va a hacerlo, cuándo debe hacerse y cómo se deben realizar los cálculos.
- (5) Decidir quién va a ver cada gráfico de control, con qué frecuencia se va a comprobar y de quién es el punto de control.
- (6) Utilizar los puntos representados para valorar si el proceso está en estado de control o no. Formular criterios de opinión para decidir cuándo un proceso está fuera de control.
- (7) Decidir la acción que se ha de acometer siempre que el gráfico de control indique que un proceso está fuera de control. Decidir quién va a buscar las causas y cómo se va a hacer esto, y qué clase de acción se va a acometer si se descubre la causa o si no se puede descubrir. En otras palabras, delegar y normalizar todo lo posible según la categoría, desde el nivel más bajo hacia arriba. Tal como se mencionó en la sección 1.5, la normalización con el fin de delegar la autoridad es uno de los puntos clave de la dirección. Cuando se haga esto, es importante empezar por abajo y hacer las normas todo lo específicas que sea posible.
- (8) Decidir cuándo y cómo se deben hacer los informes para los superiores u otros departamentos relacionados.
- (9) Determinar la acción que pueda acometer cada directivo bajo su propia responsabilidad.
- (10) Si es preciso, decidir un procedimiento para acometer acciones, para asegurarse de que la causa no vuelva a aparecer en el futuro. Especificar cómo se tiene que enlazar esto con las normas.

- (11) Decidir cómo se va a acometer una acción después que un proceso haya seguido en el estado controlado durante un periodo largo de tiempo. He aquí algunas ideas al respecto:
- (a) Con los puntos de control que sean vitales para el proceso, seguir utilizando los gráficos de control del mismo modo que antes.
  - (b) Con los puntos de control que no sean muy importantes para el proceso, aumentar gradualmente el intervalo entre toma de muestras o reducir el número de muestras tomadas. En ciertas situaciones, economizar en las actividades de control al seguir tomando medidas pero sin representar los datos en los gráficos de control o suspendiendo del todo las medidas.
  - (c) En los gráficos de control estratificados, cuando el proceso ha seguido en el estado de control durante mucho tiempo y no aparece ninguna diferencia entre los diferentes estratos, reunir los datos de diferentes estratos, decidir un solo nivel de control y representar los datos en un solo gráfico de control. Seguir estratificando los lotes y los datos aunque se reúnan para representarlos en un solo gráfico de control para que aún se puedan utilizar en análisis futuros del proceso.
  - (d) Alargar los intervalos en los que se revisan los niveles de control, las normas de calidad y las de trabajo.
  - (e) Si un proceso ha seguido en el estado de control durante mucho tiempo, la inspección no indica ningún producto inaceptable y no hay reclamaciones de los clientes respecto a las características del producto, alargar el intervalo de inspección del producto, reducir el número de productos inspeccionados y cambiar a la inspección de comprobación. Finalmente, pasar a expedir los productos con inspección cero.
  - (f) Si el estado de control del proceso todavía no satisface las metas de calidad, llevar a cabo más análisis del proceso y tratar de elevar los niveles técnicos.

## **5.7 Cómo comprobar si se está poniendo en práctica un buen control de los procesos**

### **(1) Comprobación a través de los resultados globales**

Los resultados del control de un proceso deben ser juzgados en última instancia en términos de los resultados finales tales como la calidad, el coste, la cantidad necesaria para una unidad de producto, la eficiencia, la seguridad, el beneficio, las ventas y la participación en el mercado, o representando las me-

jas del control del proceso, las disminuciones de la dispersión o los aumentos de las capacidades técnicas. Sin embargo, por razones como las siguientes, éstas pueden ser medidas deseables pero poco prácticas para evaluar los resultados del control de un proceso:

- (a) Incluyen los efectos de factores extraños tales como las materias primas, los componentes, el equipo y los operarios.
- (b) Son difíciles de obtener en forma de datos; por ejemplo, pueden depender de ensayos sensoriales, puede que se tarde mucho tiempo en recoger los datos o puede que los datos obtenidos sean imposibles de estratificar.
- (c) Carecen de criterios claros para emitir juicios.

## **(2) Diagnóstico de CC**

También es necesario comprobar si el control del proceso se está llevando a cabo adecuadamente, i.e., comprobar por medio de los métodos utilizados así como por medio de los resultados obtenidos. Los resultados pueden mejorar por casualidad o sencillamente porque las personas se arremangan y hacen un esfuerzo mayor, pero no hay ninguna garantía de que tales resultados serán permanentes. Por tanto debemos comprobar cómo piensa y actúa todo el mundo, i.e., el proceso. Esta es una de las características distintivas del CCT.

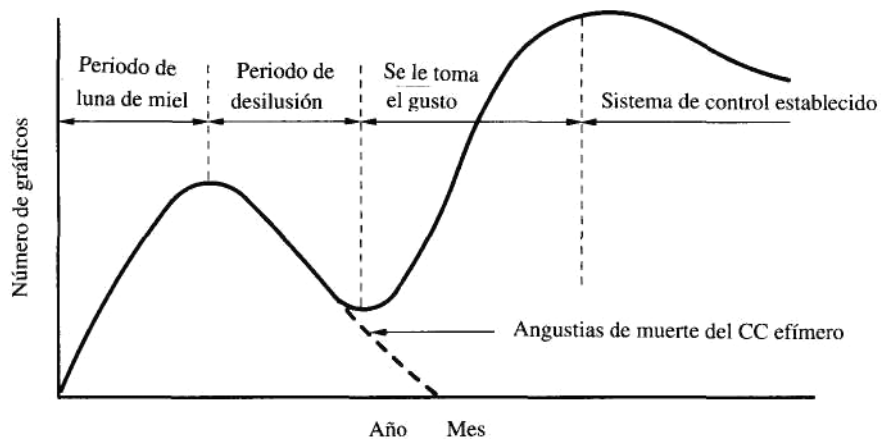
## **(3) Comprobar el control del proceso en el desarrollo de nuevos productos**

El desarrollo de nuevos productos es vital para las empresas y, si en esta etapa el CC y el control del proceso parecen ir bien, ello significa que el CCT y el control del proceso han hecho progresos considerables. Por tanto, es útil investigar si el desarrollo de nuevos productos va teniendo éxito y comprobar el número de cambios de diseño hechos en cada etapa, la situación durante la producción inicial de nuevos productos y el número de reclamaciones junto con sus detalles.

## **(4) Comprobar si los gráficos de control se están utilizando hábilmente para el control del proceso o no**

La comprobación del uso de los gráficos de control debe llevarse a cabo por lo menos una vez al año, preferentemente dos.

- (1) Los puntos a comprobar incluyen:
  - (i) ¿Para controlar qué clases de trabajo se están utilizando los gráficos de control?
  - (ii) ¿Son adecuados los valores característicos?



**Figura 5.2: Cambios en el número de gráficos de control**

- (iii) ¿Hay alguna confusión entre la eliminación de las causas de las anomalías, el ajuste y la inspección?
  - (iv) ¿Son adecuadas las normas de control para el uso de los gráficos de control?
  - (v) ¿Hay algunos cambios en la forma como aparecen las causas de las anomalías?
  - (vi) ¿Son apropiadas las normas para acometer acciones? ¿Tienen que mejorarse? ¿Se acomete siempre la acción correcta? ¿Ha mejorado la situación sin ninguna duda como consecuencia de las acciones para prevenir la reaparición de problemas?
  - (vii) ¿Son satisfactorios los tipos de gráficos de control, los límites de control, los métodos de representación y de subagrupamiento, los intervalos de muestreo y los métodos de medida actuales?
  - (viii) ¿Sigue siendo necesario dibujar todos los gráficos de control?
  - (ix) ¿Ha habido algunos cambios en las capacidades de los procesos?
  - (x) ¿Se están revisando adecuadamente las normas de trabajo?
- (2) Se debe calcular anualmente el total de los diferentes tipos de gráficos de control utilizados en cada fábrica y en la empresa; ello proporciona unos datos valiosos para la revisión y es una buena medida para valorar los progresos del CCT. El número de gráficos de control en uso después de la introducción del control de calidad varía generalmente con el tiempo de acuerdo con el patrón mostrado en la Figura 5.2.

Al principio, generalmente, una empresa experimenta un periodo de "luna de miel". En esta etapa, las personas están bajo la impresión equivocada de que el control de calidad significa dibujar gráficos de control. Dibujan gráfi-



**Tabla 5.2: Informe del diagnóstico de los gráficos de control**

| Sección o grupo | Para control | Para análisis | Para ajustes | Gráfico | Desuso | $\bar{x} - R$ | $x$ | $p, pn$ | $c, u$ | Subtotal |
|-----------------|--------------|---------------|--------------|---------|--------|---------------|-----|---------|--------|----------|
|                 | A A' BC      | D E           | F            | G       |        |               |     |         |        |          |
|                 |              |               |              |         |        |               |     |         |        |          |
| Subtotal        |              |               |              |         |        |               |     |         |        |          |
| Porcentaje      |              |               |              |         |        |               |     |         |        |          |

cos indiscriminadamente, olvidando las causas asignables, los puntos de comprobación, la eliminación de las causas de las anomalías, el ajuste y las normas de trabajo. Esto tiene cierto efecto motivador.

A continuación viene el periodo de desilusión. En esta etapa, desaparece la novedad, se apodera el aburrimiento y, tal como se describe más adelante, las personas empiezan a llegar a la conclusión de que los gráficos de control son inútiles. Aunque las personas siguen exigiéndose unas a otras que dibujen gráficos de control utilizables, de hecho su entusiasmo ha desaparecido. Si las cosas se dejan así, el CC será una cosa efímera y los gráficos de control morirán de muerte natural.

Después de la desilusión viene el "tomarle el gusto". Las personas empiezan ahora a comprender el verdadero significado de las características de control y de los gráficos de control como medio para comprobarlas. La red del control se extiende por toda la empresa y el número de gráficos de control en uso aumenta rápidamente.

Finalmente, se establece el sistema de control. En esta etapa se perfecciona el control o se hace más hábil, y el número de gráficos de control en uso disminuye gradualmente en cierta medida.

El número de gráficos de control en uso y cómo se están utilizando debe ser auditado en toda la empresa una vez cada seis meses o al año. Se deben remitir informes como los mostrados en la Tabla 5.2 y los resultados deben representarse en gráficos que indiquen las tendencias a largo plazo. Los significados de las categorías de la tabla son los siguientes:

A (para control): puesto que el proceso se ha estabilizado hasta el punto en que es innecesario un control estrecho, se puede alargar el intervalo de muestreo, reducir el número de muestras o dejar de hacer el gráfico de control en ciertos casos.

A' (para control): puesto que la capacidad del proceso satisface bastante bien las especificaciones, y las metas y el proceso está bien controlado, es suficiente con seguir controlándolo como hasta ahora.

B (para control): el gráfico de control se está utilizando con éxito para el control, pero la capacidad del proceso es un poco inadecuada.

C (para control): el proceso se ha convertido recientemente en impredecible y son de esperar problemas si no se hace nada al respecto. Hay que hacer análisis e investigación.

D (para análisis): el gráfico de control se está utilizando con éxito para el análisis y también podría utilizarse para control al mismo tiempo.

E (para análisis): el análisis actual es insuficiente; hay que hacer más análisis.

F (para ajuste): no se le puede llamar gráfico de control. Se confunde la eliminación de las causas de las anomalías con el ajuste. El gráfico debe volverse a titular como "gráfico de ajuste" o bien deben revisarse los elementos de control.

G (gráfico): este no es un gráfico de control y las personas lo consideran como un simple gráfico sin adoptar ninguna medida.

En desuso: el gráfico está registrado en el diario de gráficos de control pero no se está dibujando actualmente.

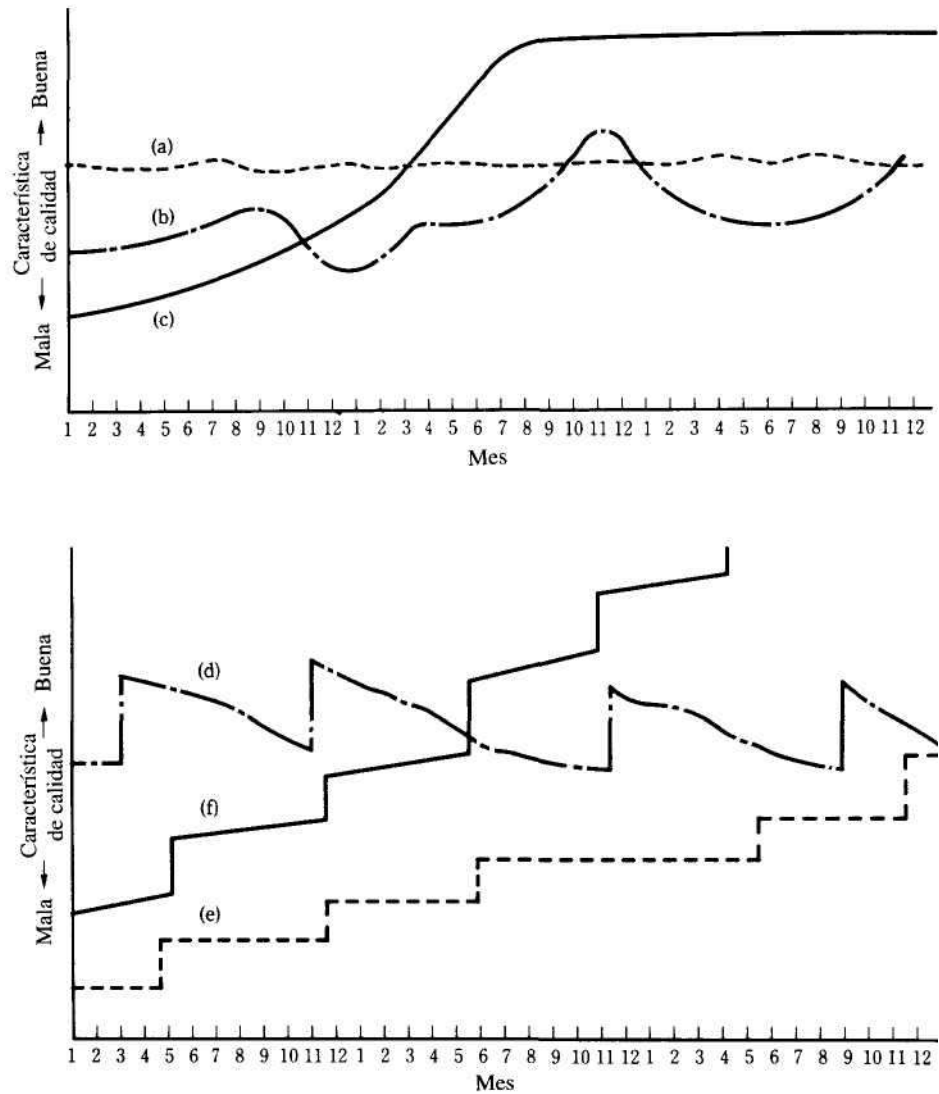
### **(5) La visión a largo plazo de los gráficos de control: control del proceso, análisis del proceso y revisión de las normas**

Si uno fuera a coger los gráficos de control procedentes de uno a varios años y para una característica particular, y ordenarlos según el tiempo, los gráficos podrían simplemente ponerse unos a continuación de otros, o podrían calcularse los límites de control de cada mes y representarlos, por orden, en un gráfico. Si se dibujan los valores para varias características diferentes en paralelo sobre el mismo gráfico se obtiene un cuadro todavía mejor. Este método de ver los gráficos de control es eficaz para comprobar todas las clases de trabajo, no sólo el control de un proceso, para ver si funciona satisfactoriamente a largo plazo. El método también se puede utilizar para el diagnóstico de CC.

Si se juntan las líneas centrales de  $\bar{x}$ , usualmente se obtienen patrones como los mostrados en la Figura 5.3. Los gráficos  $R$  dan la misma clase de patrón. Se pueden sacar las siguientes conclusiones a partir de estos gráficos:

Patrón a: o bien el control se está ejerciendo bien y se está produciendo un producto de calidad constante, o la tecnología se ha estancado y casi no se hace ninguna mejora.

Patrón b: no se está ejerciendo el control ni se está realizando el análisis. La calidad se está ajustando fundamentalmente en respuesta a los cambios económicos. En el peor de los casos, ésta es una empresa en la que no se puede confiar.



**Figura 5.3: Cambios a largo plazo en un proceso (visión a largo plazo de los gráficos de control)**

- Patrón c: el proceso se está analizando detenidamente todos los meses, se están revisando fielmente las normas de trabajo y se están efectuando unas mejoras y control incesantes. El concepto de control está impregnando gradualmente todas las partes de la empresa. El punto de saturación se alcanza aproximadamente después de seis a veinte meses. Cuando sucede esto, o bien se tienen que introducir mejoras en el equipo o se tiene que repensar radicalmente la tecnología.
- Patrón d: se llevan a cabo con frecuencia inversiones en equipo y experimentos en fábrica, pero no se utilizan al máximo y el control está ausente. El concepto de control no ha penetrado.
- Patrón e: se están persiguiendo activamente las mejoras técnicas a través de la mejora del equipo y de unos experimentos adecuadamente diseñados, y el control también es bueno. Éste es un buen ejemplo del estilo euronorteamericano.
- Patrón f: se están llevando a cabo mejoras continuas en los procesos e innovaciones técnicas a través de los métodos del diseño de experimentos e inversiones en equipo, el análisis de los procesos se está llevando a cabo diligentemente por medio del análisis de los datos anteriores de cada mes, y también se está ejerciendo un buen control. Éste es *el mejor enfoque al estilo japonés*.

## 5.8 Las ventajas de los gráficos de control y del estado controlado

Si los gráficos de control se utilizan competentemente como herramienta para comprobar los procesos, tienen las ventajas descritas más abajo, comparadas con los montones de números que se ven en los informes convencionales diarios:

- (1) Al expresar los datos gráficamente la información es más fácil de comprender. Se pueden detectar muy pronto los cambios temporales y las anomalías, y se simplifica el control.
- (2) Se puede apreciar de un vistazo el trabajo de un proceso durante un periodo de tiempo largo.
- (3) El concepto de variación es más fácilmente comprendido por los operarios y los directivos.
- (4) Los juicios son más objetivos puesto que se hacen en base a las líneas de control. Cesan las discusiones infructíferas y las disputas emocionales.

- (5) Es más fácil comprobar si una acción se está llevando a cabo fielmente con respecto a las causas particulares. También es más fácil comprobar los resultados de tales acciones.
- (6) Puesto que las variaciones anómalas se pueden acometer según las prioridades, es más fácil mejorar los procesos y llevarlos bajo control. La calidad en su sentido amplio mejora así.
- (7) Es posible aclarar gradualmente la autoridad y la responsabilidad dentro de la empresa.
- (8) Las normas de trabajo y otras normas se vuelven más racionales.
- (9) Es posible mantener el proceso en estado de control.
- (10) Es posible determinar científicamente las capacidades de los procesos.
- (11) El trabajo de los técnicos es más fácil de realizar.
- (12) Es más fácil que el puesto de trabajo acepte el apoyo del departamento técnico.
- (13) Es más fácil que los operarios, los supervisores de los puestos de trabajo y los círculos de CC vean si las normas de trabajo, los calibres y herramientas, las galgas, los instrumentos de medida, las piezas, etc., son adecuadas o no, lo que hace más fácil acometer acciones.
- (14) Los operarios, los supervisores de puestos de trabajo y los círculos de CC se interesan más en su trabajo, y se hace posible el control autónomo.
- (15) La recogida de estadísticos sobre las causas de las anomalías hace posible invertir racionalmente en equipos y aparatos.
- (16) Todo el mundo tiene más cuidado con los datos, las medidas y el muestreo.
- (17) Los directivos ganan tiempo para pensar en el futuro.

La estabilización de las variaciones debidas a las personas, los materiales, la maquinaria y los métodos de trabajo, y llevar los procesos bajo control es uno de los fines de la dirección, y todo funciona con mayor fluidez si se hace esto. Algunas ventajas especiales del estado controlado son las siguientes:

- (1) Los procesos pueden poner de manifiesto sus capacidades máximas.
- (2) El trabajo se normaliza y es más fácil de realizar.
- (3) Se puede reducir el número de medidas y ensayos realizados.
- (4) Los directivos se relajan y pueden delegar el trabajo.
- (5) Se pueden hacer planes para el futuro con confianza, y también se pueden firmar los contratos con tranquilidad.
- (6) Es posible efectuar mejoras técnicas según prioridades.
- (7) Quedan libres mucho tiempo y recursos para planificar el futuro.
- (8) Si el estado controlado satisface plenamente la calidad certificada, es posible garantizarla sin inspeccionar el producto, reduciendo así los costes de inspección.

- (9) La empresa pueden suministrar con confianza garantías de producto a sus clientes.
- (10) Se simplifica el control de presupuestos y de costes.

## 5.9 Establecimiento de criterios para hacer los ajustes

En la sección 5.3 y en otras partes he explicado con frecuencia la diferencia entre eliminar las causas de las anomalías y el ajuste. Aquí me gustaría hablar de cómo se deben determinar los criterios para hacer los ajustes. Los límites de control 3-sigma son adecuados para decidir si un proceso está fuera de control y eliminar las causas de las anomalías, pero los límites y los criterios para los ajustes deben establecerse estadísticamente desde un punto de vista diferente, teniendo en cuenta los valores de las especificaciones y otros factores.

Para empezar, me gustaría dejar claros los siguientes puntos:

- (1) El ajuste consiste en vigilar una situación (e.g., la longitud, el espesor, la humedad, etc.) y regular algo (e.g., girar una válvula o mezclar materias primas) según ciertos criterios.
- (2) Un proceso tiene cierta variación que existe aun cuando no se realice ningún ajuste, junto con una variación que cambia cuando se ajustan sus causas asignables.
- (3) En general, el ajuste significa alterar la variación y la media de la distribución que existe en ausencia del mismo. Por tanto, cuando se determinan los criterios para hacer los ajustes, se tienen que investigar los siguientes elementos:
  - (i) También deben calcularse la desviación estándar, la varianza y otros datos relativos a la variación en ausencia del ajuste (recorrido móvil, subagrupamiento racional, histogramas, error del muestreo, error de las medidas, etc.).
  - (ii) La relación entre el grado del ajuste y su efecto: esta relación no es necesariamente lineal (pueden ser necesarios la estimación de la diferencia entre las medias, la estratificación y el análisis de regresión).
  - (iii) El lapso de tiempo entre el ajuste y la aparición de su efecto (incluyendo la duración de la medición).
  - (iv) El lapso de tiempo entre la toma de datos y la emisión de un juicio, y la ejecución de un ajuste (tiempo de retroalimentación).

- (v) Los costes pertinentes, e.g., las pérdidas que surgen al no darse cuenta de que ha cambiado un proceso, los costes del ajuste y las pérdidas ocasionadas por pasarse en el ajuste.

También es necesario para este fin estudiar la filosofía y la teoría del control automático y obtener datos cuantitativos con las herramientas estadísticas.

Los criterios para hacer los ajustes se deciden combinando los números obtenidos con las investigaciones anteriores y la resolución de las ecuaciones teóricas, de forma que se estabilice el proceso, se optimicen los beneficios y se minimicen los costes. Esto no se tratará aquí debido al elevado número de situaciones posibles. Sin embargo, los límites de ajuste se pueden determinar a menudo incluso sin utilizar expresiones numéricas complejas si se conocen los valores anteriores. Por tanto, es importante empezar por llevar a cabo las investigaciones enumeradas.

Como criterios de ajuste, se tienen que decidir los siguientes elementos:

- (1) Qué datos se vigilarán para hacer los ajustes.
- (2) Cómo se recogerán esos datos. En este caso, puesto que es necesario estimar con precisión el promedio del proceso, se necesitan varios mecanismos en el análisis estadístico cuando la variación, el error del muestreo y el error de las medidas, en ausencia de los ajustes, son grandes. Por ejemplo, la media se puede calcular por medio del uso de un muestreo continuo o sistemático, o tomando un número grande de medidas, o se puede reducir radicalmente la variación del proceso en ausencia del ajuste.
- (3) Los límites de ajuste. No se debe realizar ningún ajuste a menos que los valores obtenidos en el paso 2 superen a ciertos límites de ajuste. Usualmente, estos límites no están claramente definidos, y a menudo se estropean los procesos con la realización de ajustes innecesarios o perjudiciales, i.e., por un exceso de control. Esto sucede cuando dejamos que nuestras acciones estén dictadas por la variación del proceso en ausencia del ajuste; en otras palabras, es el tipo de error "impulsivo". Si se superan los límites de ajuste, se debe realizar un ajuste con la cantidad necesaria tal como se calcula por medio de la relación, anteriormente investigada, entre el grado de ajuste y su efecto. Los límites de ajuste y las cantidades del mismo se deciden por medio del análisis que hace uso de los métodos estadísticos.

Los límites de ajuste deben colocarse a ambos lados de una línea central fijada en cierto valor de referencia; en mi experiencia, los límites no deben dibujarse en los valores  $\pm 3$ -sigma de la distribución de las medias sino en los valores  $\pm 1,5$ -sigma o  $\pm 2,5$ -sigma.

En algunos casos, los ajustes pueden ser continuos, mientras que en otros se tienen que hacer paso a paso. Cuando sea posible el ajuste continuo, se debe realizar un ajuste suficiente para restablecer el valor límite al valor de referencia. Cuando sólo es posible el ajuste paso a paso, esto tiene que tenerse en cuenta al calcular los límites de ajuste, y el ajuste debe realizarse de una vez o, si es necesario, en dos veces. Este enfoque también es útil cuando se calibran los instrumentos de medida.

Cuando se realizan las investigaciones, es mejor funcionar de la manera habitual, guardar los registros de las observaciones y los ajustes, y recoger los datos de los resultados a lo largo de un periodo de tiempo relativamente largo. Así es como se determinan los criterios para hacer los ajustes, pero una vez establecidos, los resultados deben ser comprobados, y los criterios (que son una forma de normas de trabajo) deben ser revisados adecuadamente.

Si los ajustes son complejos y requieren varios cálculos cada vez que se realizan, puede ser necesario un control por ordenador en la línea. En los casos sencillos, cuando se repite la misma clase de ajuste, el control automático puede ser suficiente. Sin embargo, los ajustes no son más que controlar los cambios debidos a una causa asignable alterando una causa asignable diferente. Nuestro fin último debe ser, por tanto, seleccionar las características de control convenientes, preparar los gráficos de control, controlar el propio sistema de control y finalmente, eliminar las causas verdaderas e instituir un sistema de control que pueda controlar el proceso satisfactoriamente sin ningún ajuste. En otras palabras, la situación ideal es aquella en la que el control por ordenador y el automático están ausentes.





---

# La Garantía<sup>1</sup> de Calidad y la inspección

## 6.1 ¿Qué es la Garantía de Calidad?

La garantía de calidad (GC) es el alma del control de calidad. Expresado de manera sencilla, la garantía de calidad consiste en garantizar que un cliente pueda comprar con confianza un producto o servicio y disfrutar de su uso satisfactorio durante un periodo de tiempo largo. La garantía de calidad representa un tipo de promesa o contrato con el cliente respecto a la calidad.

En la práctica hay varios problemas en cuanto a la forma en que se interpreta la garantía de calidad. Algunas ideas equivocadas son las siguientes:

- (i) Si se está realizando una inspección estricta, se está llevando a cabo la garantía de calidad.
- (ii) Nuestra empresa practica la garantía de calidad ya que ofrecemos la sustitución gratuita de los productos defectuosos por otros buenos.
- (iii) La calidad está garantizada si las reparaciones son gratuitas durante cierto periodo de tiempo.

Los puntos (ii) y (iii) significan hacerse responsable de los recambios o las reparaciones pero no de garantizar la calidad. Por el contrario, es más como garantizar a los clientes que algunos productos serán defectuosos o se estropearán durante el uso. Las reparaciones y recambios gratuitos son, claro está, una parte importante de la garantía de calidad pero están lejos de serlo todo.

---

<sup>1</sup> "Assurance" en inglés. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) traduce este término como "aseguramiento"; deben, pues, considerarse sinónimos "garantía" y "aseguramiento". (*N. de los T.*)

### Terminología:

En el campo de la garantía de calidad abundan los términos tales como "seguridad", "compensación", "indemnización", "garantía"<sup>2</sup> y "garantía post-venta"<sup>3</sup>, y significan cosas ligeramente diferentes para las personas procedentes de distintas áreas empresariales (la profesión jurídica, los consumidores en general, la industria de la construcción, el campo del control de calidad, etc.). No hay reglas claras en cuanto a cómo deberían usarse.

Aquí utilizo el término "garantía post-venta" en el sentido de aceptar la responsabilidad e indemnizar al cliente por algo que vaya mal. Para un producto, el periodo que cubre la garantía post-venta significa un periodo de tiempo fijo a partir de la fecha de la compra y durante el cual el producto se reparará gratuitamente bajo ciertas condiciones. Para un coche, por ejemplo, el periodo de garantía post-venta puede ser de dos años o 50.000 kilómetros, lo primero que se alcance.

En contraste con esto, "garantía" (o aseguramiento) significa asegurar que los clientes obtendrán un uso satisfactorio de un producto durante un periodo de tiempo largo. El periodo de aseguramiento debe ser realmente el número de años durante los cuales se pueda utilizar el producto. Puesto que las piezas están sometidas a un desgaste y rotura normales, ello significa el número de años durante los cuales la empresa se compromete a reparar y hacer el mantenimiento no gratuito del producto después de la expiración del periodo de garantía. Claro que esto dependerá de cómo el usuario utilice su producto y en lo bien que se realicen las comprobaciones y el mantenimiento. Los coches, por ejemplo, duran más hoy día y creo que su periodo de aseguramiento debería fijarse, como mínimo, en quince años. Con algunos productos, hay obligación legal de que haya piezas disponibles durante tres, cinco o siete años después de que el producto haya sido puesto en el mercado, pero éstas son responsabilidades mínimas y cada empresa debe decidir su política respecto a los periodos de garantía y crear un sistema que permita el suministro de piezas durante periodos de tiempo mayores que éstos. Algunas empresas dicen suministrar piezas durante toda la vida, i.e., hacer que haya piezas disponibles mientras sus productos sigan operando. Los bienes duraderos van con certificados de garantía post-venta que indican un periodo de garantía post-venta de un año durante el cual una unidad será reparada o sustituida gratuitamente si se rompe debido a una fabricación defectuosa, pero también debería fijarse un periodo de aseguramiento independiente, ya que tales productos no se rompen inmediatamente o se quedan inutilizables tan pronto como termina el periodo de garantía post-venta de un año.

Para los productos cuya calidad se deteriora gradualmente después de su expedición, aunque no se utilicen (e.g., películas fotográficas, productos farmacéuticos, alimentos, etc.), creo que se debería fijar un periodo de aseguramiento (que dependerá del método de almacenamiento) que indique el número de años durante los cuales el producto seguirá siendo utilizable si se almacena de acuerdo con las precauciones establecidas.

---

<sup>2</sup>

En inglés, assurance. (*N. de los T.*)

<sup>3</sup>

En inglés, warranty. (*N. de los T.*)

## 6.2 Los principios de la Garantía de Calidad

Una empresa tiene que practicar la garantía de calidad con objeto de garantizar a sus clientes y usuarios que sus productos o servicios funcionarán satisfactoriamente antes de la compra, en el momento de la misma y durante cierto periodo de tiempo después; en otras palabras, sus productos o servicios tienen que ser suficientemente fiables para que satisfagan a los clientes y se ganen su confianza. Podremos afirmar justificadamente que se ha alcanzado la garantía de calidad si es posible vender confianza en la calidad de los productos o servicios de una empresa, o, aún más en general, confianza en la calidad de la misma empresa, de forma que los clientes se sientan seguros al comprarle incluso nuevos productos o servicios.

Para conseguirlo, se tienen que seguir los principios siguientes:

- (1) Adoptar al cien por cien el enfoque de que el cliente es lo primero, y adquirir unos conocimientos firmes de los requisitos de los clientes. Esto implica la clara identificación de lo que los clientes piden y de qué tipos de garantías exigen. Puesto que los diferentes países tienen diferentes situaciones y los propios consumidores se están polarizando y diversificando, a partir de ahora lo normal será fabricar artículos de gran variedad y de bajo volumen de producción. Igualmente, los consumidores no son, generalmente, profesionales de marketing y sus requisitos son, a menudo, nebulosos o subconscientes. Los vendedores –i.e., los productores y comerciantes- son profesionales y tienen que pedir a los consumidores que elaboren y aclaren sus requisitos. En contraste con esto, no hay manera de que el enfoque orientado a "sacar el producto", hacer primero un producto y luego salir y venderlo, satisfaga a los consumidores o pueda proporcionar la garantía de calidad.
- (2) Introducir una filosofía clara de que el cliente es lo primero, y asegurarse de que todo el mundo, desde el presidente de la empresa hacia abajo, está implicado en la calidad. Esto significa todos los empleados, incluyendo el *staff* de ventas y de servicio, así como los proveedores de la empresa y los que están en las organizaciones distribuidoras. La garantía de calidad es decididamente imposible a menos que todo el mundo tenga interés en practicarla. Para conseguirlo no se necesita sólo el control de calidad por toda la empresa sino el control de calidad por todo el grupo, en el que todo el mundo, incluyendo los subcontratistas y distribuidores, trabaja en equipo para acometer la garantía de calidad.
- (3) Dar vueltas constantemente alrededor del ciclo de PHCA (ver la sección 1.4.1 y la Figura 1.2).

Por muy concienzudamente que practiquemos la filosofía de que el cliente es lo primero, por muy extensos que sean nuestros estudios de mercado y por muy cuidadosamente que diseñemos la calidad y tratemos de practicar la garantía de calidad, jamás podremos ser perfectos; además, las exigencias y expectativas de los consumidores cambian y aumentan constantemente. Esto significa que tenemos que dar vueltas incesantemente alrededor del ciclo de calidad del PHCA y no dejar jamás de mejorar la calidad.

- (4) Los productores y vendedores son responsables de la garantía de calidad. La responsabilidad de la garantía de calidad reside en el productor, i.e., la empresa que fabrica el producto. Cuando una empresa dedicada a las ventas, un supermercado o unos grandes almacenes proporciona a una empresa de fuera las especificaciones y encargos para hacer un producto, la responsabilidad de la garantía de calidad reside en el productor, i.e., en este caso, la empresa dedicada a las ventas, el supermercado o los grandes almacenes. El fabricante es responsable de la garantía de calidad si forma parte del mismo grupo.

Si un proveedor practica el CCT y tiene un sistema de garantía de calidad que funciona correctamente, un comprador puede comprar confiadamente sus productos sin inspeccionarlos. Entre el ochenta y el noventa por cien de las empresas japonesas que están adelantadas en el CCT compran sin hacer inspección.

Dentro de una empresa, la responsabilidad de la garantía de calidad reside en el departamento de planificación del producto, el departamento de diseño y el de fabricación. En principio, los departamentos de inspección y de garantía de calidad no son responsables de la garantía de calidad. El departamento de producción, por ejemplo, es responsable de practicar un buen control autónomo y una buena inspección y de poner en práctica la garantía de calidad que satisfaga al cliente. Si esto se hace con éxito, el *staff* de los departamentos de inspección y de garantía de calidad se puede reducir mucho. Los departamentos de inspección previa a la entrega y de garantía de calidad comprueban la calidad desde el punto de vista del consumidor e investigan los problemas relacionados con la responsabilidad civil por el producto (ver la sección 6.6). Realmente tienen muy poca responsabilidad por la garantía de calidad. Esto significa que si se reciben reclamaciones o manifestaciones de insatisfacción procedentes de los consumidores, la alta dirección debe poner sobre el tapete a los departamentos de compras, planificación, diseño y fabricación, y no a los departamentos de inspección o garantía de calidad. Antes de que pueda hacerlo, sin embargo, tiene que haber advertido claramente a esos departamentos de su responsabilidad en llevar a cabo la garantía de calidad y se

tiene que haber asegurado de que el sistema de garantía de calidad está instaurado.

- (5) Los principios anteriores de garantía de calidad se establecen desde el punto de vista del consumidor, pero dentro de una empresa "el proceso siguiente es su cliente", lo que significa que todo el mundo tiene que esforzarse por aplicar los principios con respecto al proceso siguiente a lo largo de la línea.

## 6.3 Los métodos y sistemas de la Garantía de Calidad

### (1) Métodos de la Garantía de Calidad

Puesto que ya he explicado la evolución de la garantía de calidad en la sección 1.3, sólo lo resumiré brevemente aquí. Inmediatamente después de la introducción de la garantía de calidad en Japón empezamos a dejar atrás el tipo de garantía de calidad euronorteamericano orientado hacia la inspección, y pasamos al tipo de garantía de calidad orientado hacia el control de procesos en el cual se practica el control de los procesos en un intento de alcanzar cero defectos. Tuvimos éxito en mejorar la calidad y aumentar la productividad y pudimos producir buenos productos a precios razonables. Sin embargo, luego comprendimos que esto solo no era suficiente; si la planificación y el diseño de un nuevo producto o la selección de las materias primas eran malos, sería imposible garantizar la calidad por mucho que tratáramos de poner en práctica el control de procesos. A partir de la segunda mitad de los años cincuenta empezamos a ir más atrás del proceso de producción, y desplazar el centro de nuestros esfuerzos en garantía de calidad desde las etapas de planificación, diseño, prototipo y producción piloto a la etapa del desarrollo de nuevos productos.

Aun cuando se establezca un sistema para garantizar la calidad como el descrito más arriba, durante el desarrollo de nuevos productos se necesita un control de procesos adecuado mientras los productos se estén produciendo, y también se necesita una inspección del 100% mientras salgan productos defectuosos de la línea de producción.

Para crear un verdadero sistema de garantía de calidad, tenemos que ir aún más allá y poner en práctica un sistema de control de calidad por todo el grupo en el cual los subcontratistas, los proveedores, las organizaciones distribuidoras, las organizaciones para el servicio post-venta y todas las demás empresas relacionadas practiquen el control de calidad como si fueran una sola unidad. A algunas empresas les cuesta diez años establecer esta clase de sistema de garantía de calidad que cubra todas sus actividades por todo el mundo.

## (2) Sistemas de Garantía de Calidad

En la sección 1.6.2 se explicó cómo poner en práctica un sistema de garantía de calidad que cubra todas las etapas, desde el desarrollo de nuevos productos hasta la comercialización y el servicio post-venta. Le ruego consulte trabajos tales como la *Guía de Garantía de Calidad*<sup>4</sup>.

Aquí me gustaría concentrarme en el desarrollo de nuevos productos, y mencionar algunas cuestiones especialmente importantes. La Figura 6.1 es básicamente la misma que la Figura 1.16.

En la práctica debe normalizarse cada paso de la garantía de calidad, prepararse las listas de comprobación e idear y poner en práctica métodos de control específicos para cada tipo de producto. Sin embargo, no todas estas actividades saldrán bien al primer intento. Se deben revisar los fallos, se deben normalizar los métodos para prevenir que vuelvan a repetirse, y se debe acumular la tecnología y la experiencia para que con el próximo producto no se cometan las mismas equivocaciones. Un sistema de garantía de calidad emergerá solamente si este proceso se repite muchas veces de manera controlada.

El segundo paso de la Figura 6.1 -después que la "idea" real haya sido formulada- es la *planificación del nuevo producto*. Cuando se desarrolla un nuevo producto, se deben redactar unos planes, meticulosamente pensados, para el nuevo producto, y utilizarlos como base para el trabajo posterior. Estos planes deben incluir los siguientes elementos:

- (1) El tipo de consumidor al que se dirige el producto.
- (2) El precio de venta y el coste unitario deseado (planificación de costes).
- (3) Previsión de las ventas mensuales y periodos de venta.
- (4) Planes de calidad (en la medida de lo posible deben expresarse con las propias palabras de los consumidores, dando las verdaderas características de calidad).
- (5) La fecha de lanzamiento deseada.

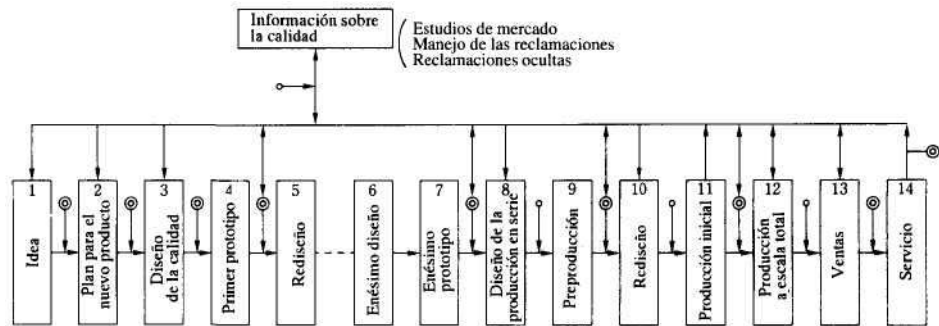
El *diseño de la calidad*, el paso siguiente, quiere decir empezar a estudiar detenidamente la calidad como se explicó en la sección 1.4, realizar el análisis de la calidad y los pasos de diseño y rediseño descritos más abajo (los pasos 3-10 de la Figura 6.1).

- (1) Investigar detenidamente qué características (i.e., comportamiento) se debe garantizar. No fiarse sólo de los estudios de mercado, la investigación de producto y las especificaciones de los compradores; escuchar detenidamente los verdaderos requisitos de calidad de los consumidores. En

---

<sup>4</sup>

*Hinshitsu Hoshō Gaidobukku* (Guía de Garantía de Calidad), ed. Asaka y Ishikawa, JUSE Press, 1974.



**Figura 6.1: Los pasos de la Garantía de Calidad**

particular, investigar concienzudamente el grado de importancia de cada cualidad y el método de medirla.

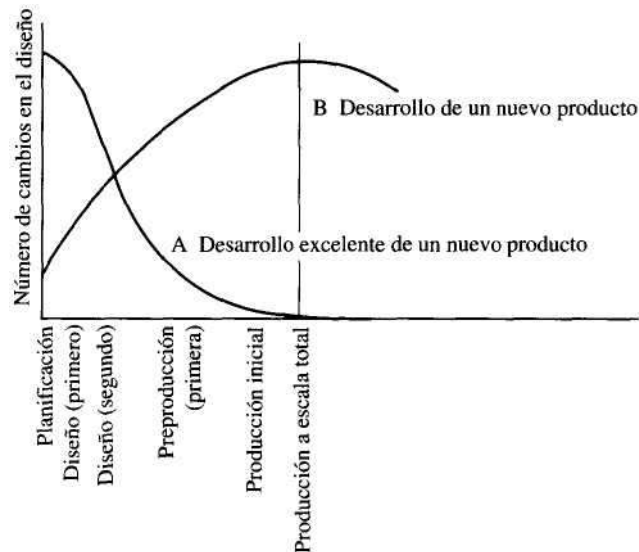
- (2) Decidir la duración del producto.
- (3) Comprobar los problemas relativos a la seguridad, el posible mal uso y la responsabilidad civil por el producto.
- (4) Decidir qué piezas deben ser recambiables, cuánto deben durar y con qué frecuencia se deben sustituir. Fijar los estándares de calidad con arreglo a ello, seleccionar los métodos de medida y evaluación para comprobar si las piezas cumplen estos estándares o no, y decidir los métodos de inspección y de los ensayos de duración y condiciones.
- (5) En esta etapa, preparar el Gráfico de Proceso de CC I y elaborar las directrices sobre cómo fabricar el producto y poner en práctica el control del proceso. Fijar también los estándares de las materias primas pertinentes y las tolerancias de las piezas. Comprobar las capacidades de los procesos de la empresa y de los proveedores necesarias para ello.
- (6) Fabricar prototipos y realizar ensayos operativos para comprobar su comportamiento y su duración. Hacer que todos los departamentos cooperen para evaluar la calidad. Si es preciso, hacer que el cliente realice estos ensayos operativos.
- (7) Preparar instrucciones operativas y calendarios de inspección y de mantenimiento.
- (8) Analizar la información y las capacidades de los procesos de los departamentos de fabricación, inspección, compras, ventas y servicio, y rediseñar inmediatamente la calidad.

En su sentido estricto, una *revisión del diseño* consiste en revisar los planos del diseño de un producto, pero aquí me gustaría enfocar el asunto desde una perspectiva más amplia, mencionando brevemente los elementos que se



tienen que comprobar (indicados con los símbolos  $\odot$  y  $\circ$  de la Figura 6.1) desde la etapa de la especificación del nuevo producto (paso 2) hasta la producción a escala total (paso 12). Una revisión del diseño, pues, debe abarcar lo siguiente:

- (1) Valoración del comportamiento, la fiabilidad, la mantenibilidad, la posibilidad de dar servicio, la seguridad (especialmente la prevención de la responsabilidad civil por el producto; ver la sección 6.6), las consideraciones ambientales, el diseño, la fabricabilidad, los gráficos de proceso de CC, el coste unitario, el coste del ciclo de vida, las leyes y reglamentos, las patentes, etc.
- (2) Determinación de los departamentos que deben participar en la revisión del diseño: ventas, planificación, diseño, garantía de calidad, inspección, fabricación y ensayo de prototipos, compras, tecnología de producción, fabricación, empaquetado y envío, contabilidad de costes, jurídico, patentes, etc.
- (3) Durante la revisión, una comprobación, desde el punto de vista del cliente, de si se pueden garantizar totalmente los argumentos de venta de la calidad del producto y su fiabilidad, se satisfacen los planes del nuevo producto y la calidad planificada, el producto se fabrica con facilidad y se puede producir al coste previsto, y si los elementos enumerados más arriba en (1) son satisfactorios. El propósito de esta revisión no es criticar a los departamentos de diseño y de fabricación de prototipos sino trabajar juntos para crear un buen producto.
- (4) Establecer claramente los datos disponibles sobre los ensayos de comportamiento y de fiabilidad, los subcontratistas, la fabricabilidad y las capacidades de los procesos, haciendo un hincapié especial en los datos incompletos relativos a la calidad de referencia y a los costes unitarios y en los problemas importantes de diseño y de fabricación del prototipo.
- (5) Hacer que tantas personas pertinentes como sea posible participen en el primer diseño y en la fabricación del primer prototipo, con objeto de sacar tantos problemas como sea posible y asegurarse de que el número de cambios en el diseño sigue la curva A de la Figura 6.2 y llega a cero en la etapa de la producción piloto o, por lo menos, en la etapa de producción inicial. Si el número de cambios en el diseño sigue la curva B de esta figura, la empresa es incompetente para el desarrollo de nuevos productos y conseguirá la reputación de que sus nuevos productos no son fiables.
- (6) El número de elementos de ensayo y condiciones para garantizar la calidad y la fiabilidad durante el desarrollo de un nuevo producto debe ser de varios cientos para un producto simple tal como un bolígrafo, o dos o tres



**Figura 6.2: Tendencias del número de cambios en un diseño**

mil para un producto más complejo tal como un automóvil. Estos elementos de ensayo y condiciones constituyen un cuerpo de conocimientos para la empresa, y las empresas que lo perfeccionan gradualmente y acumulan sus conocimientos técnicos en esta área tendrán éxito en el desarrollo de nuevos productos con una calidad y fiabilidad garantizadas. Estas clases de datos también deben archivarse y guardarse cuidadosamente con miras a la prevención de la fiabilidad de los productos.

- (7) Las empresas que fabrican materiales, piezas y productos para uso industrial deben encontrar a usuarios bien dispuestos con los que llevar a cabo una investigación, desarrollo y evaluación conjuntas, en colaboración con la investigación interna propia del producto.

Los siguientes son los pasos clave en el *diseño y control de un proceso*:

- (1) Empezar a preparar el Gráfico de Proceso de CC II antes de la preproducción y terminarlo antes de la producción inicial.
- (2) Comprar materias primas y piezas que puedan satisfacer las normas de calidad y el proceso.
- (3) Poner en práctica un control minucioso e incorporar una calidad estable por medio del proceso. A veces son difíciles de garantizar, por medio de la inspección, la duración y la fiabilidad del producto, y en realidad la fiabilidad sólo se puede alcanzar asegurando un estado de control con una

dispersión pequeña. Podríamos incluso llegar a decir que alcanzar la fiabilidad depende totalmente de conseguir el estado controlado.

- (4) Eliminar las unidades defectuosas lo más pronto posible por medio de la inspección durante el proceso.
- (5) Decidir por adelantado qué clase de ensayos de duración se va a realizar durante el proceso, qué van a comprobar, en qué etapa y por quién van a ser realizados.

Los pasos de la *inspección* son:

- (1) Normalizar dónde, cuándo y qué clase de inspecciones se van a realizar.
- (2) Siempre que sea posible, la inspección del cien por cien y de las características sustitúas deben ser realizadas por el departamento de producción.
- (3) El departamento de inspección debe llevar a cabo los ensayos de comportamiento, las inspecciones desde el punto de vista de los consumidores y las inspecciones para comprobar las realizadas por el departamento de producción.
- (4) Se debe asignar un orden de prioridades a las características seleccionadas de entre las especificaciones de calidad o las dimensiones de los planos, y se debe determinar cuáles serán designadas como elementos de inspección, quién tomará esta decisión y cómo se regularán las inspecciones.
- (5) Las normas de inspección deben ser revisadas de acuerdo con la información suministrada por los consumidores y todos los departamentos de la empresa. Es especialmente importante que, en las inspecciones sensoriales, los niveles de inspección concuerden con los niveles de los consumidores.
- (6) De ser preciso, se deben hacer ensayos de duración y de comportamiento. También se debe investigar el estado de control de la fiabilidad y considerar las características de inspección sustitúas.
- (7) Debe automatizarse la inspección del cien por cien.

Los siguientes son los pasos a dar en el *servicio*:

- (1) Investigar los métodos para dar servicio y establecer una red de reparaciones.
- (2) Formar y desarrollar técnicos de reparaciones.
- (3) Preparar una provisión de piezas de recambio y elementos consumibles.
- (4) Retroalimentar la información sobre el recambio de piezas, las reparaciones, el servicio y las reclamaciones de una manera que sea fácilmente analizable por todos los departamentos pertinentes.

Si es preciso, establecer un grupo de garantía de calidad dentro de un departamento de la empresa capaz de adoptar un punto de vista objetivo (por ejemplo, el departamento de control de calidad de la oficina central), hacer que disponga libremente de la información sobre la calidad de todas las áreas y hacer que lleve a cabo auditorias de calidad que lo abarquen todo, desde el diseño hasta cómo los clientes utilizan los productos de la empresa. A este grupo también se le debe dar autoridad para que detenga los envíos de producto. Debe ser el centro para dar vueltas alrededor del ciclo de garantía de calidad en toda la empresa.

Unas pocas cuestiones a observar aquí son: primero, los costes tienden a aumentar durante la etapa de desarrollo y es necesario controlarlos y utilizar varias estrategias para asegurarse de que se mantienen en lo previsto, procediendo exactamente de la misma manera que lo dicho más arriba y practicando el control de costes en todos los pasos. Segundo, es difícil mantener el desarrollo de un nuevo producto dentro de una programación fija; tiende a retrasarse, lo que ocasiona una garantía de calidad y de fiabilidad chapucera. Son esenciales un control sólido de los progresos y un control de la fecha tope. Puesto que muchos proyectos de desarrollo de nuevos productos se parecerán a los anteriores, es mejor decidir sobre una programación estándar. Por ejemplo, la producción piloto puede programarse para el octavo mes después de que haya sido emitido el plan para el nuevo producto, la producción a escala total para el décimo mes, y el lanzamiento del producto para el undécimo mes.

## 6.4 ¿Por qué se producen unidades defectuosas? Algunas modificaciones convenientes

Podremos decir que una empresa está practicando la garantía de calidad si no produce productos defectuosos en lo que al cliente se refiere, no en cuanto a lo que se refiere al fabricante. Ahora me gustaría explicar brevemente las clases de situaciones en que se dan las unidades defectuosas y algunas modificaciones que se pueden introducir. Los productos defectuosos aparecen en las siguientes situaciones:

- (i) Durante el proceso o en la etapa de la inspección previa a la entrega,
- (ii) Cuando se hacen productos de una calidad diferente a la exigida por el cliente.
- (iii) Cuando un producto se convierte en defectuoso antes de llegar al cliente.
- (iv) Durante la inspección en recepción del cliente,
- (v) Cuando un cliente ve que el producto es defectuoso al intentar utilizarlo.

- (vi) Cuando un producto se hace defectuoso durante el uso por parte del cliente,
- (vii) Cuando un producto se hace defectuoso como consecuencia de un uso incorrecto por parte del cliente.

Como toda esta lista sugiere, hay varios problemas en la definición de lo que es un producto defectuoso. Con objeto de garantizar la calidad, tenemos que estar seguros de hacer lo siguiente:

- (i) Identificar las características de calidad y los niveles exigidos por el cliente.
- (ii) Asegurarnos de que no se expiden artículos defectuosos,
- (iii) Decidir la definición y el periodo de duración del producto garantizado (fiabilidad).
- (iv) Idear modificaciones que hay que introducir si se producen artículos defectuosos.

Pensemos en las causas de los productos defectuosos y en las modificaciones que hay que introducir.

### **(1) ¿Por qué se expiden artículos defectuosos?**

- (a) Porque se fabrican artículos defectuosos.  
Solución: controlar el proceso de producción para que no suceda esto.
- (b) Debido a que las especificaciones de la calidad y la inspección no están claras, a la selección inadecuada de características (verdaderas y sustitutas) y sus valores, y a los estudios de mercado e investigaciones de producto inadecuados, i.e., definiciones poco claras de lo que constituye productos defectuosos y no defectuosos.  
Solución: realizar el análisis de calidad y el despliegue de la función de calidad y comprobar que los resultados de este análisis sean correctos. Aunque la calidad se analice por medio de diagramas de causa y efecto y de tablas de despliegue de la función de calidad, es peligroso no comprobar si los resultados concuerdan con los hechos.
- (c) Porque no se conocen los verdaderos requisitos de los consumidores o son impracticables los ensayos de comportamiento previos a la entrega.  
Solución: llevar a cabo más investigaciones de producto y de los ensayos operativos y de los métodos de inspección.
- (d) Porque no es factible la inspección del cien por cien.  
Solución: dar prioridad al control o identificar las características sustitutas buenas y automatizar la inspección. Si se introduce la inspección automatizada, hay que tener cuidado con los errores de los sensores y la fiabilidad del equipo para la inspección automática.

- (e) Debido a errores en el diseño, la fabricación del prototipo, la producción, las compras, la inspección, el empaquetado, los instrumentos de medida, el muestreo, las medidas, la manipulación de los datos y los cálculos con los mismos, etc.  
Solución: eliminar los errores por medio de un control estricto de estos trabajos. Los errores tales como la entrega de un producto equivocado son una evidencia muy obvia de la falta de control.
- (f) A causa de los errores debidos a la inspección por muestreo. Solución: si es política de la empresa fijar ciertos niveles de inspección y llevar a cabo la inspección de muestreo, son inevitables algunas unidades defectuosas puesto que habrá una cierta proporción de ellas, estadística o probabilísticamente, que pase la inspección (ver la sección 6.9). El plan de muestreo tiene que estar diseñado estadísticamente y escrito en el contrato con el cliente. Hoy día no se utiliza mucho la inspección por muestreo en Japón puesto que los niveles de la fracción mínima de unidades defectuosas que se pueden garantizar con la inspección por muestreo son inaceptablemente elevados.
- (g) Porque se expiden deliberadamente productos defectuosos. Tales acciones son, claro está, totalmente bochornosas.

## **(2) La cuestión del tiempo de vida<sup>5</sup> del producto**

- (a) Primero de todo, ¿qué es el tiempo de vida de un producto y qué sucede cuando un producto llega al final de su vida útil? Se dice a menudo que la vida de un producto ha terminado cuando se rompe y ya no se puede usar más, pero esto es erróneo. Un producto alcanza el final de su vida útil cuando ya no puede rendir toda su potencialidad; en el caso de una máquina o de un instrumento de medida, por ejemplo, esto significa cuando ya no puede ejercer su capacidad total de proceso o funcionar con la precisión garantizada. Esta confusión con la definición significa que tenemos que empezar por aclarar la definición del tiempo de vida para cada uno de nuestros productos, sin olvidarnos de implicar a nuestros clientes en la discusión.
- (b) Los productos tienen que tener una vida garantizada. En el pasado había tendencia a adoptar la postura irresponsable de que un producto era bastante bueno si funcionaba correctamente en el momento de su expedición o si el cliente no observaba nada mal en el momento de la compra. Sin embargo, éste es un camino seguro para perder la confianza de los clientes -una confianza que tarda diez años en construirse pero que se puede

---

<sup>5</sup>

"Lifetime" en inglés. "Glossary of terms used in the management of quality". EUROPEAN ORGANIZATION FOR QUALITY, sixth edition, junio 1989, p. 743. (*N. de los T.*)

perder en una noche. Este problema se trata ampliamente con el pretexto de la fiabilidad y formando parte integrante del control de calidad. Es especialmente importante con los artículos caros y con los bienes durables.

El número de años para el que se garantiza que cada producto desempeñará sus diversas características de comportamiento debe aclararse durante la etapa del diseño de la calidad por ser parte de la política de la empresa.

- (c) Se tienen que especificar los métodos de almacenamiento, etc. Cuando se define la vida de un producto es necesario especificar los métodos de almacenamiento, los de inspección y mantenimiento, los de uso, los del suministro de piezas, los del servicio post-venta, etc. Éstos deben estar redactados de manera sencilla y comprensible en el manual de operación del producto. Es responsabilidad del fabricante, especialmente con las máquinas e instrumentos de medida, proporcionar los detalles de inspección y mantenimiento (i.e., los métodos del mantenimiento preventivo) equivalentes a las normas de control de equipos. Cuando los usuarios del producto sean aficionados se tiene que crear una organización de servicios con estaciones de servicio y técnicos de servicio para que se pueda realizar fácilmente la inspección y el mantenimiento periódicos. Los artículos cuya calidad pueda deteriorarse fácilmente durante la distribución, i.e., durante el transporte, en los almacenes o en los mayoristas o minoristas, requieren un control de calidad del empaquetado y la provisión de métodos e instalaciones para el almacenamiento. Además, la garantía de calidad es imposible sin un suministro a largo plazo de recambios.
- (d) La variación en el tiempo de vida tiene que ser pequeña. No es suficiente con que un producto tenga una vida larga sin más; de hecho, es más importante minimizar la variación del tiempo de vida, especialmente con los productos que avanzan rápidamente tales como los televisores. Por ejemplo, está claro que las personas organizarían un jaleo si los tubos de sus televisores duraran solamente un mes, pero no tiene mucho sentido darles una duración de cien años. Va más con el interés del cliente que éste pueda comprar un televisor a un precio razonable y con una duración de cinco a diez años que tener que pagar un riñón por un aparato que durará un siglo.

A veces el tiempo de vida y el comportamiento también están inversamente relacionados. Por ejemplo, bajo ciertas condiciones, si se hace que una bombilla brille más, se puede reducir su vida, mientras que si se hace más tenue, puede alargarla. El equilibrio entre la duración y el comportamiento también se tiene que decidir, como parte de la política y consultando con el cliente.

También puede haber una variación amplia entre los tiempos de vida de productos individuales. Por ejemplo, un cojinete puede desgastarse a los tres meses mientras que otro del mismo tipo puede durar todo un año. Cuando hay una variación tan grande el usuario no sabe cuándo sustituir el producto y está incómodo y desconfiado porque es imposible adivinar cuándo es probable que falle. Las cosas serían mucho más sencillas para el usuario si se supiera que todos los cojinetes fallarán después de unos 200 10 días, puesto que entonces sería suficiente sustituirlos todos el día 190. En otras palabras, todo producto tiene que tener un tiempo de vida adecuado que no debe variar mucho.

- (e) Se tiene que llegar a un equilibrio entre los tiempos de vida de los diferentes componentes. En los productos que consisten en montajes de diversas piezas surge la cuestión del equilibrio y la variación entre los tiempos de vida de las diferentes piezas y las características del comportamiento. Por ejemplo, puede constituir una cualidad superflua el que ciertas piezas tengan tiempos de vida más largos que los de una determinada pieza crítica. Una nevera no hará de nevera si se rompen las bisagras de su puerta o pierde el aislamiento aunque su mecanismo refrigerador todavía funcione. Claro está que tiene que haber recambios disponibles para las piezas de vida corta, tal como se explicó más arriba.

### **(3) Acciones que se han de acometer cuando se entrega una unidad defectuosa a un cliente**

Como se ha explicado antes, los productos defectuosos aparecen en varias etapas del proceso de fabricación y venta, pero aquí me gustaría hablar de la acción que hay que acometer, desde el punto de vista de la garantía de calidad, cuando un cliente descubre un producto defectuoso. Esto es lo mismo que el procesado de las reclamaciones (ver las secciones 1.4.1 y 6.14). Como se ilustra en la Figura 4.2, está claro que tenemos que descubrir las insatisfacciones y quejas latentes así como hacer frente a las manifiestas.

- (a) Rapidez y sinceridad. Sea lo que sea lo bueno y lo malo de la situación, el cliente se siente insatisfecho, y lo más importante es adoptar una actitud consciente y analizar la reclamación sin demora.
- (b) Reposición inmediata. Es importante sustituir inmediatamente el producto defectuoso por uno bueno, pero es erróneo pensar que la garantía de calidad termina aquí. Se tiene que identificar la causa del defecto y se tienen que llevar a cabo las modificaciones para prevenir su reaparición descritas en el punto (i) más adelante, para asegurarse de que no se vuelve a entregar a los clientes la misma clase de producto defectuoso.



- (c) Pago de una compensación, si está especificado en el contrato. En Japón los contratos no contienen casi nunca cláusulas de penalización que especifiquen lo que sucedería si se incumple el contrato. Se tienen que hacer esfuerzos por hacer que los contratos sean más claros y más racionales.
- (d) Periodo gratuito de reparación. Puesto que, naturalmente, los costes de la reparación gratuita están incluidos en el precio del producto, es necesario revisar si se debe utilizar ese dinero para que, en primer lugar, sea menos probable que se estropee el producto, o hacer que el producto tenga una calidad ligeramente inferior y que se repare fácilmente.  
Según el producto, puede ser ventajosa, desde el punto de vista de los costes, la adquisición de tecnología de reparación y el servicio al cliente para sustituir submontajes completos o los productos cuando fallan y ocasionan reparaciones en masa en vez de reparar los productos uno a uno. Esto ha alcanzado mucha importancia con la reciente y extendida adopción de piezas electrónicas. Otra posibilidad podría ser eliminar el periodo de reparaciones gratuitas y cobrar todos los servicios post-venta y vender el producto a un precio más bajo.
- (e) Provisión de la asistencia técnica. Con muchos productos, especialmente los de consumo durables actuales de larga vida, se tiene que proveer una red de asistencia técnica para atender a los productos cuyo comportamiento se haya deteriorado o que se hayan estropeado después del periodo de reparaciones gratuitas, para llevar a cabo las comprobaciones del mantenimiento preventivo y para suministrar piezas de recambio.
- (f) Relaciones públicas y provisión de manuales del usuario que establecen las normas de uso. Una causa corriente de que los productos se estropeen o no den todo su rendimiento es el mal uso. Para evitarlo hace falta que las empresas proporcionen manuales del usuario que detallen los métodos de uso que sean leídos y seguidos; también hace falta que el diseño de la calidad tenga en cuenta el posible mal uso. Esto también está muy relacionado con la responsabilidad civil por el producto explicada en la sección 6.6.
- (g) Preparación de las normas de inspección periódica para el mantenimiento preventivo. Con frecuencia los productos no se suministran con ellas y, a veces, aun cuando se proporcionen, el intervalo de inspección es demasiado corto, bien porque falta confianza en el producto, el mantenimiento es demasiado complicado y demasiado difícil de llevar a cabo, o se necesitan habilidades especiales para dar el servicio y se dispone de demasiados pocos talleres de asistencia técnica o de personal bien entrenado. Un problema concreto en Japón es que, aunque existan tales normas, las personas tienen la mala costumbre de no seguir las y suelen esperar a que un producto se estropee antes de hacer nada al respecto. Aunque

pueda haber problemas porque las normas de mantenimiento sean demasiado detalladas y los costes de mantenimiento demasiado elevados, hay que hacer esfuerzos en relaciones públicas para advertir del hecho de que el mantenimiento periódico a la larga beneficia al consumidor. En el pasado le ha costado arrancar a este tipo de esfuerzo en las relaciones públicas.

La posibilidad de dar servicio a los productos debe evaluarse durante las etapas de diseño y fabricación del prototipo, e introducir modificaciones si se descubren problemas. Cuando no se puede convencer a los usuarios de que realicen el mantenimiento necesario a pesar de todos estos esfuerzos, o bien tienen que diseñarse sus productos para que la inspección y el mantenimiento sean sencillos o innecesarios, o bien el fabricante tiene que adoptar medidas activas para enviar a sus propios técnicos a que den el servicio a sus productos.

- (h) Suministro de repuestos a largo plazo. La vida de un producto varía considerablemente según cómo se use y si está bien mantenido; pero el asegurarse de que se dispone de repuestos durante un periodo de tiempo relativamente largo es una parte importante de la garantía de calidad. Una empresa que no suministre recambios para las piezas desgastadas o rotas de los modelos lanzados el año anterior es un ejemplo típico de organización que no practica la garantía de calidad. Tal como se mencionó en la sección 6.1, se tiene que adoptar una política de que haya un suministro de piezas durante toda la vida. Sin embargo, si no se tiene cuidado, la cantidad de capital e interés retenido en las piezas en stock puede hincharse hasta unas proporciones enormes y también pueden inflarse los gastos administrativos. Cuando se lanzan nuevos productos se tiene que dar una debida consideración a la normalización de las piezas, los costes y la prestación de servicios.
- (i) Medidas para prevenir la reaparición de reclamaciones. Éstas son exactamente las mismas que las medidas para la prevención de la reaparición de problemas explicadas en la sección 1.5.3. Querría volver a hacer hincapié aquí en que el enfoque antiguo de no hacer más que sustituir un producto defectuoso por uno bueno, repararlo gratis o comprobarlo y arreglarlo en un taller de asistencia técnica no hace nada por mejorar la garantía de calidad. El punto crucial de la cuestión es si la información obtenida de estas acciones es retroalimentada o no a los lugares que la necesitan. Por excelentes que sean las reglamentaciones sobre el tratamiento de las reclamaciones de una empresa, se quedarán en agua de borrajas a menos que este tipo de información esté adecuadamente ordenada y se informe de ella al lugar necesario en el momento necesario, y se acometan acciones para la prevención de la reaparición de los problemas. La información

recogida por los talleres de asistencia técnica y de reparaciones, e.g., datos sobre la duración de las piezas y los modos de fallo, constituye una valiosa información para mejorar la fiabilidad. Claro está que esta información tiene que someterse al análisis de Pareto, y la acción para prevenir la reaparición de los problemas tiene que ser llevada a cabo hasta llegar a una conclusión positiva.

## 6.5 Fiabilidad

Las Normas Industriales Japonesas definen dos términos que significan fiabilidad: "shinraisei" y "shinraido". La primera es: "La capacidad de un artículo para realizar una función determinada bajo unas condiciones definidas y durante un periodo de tiempo definido", mientras que la segunda es: "La probabilidad de que un artículo realice una función determinada bajo unas condiciones definidas y durante un periodo de tiempo definido". Sin embargo, desde el punto de vista del sentido común, la fiabilidad es una cuestión de si un producto se puede comprar con confianza y ser usado con confianza durante un periodo de tiempo largo.

La fiabilidad es así una característica de calidad y alcanzarla es una actividad de garantía de calidad. En esta sección querría explicar la fiabilidad como si fuera un aspecto de la garantía de calidad.

La diferencia entre la fiabilidad como característica de calidad y las características de calidad normales es que hace hincapié en las diferentes condiciones de uso y en el factor tiempo, y que hace falta mucho tiempo y dinero para medirla. A menudo también es difícil o imposible de ensayar.

Esto significa que se tienen que llevar a cabo ensayos de fiabilidad bien planificados en todos los pasos del desarrollo de un nuevo producto, desde la etapa de diseño en adelante, para las piezas, los submontajes y el producto completo. Igualmente, mientras se están controlando satisfactoriamente los procesos y llevándolos al estado de control, la información del mercado debe ser retroalimentada con habilidad y acometerse acciones de prevención contra las causas próximas y básicas de la no fiabilidad. Cuando Shewhart empezó a practicar el control de calidad estadístico dijo que la posibilidad de predicción y la fiabilidad están determinadas por el control y que el estado controlado estadísticamente es básico para la fiabilidad.

Históricamente la fiabilidad se convirtió en un problema por las cuatro razones siguientes:

- (1) Los productos (por ejemplo, los cables telefónicos) empezaron a necesitar tiempos de vida más largos.
- (2) Las condiciones de uso se hicieron más duras.

- (3) Los tiempos de desarrollo de nuevos productos se hicieron más cortos.
- (4) Aumentó la cantidad de productos que utiliza números muy elevados de piezas. Los productos de más de un millón de piezas tales como los cohetes espaciales, los bastidores de ordenadores y las plantas químicas complejas que tienen sistemas de control automático intrincados no funcionarán correctamente si tienen una proporción de piezas defectuosas de incluso una parte por millón. Las proporciones de defectos tienen que mantenerse incluso por debajo de este bajísimo nivel.

Si un cohete tiene 1,300.000 piezas y la proporción de piezas defectuosas es de una parte por millón, la probabilidad de que despegue con éxito si el fallo de una sola pieza hiciera que se estrellara es:

$$\left(1 - \frac{1}{1,000,000}\right)^{1,300,000} \approx 0,27$$

La probabilidad de éxito es, por tanto, del 27%; i.e., de media, sólo 27 de 100 cohetes despegarán con éxito. Un ejemplo más sencillo podría ser el de un producto con 100 piezas y una proporción de piezas defectuosas del 1%. En este caso la probabilidad de éxito es:

$$\left(1 - \frac{1}{100}\right)^{100} \approx 0,37$$

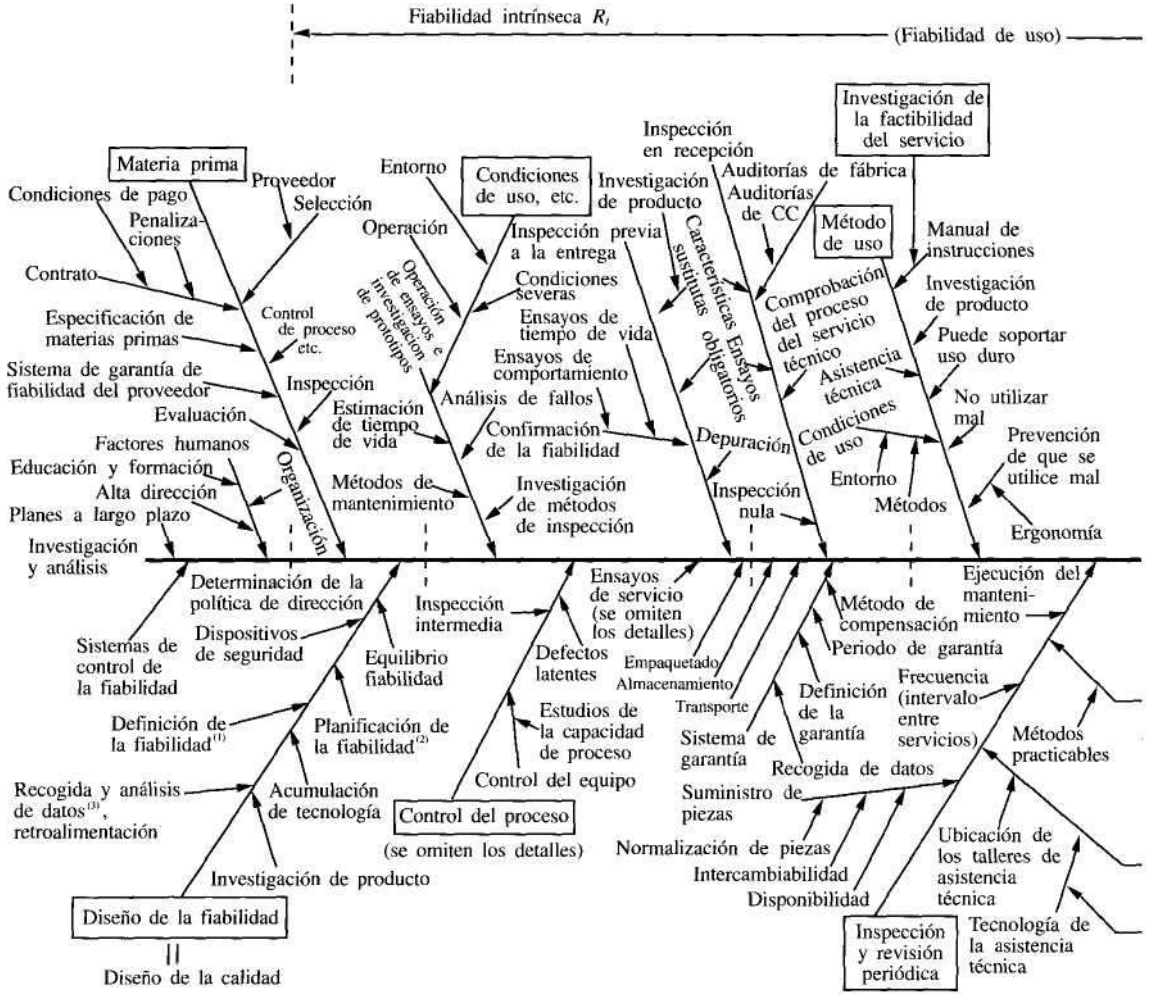
i.e., del 37%. Con sólo diez piezas, la probabilidad de éxito será:

$$\left(1 - \frac{1}{10}\right)^{100} \approx 0,904$$

o del 90% aproximadamente. Como indican estos ejemplos, es imposible hacer mecanismos complejos muy fiables con piezas o diseños convencionales, lo que significa que tenemos que pensar en reducir las proporciones de piezas defectuosas a niveles bajísimos o en introducir la redundancia en el diseño (i.e., incluir circuitos de reserva, piezas en espera, etc.). Esto ha ocasionado la competencia entre diferentes países y empresas para aumentar la fiabilidad. Los problemas de la fiabilidad avanzada deben estudiarse en trabajos especializados. Aquí me gustaría considerar la fiabilidad desde el punto de vista básico y del sentido común.

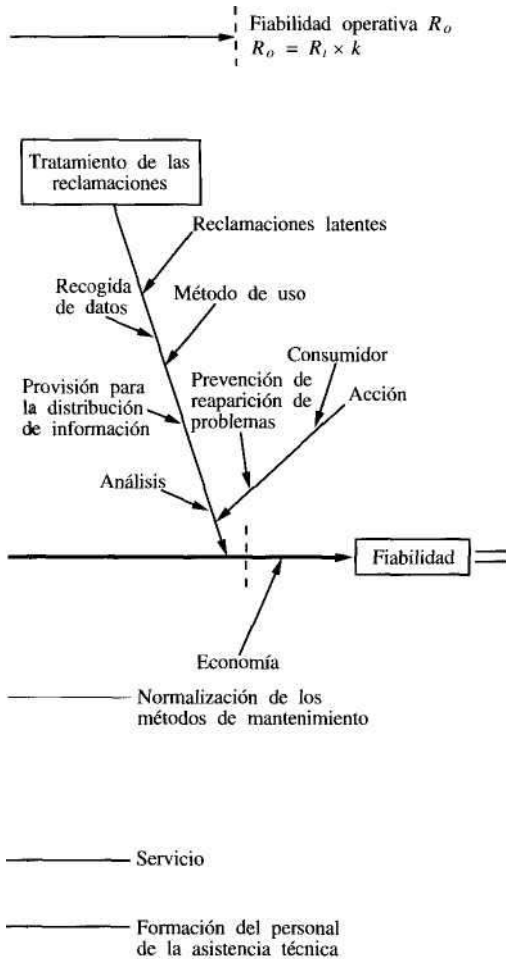
Desde el punto de vista del consumidor o usuario, podemos empezar por dividir la fiabilidad en los tres tipos siguientes:

- (1) Fiabilidad antes de la compra: esta es la fiabilidad de una empresa determinada, i.e., si los clientes consideran que sus productos son siempre buenos y creen que los pueden comprar con confianza.



- (1) Para cada elemento de la fiabilidad en el extremo derecho de las flechas.
- (2) Planes individuales para la garantía de la fiabilidad relativa a (1).
- (3) Recogida y análisis de datos relativos a los consumidores y a (1) y (2). Esto también sirve para las flechas principales.

**Figura 6.3: Diagrama de causa y efecto para la fiabilidad**



- Alta fiabilidad, fiabilidad comúnmente esperada.
- Fiabilidad de piezas y sistemas.
- Fiabilidad de productos, precios, equipos, la propia empresa, el país de origen de la empresa, etc.
- Fiabilidad antes, en el momento de, y después de la compra.
- La calidad del producto es consistente; los productos se pueden comprar y usar con confianza.
- Sentimiento de confianza.
- Ausencia de variación en los productos.
- Comprar un producto no es jugar a las apuestas.
- La fiabilidad es predecible.
- El diseño es sencillo.
- Vida del producto:
  - 1) Vida adecuada; no hay cambios en el comportamiento o la capacidad del proceso, no hay cambios en la calidad. Definición de la vida del producto.
  - 2) Pequeña variación en la vida del producto.
  - 3) Duraciones equilibradas.
- Fración de unidades defectuosas pequeñísima.
- Inspección:
  - 1) Inspección del 100%; inspección automatizada.
  - 2) Ensayos bajo condiciones severas.
  - 3) Ensayos acelerados.
- Fallos:
  - 1) Cero fallos.
  - 2) Los fallos son fáciles de detectar y de corregir.
  - 3) Costes de reparación bajos.
  - 4) Criterios claros de enjuiciamiento; educación y formación.
- Cero anomalías y artículos anómalos.
- No hay interacciones, se pueden utilizar en cualquier parte.
- Redundancia:
  - 1) Circuitos y dispositivos en espera.
  - 2) Recambios.
- Factores de seguridad, coeficientes y tolerancias.
- Funciones protectoras y dispositivos de seguridad.
- Método de uso:
  - 1) Soporta hasta un uso duro.
  - 2) Diseño a prueba de fallos.
  - 3) Manual de instrucciones, empaquetado, no utilizar de manera irrazonable.
  - 4) Técnicos de ventas e instructores.
- Sistema de garantía.
- Inspección y revisión periódica, servicio post-venta:
  - 1) Mantenimiento gratuito.
  - 2) Normalización, educación y formación en métodos de mantenimiento (inspección y revisión periódica).
  - 3) Intervalo largo entre mantenimientos, mantenimiento sencillo.
  - 4) Mantenimiento realizado conforme a las normas.
  - 5) Costes bajos de inspección y mantenimiento.
- Suministro de piezas:
  - 1) Piezas fácilmente disponibles.
  - 2) Piezas disponibles durante un periodo de tiempo ilimitado (aun cuando el producto se haga obsoleto).
  - 3) Normalización de piezas.
- Empaquetado, almacenamiento, transporte.
- Avances técnicos (equilibrio entre la fiabilidad y la obsolescencia).
- Pocos cambios en modelos.
- Estabilidad de precios.
- Credibilidad de la empresa:
  - 1) La empresa es solvente.
  - 2) Publicidad no exagerada.
  - 3) Pronunciamientos verbales del *staff* de ventas.

- (2) Fiabilidad en el momento de la compra: si un producto es bueno en el momento de su compra, y si sus características son inicialmente satisfactorias.
- (3) Fiabilidad después de la compra: si un producto se puede utilizar durante mucho tiempo con tranquilidad.

Los diversos factores que crean la fiabilidad están ilustrados en el diagrama de causa y efecto de la Figura 6.3.

Por supuesto que el análisis estadístico de los datos es importante, pero es bien evidente que no se puede obtener una fiabilidad elevada sin combinar estrechamente la tecnología específica con el control de calidad, mejorar los materiales y las piezas individuales y reducir sus proporciones de defectos a casi cero, y asegurarse de que los procesos están en el estado controlado.

### Terminología de la fiabilidad

Aquí me gustaría explicar brevemente algunos de los términos utilizados en fiabilidad (ver JIS Z 8115-1981).

*Fiabilidad intrínseca*,  $R_i$ , es la fiabilidad incorporada a un elemento a través del diseño, la fabricación, los ensayos y otros procesos. Cuantitativamente es el valor de referencia o predicho de la fiabilidad fijado en la etapa de diseño, o el valor de la característica de la fiabilidad obtenido en los resultados de los ensayos de fiabilidad (ver la Figura 6.3).

*Fiabilidad operativa*,  $R_o = R_i \times k$ , es la fiabilidad de un artículo en operación o en uso,  $k$  es un coeficiente que depende de las condiciones de uso y mantenimiento. Normalmente,  $k < 1$  (ver la Figura 6.3).

*Fiabilidad de uso* es un término que no está incluido en las Normas Industriales Japonesas, y es la parte de la fiabilidad intrínseca incorporada a un artículo por medio de los ensayos, etc. Es parte de la fiabilidad intrínseca en sentido amplio.

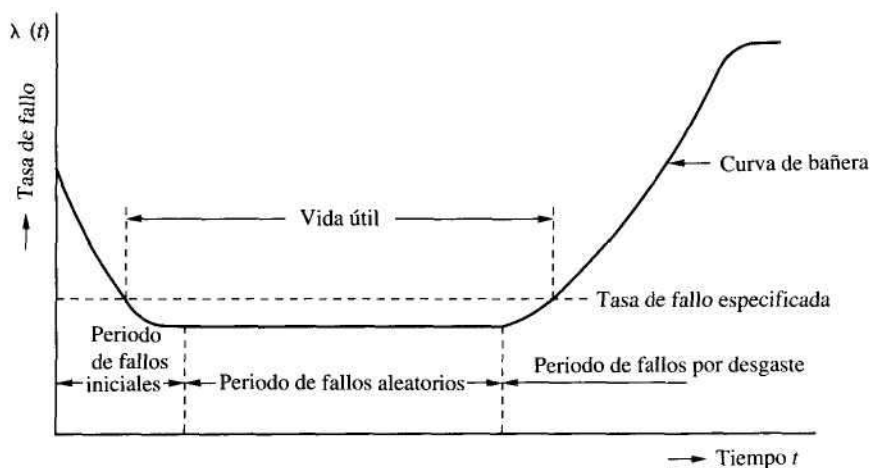
*Tiempo medio entre fallos*, *TMEF*, es el tiempo medio operativo entre fallos sucesivos.

*Fallo inicial o primero* es un fallo que sucede en una etapa relativamente precoz, después del primer uso, como consecuencia de fallos en el diseño o en la fabricación, o de la inadecuación al entorno en el que se usa el producto.

*Fallo aleatorio o por azar* es la rotura esporádica que sucede entre la etapa de los fallos iniciales y la de los fallos por desgaste.

*Fallo por desgaste* es la rotura que aumenta con el tiempo, como consecuencia de la fatiga, el desgaste o el deterioro.

*Vida útil* es el periodo durante el cual se puede utilizar convenientemente un producto antes de que la tasa de fallos alcance un nivel inaceptable y ya no sea posible su funcionamiento económico.



**Figura 6.4: Los fallos y su terminología**

*Fallo gradual* es el fallo en el cual las características se deterioran gradualmente con el tiempo y que puede ser predicho por medio de la inspección o la vigilancia.

*Fallo súbito* es la rotura que sucede inesperadamente y no se puede predecir por medio de la inspección o la observación.

*Mantenibilidad* es la probabilidad de mantenimiento de un artículo, que se termina bajo condiciones especificadas y durante cierto periodo de tiempo.

*Fallo* es la pérdida de capacidad de un artículo para realizar una función determinada.

*Tasa de fallo* es la frecuencia de fallos de un artículo durante un periodo de tiempo continuo en el que el artículo ha funcionado normalmente hasta cierto instante.

*Redundancia* es la provisión de elementos estructurales adicionales o medios para conseguir una función determinada, para asegurarse de que el sistema en conjunto no falla aunque falle uno de los componentes.

*Redundancia paralela* es la redundancia en la cual todos los elementos estructurales están conectados funcionalmente en paralelo.

*Redundancia de reserva* es la redundancia en la cual los elementos constituyentes redundantes se mantienen a la espera, hasta que se conecten cuando el elemento constituyente primario falle.

La Figura 6.4 muestra la relación entre los fallos iniciales, los fallos aleatorios y los fallos por desgaste. Debido a su forma, esta curva se llama curva de bañera. También se parece a las etapas de la vida humana: los fallos iniciales representan la mortalidad infantil como consecuencia de una condición congénita o la falta de resistencia; los fallos aleatorios representan la muerte durante la adolescencia o la primera etapa de la madurez como consecuencia de los



accidentes de tráfico, las enfermedades infecciosas, etc.; mientras que los fallos por desgaste representan la muerte debida a la vejez.

## 6.6 La Garantía de Calidad y la responsabilidad social (responsabilidad civil por el producto, y daños ambientales ocasionados por el producto)

En relación con la garantía de calidad es necesario considerar la seguridad de los consumidores (la ausencia de riesgo de que un producto ocasione lesiones, enfermedad, muerte, incendio, explosión, etc.), y los trastornos ambientales (gases de escape, ruidos, vibraciones, radiación electromagnética, materiales de desecho, etc.) ocasionados por los productos. Es responsabilidad social de las empresas poner en práctica un programa de garantía de calidad fiable, pero también deben preparar planes de contingencia en caso de un posible litigio. Estas cuestiones se tienen que tratar con muchísimo cuidado, ya que conciernen no sólo a las empresas individuales sino también a industrias completas y al público en general. Esto significa que hay que volver a respetar la humanidad como punto de partida y a garantizar la calidad desde el punto de vista de sus efectos sobre la sociedad.

Puesto que muchos de los problemas de los daños ambientales y los trastornos ocasionados por los productos son cuestiones de sentido común, no se tratarán aquí.

### (1) ¿Qué es la responsabilidad civil por el producto?

Me gustaría explicar aquí brevemente la responsabilidad civil por el producto (RCP), puesto que Japón es una sociedad en la que, tradicionalmente, los problemas se han resuelto por medio de discusiones bilaterales y el concepto de responsabilidad civil por el producto no es familiar. La responsabilidad civil por el producto implica consideraciones legales, y las empresas japonesas, especialmente las que exportan a los Estados Unidos y a otros países, deben colocar a expertos en RCP en sus departamentos de garantía de calidad o jurídicos, con objeto de estudiar la cuestión en profundidad e idear estrategias adecuadas. Remito a los lectores a los muchos trabajos especializados publicados sobre este tema<sup>6</sup>.

6

Recomiendo los tres libros siguientes, como introducción a este tema: *Purodakuto Raiabiritü - Seihin Sekinin Mondai o Saguru* (Acometida del Problema de la Fiabilidad del Producto), ed. Kaoru Ishikawa, JUSE Press, 1973; *Seihin Sekinin Jidai no Hinshitsu Hyoji* (Un Buen Sistema para Designar la Calidad en la Era de la RP), ed. Shigeru Mizuno, JUSE Press, 1974; *Hinshitsu Hoshō Gaidobukku* (Guía de Garantía de Calidad), ed. Tetsuichi Asaka y Kaoru Ishikawa, c. 18, "Hinshitsu to Shakaiteki Sekinin" (La Calidad y la Responsabilidad Social), JUSE Press, 1974.

La responsabilidad civil por el producto se refiere a la responsabilidad del vendedor de reparar las lesiones corporales o los daños a la propiedad sufridos por el consumidor final de un producto defectuoso vendido. Como ya he mencionado, se dice que Japón es una sociedad en la que los problemas se resuelven más con discusiones personales que con litigios, y los juicios son relativamente raros. Sin embargo, ha habido incidentes tales como los del asunto de la talidomida, el asunto Kanemi y el del "hisomiriku jiken" [Nota del traductor al inglés: el asunto del Kanemi fue un incidente, en 1968, en el cual murieron 126 personas después de ingerir aceite de cocina contaminado con PCB; el último fue otro incidente de envenenamiento, en 1955, en el cual murieron 126 bebés y más de otros mil fueron afectados por beber leche en polvo contaminada con arsénico], así como problemas con coches defectuosos, envenenamientos alimentarios, etc.

Se dice que Norteamérica es una sociedad pleitista, consciente de los contratos, en la cual las personas están muy dispuestas a llevar sus litigios ante los tribunales. Los pleitos de responsabilidad civil por el producto han aumentado espectacularmente, especialmente a partir de la segunda mitad de 1961, y el total ha alcanzado ya más de un millón. La cuantía de las indemnizaciones también ha aumentado, llegando algunas de ellas a los siete millones de dólares. Se dice que una razón de ello es que Norteamérica tiene muchos abogados que empezaron a buscar trabajo activamente con la RCP alrededor de 1960, cuando se redujo la necesidad de sus servicios en los casos de accidentes de automóviles. Otra razón es que el trabajo con la RCP es un buen negocio para ellos, ya que pueden recibir entre el 30% y el 50% de la recompensa en un juicio a su favor. Los fabricantes y los distribuidores japoneses tienen, por tanto, que mirar con ojos nuevos sus estrategias de prevención de la responsabilidad civil por sus productos, no sólo cuando exportan a Norteamérica y otros países, sino también por ser una cuestión de responsabilidad social. Para conseguirlo, tienen que dar los tres pasos principales siguientes:

- (1) No expedir productos (incluyendo materiales publicados), o emitir publicidad, o articular promesas de comportamiento que puedan ocasionar reclamaciones por RCP.
- (2) Para protegerse contra posibles reclamaciones, recoger los datos que demuestren que los productos no son defectuosos.
- (3) Contratar un seguro de garantía de RCP en previsión de que suceda lo peor. Recientemente, sin embargo, las primas para este tipo de seguro se han ido por las nubes en los Estados Unidos, y se han puesto en la lista negra a algunas empresas, médicos y otros, en especial las líneas de trabajo de alto riesgo, y se les ha negado el seguro. Algunos médicos han renunciado incluso a asistir en los partos o a realizar operaciones debido a las enormes sumas que se conceden por daños.

Sin ponerme demasiado técnico, me gustaría empezar por describir algunos breves ejemplos de reclamaciones de responsabilidad civil por el producto que han sucedido en los Estados Unidos.

*Primer caso:* las tiendas norteamericanas "hágalo-usted-mismo" venden muchas escaleras para pintar en casa. Un fabricante pensó que sería más fácil hacer el trabajo de pintura si sus escaleras estuvieran provistas de una plataforma sobre la que se pudiera apoyar el bote de pintura. Sin embargo, una persona apoyó los pies en esta plataforma, que se dobló bajo su peso y la hizo caer al suelo, ocasionándole lesiones graves. Puso un pleito contra la empresa, sosteniendo que la escalera no llevaba ninguna advertencia de que era peligroso ponerse sobre la plataforma. Los tribunales fallaron a favor del demandante, y se condenó al fabricante de las escaleras a pagar los daños porque no había provisto una nota adecuada de aviso.

*Segundo caso:* un cliente provocó un incendio y se quemó su casa al llenar una estufa con gasolina en vez de kerosene. Puso un pleito contra el fabricante, sosteniendo que la estufa no llevaba instrucciones que advirtiera a la gente de no utilizar gasolina. El fabricante perdió el caso porque, aunque había una nota en el tapón del depósito de fuel de la estufa instruyendo a los usuarios a llenar el depósito con kerosene, el aviso no decía que no se debía utilizar gasolina.

*Tercer caso:* hace unos años, el vidrio endurecido utilizado en el parabrisas delantero de cierto modelo de coche se cambió por vidrio laminado de seguridad. Un vendedor vendió uno de estos coches a un cliente afirmando que el nuevo parabrisas era "totalmente seguro". Sin embargo, el propietario del coche se quedó ciego cuando se cayó la pala de un camión que iba delante y aplastó el parabrisas del coche. El propietario puso un pleito contra el fabricante porque el vendedor había dicho que el parabrisas era totalmente seguro. El fabricante perdió el caso. Los vendedores jamás deben utilizar expresiones como "totalmente seguro", y las empresas deberían recoger listas de tales expresiones tabú.

*Cuarto caso:* un fabricante de motocicletas puso un cartel publicitario que mostraba a una hermosa muchacha, que llevaba unos pantalones con vuelo, montada en una de sus motocicletas. Resultó que los pantalones con vuelo como aquel eran peligrosos para ir en moto; la firma tuvo mucho trabajo para retirar todos los carteles. El uso de semejante cartel constituiría una prueba de que la empresa decía que era seguro montar con la ropa mostrada. Se tiene que tener mucho cuidado con el contenido de los materiales publicitarios.

*Quinto caso:* un estudiante tuvo un pequeño accidente cuando se dirigía en coche a la ciudad universitaria en el que hubo involucrado otro vehículo. Su coche se hizo poco daño y nadie fue herido. Al llegar a la universidad, se fue a ver inmediatamente a un catedrático especializado en responsabilidad civil por el producto y le preguntó si podría reclamar una compensación. El

catedrático le dijo que sólo podía reclamar el coste de las reparaciones, pero el estudiante, aparentemente, sugirió que podría ir a ver a su médico, conseguir una nota que dijera que había sufrido un golpe y reclamar la compensación por el sufrimiento mental y la pérdida del salario de diez días de trabajo parcial. A veces se pueden tramar así reclamaciones fraudulentas de RCP.

*Sexto caso:* un trabajador fue lesionado por una máquina hecha por cierto fabricante. Esta máquina no tenía ningún dispositivo de seguridad para prevenir que sucediera ese tipo concreto de accidente, mientras que las máquinas de otros fabricantes, sí. Se puso una reclamación contra el fabricante basada en que no se había puesto ningún dispositivo de seguridad, y el veredicto fue en contra del demandado. La sofisticación de los dispositivos de seguridad que se deben incluir en las máquinas se decide según el nivel de tecnología y la concienciación social dominante en ese momento. Esto es, claro está, una cuestión de grado, puesto que si se tratara de hacer un coche perfectamente seguro, por ejemplo, resultaría un producto que costaría millones de dólares. El profesor norteamericano J. M. Juran dijo una vez con enfado que poner en los coches almohadas antichoque y muchos dispositivos de aviso como consecuencia de las campañas de Ralph Nader y otros significaría simplemente que los consumidores tendrían que comprar un producto más caro, y que sería mucho más eficaz hacer que fuera obligatorio el uso de los cinturones de seguridad y prohibir la bebida mientras se conduce.

Estos seis casos probablemente dan una idea general de los problemas implicados en la RCP. Incluso en los Estados Unidos están surgiendo movimientos para la revaluación de los litigios por RCP.

## **(2) Terminología legal relativa a la RCP**

La terminología legal es siempre algo problemática, pero aquí me gustaría dar unas breves explicaciones de algunos de los términos utilizados en el campo de la RLP.

*Negligencia* es no realizar el cuidado considerado normalmente necesario en una situación particular; en un proceso por negligencia, el demandante tenía que demostrar que el demandado había sido negligente. Sin embargo, posteriormente se adoptó el principio de responsabilidad por producto defectuoso en los litigios de RCP, y el peso de la prueba caía en que el fabricante demostrara que no había habido negligencia y que el producto no había sido defectuoso. Éste fue un avance tremendamente significativo para la prevención de la responsabilidad civil por el producto.

La *garantía post-venta* puede ser explícita o implícita. La garantía explícita o actual surge cuando el vendedor de un producto hace algunas declaraciones sobre el producto. Existe una garantía explícita si tales afirmaciones hacen que el comprador compre el producto. Los ejemplos incluyen el garantizar que un producto es "totalmente seguro", "completamente eficaz", "seguro",

etc. La garantía implícita es la garantía de que un producto de una marca determinada es adecuado para su fin habitual cuando se vende en el mercado abierto. Este concepto de garantía se hizo común en los Estados Unidos en los años treinta.

*Responsabilidad civil causal*<sup>7</sup> es el término utilizado para expresar el concepto de que los fabricantes tienen una responsabilidad que tiende a la responsabilidad por producto defectuoso, independientemente de la presencia o ausencia de un contrato. En otras palabras, el demandante en un pleito por RCP sólo tiene que demostrar (1) que la lesión o el daño fue consecuencia del producto; (2) que hay un daño importante asociado al producto; y (3) que el defecto ya existía cuando el producto salió del control del fabricante. Este precedente judicial se estableció en 1944, y luego se estableció el principio de responsabilidad civil causal en 1966, basándose en que los costes de las lesiones resultantes de productos defectuosos deberían ser soportados por los fabricantes que pusieran tales productos en el mercado, en vez de las personas lesionadas, que son impotentes para protegerse a sí mismas. Esto provocó un aumento tremendo de los pleitos de RCP.

Japón tiene varias definiciones legales relacionadas con la RCP, tales como la responsabilidad por agresión (Ley Civil, Artículo 709) y la responsabilidad por garantía (Ley Civil, Artículo 570).

La *prevención de la responsabilidad civil por el producto* expresa el hecho de que, en vista de lo anterior, se tienen que adoptar medidas defensivas. Igual que con el CCT, todo el mundo tiene que ser educado en la importancia de la prevención de la responsabilidad civil por el producto (PRCP), desde los departamentos de planificación y de diseño, pasando por los departamentos de desarrollo, compras, fabricación, garantía de calidad, el departamento de PRCP, y el de ventas y servicios, hasta los subcontratistas y concesionarios. Todo el mundo debe participar en la concepción y puesta en práctica de medidas defensivas, y se deben dar los pasos siguientes:

- (1) Para asegurarse, en primer lugar, de que no surgen problemas de RCP, el fabricante puede realizar las siguientes acciones: investigar detenidamente la seguridad y el posible mal uso de los productos con el fin de eliminar los fallos de diseño. Comprobar que todos los productos son, por lo menos, tan seguros como cualquier producto comparable del mercado. Colocar las piezas que puedan dar lugar, con mucha probabilidad, a reclamaciones de RCP (e.g., las piezas de seguridad de los coches) en una categoría especial, realizar análisis de fiabilidad y fallos, investigar la seguridad de estas piezas durante la vida del producto, y realizar los ensayos adecuados (los problemas de RCP suceden normalmente unos

7

"Strict liability" en inglés; también responsabilidad por producto defectuoso. (*N. de los T.*)

años después del primer lanzamiento del producto). Fabricar los productos haciendo uso de procesos que tengan una capacidad amplia y un control de procesos estricto, e idear medidas a prueba de fallos sólidas. Someter las piezas adquiridas a una calidad estricta y a la garantía de fiabilidad. Suministrar productos que tengan unos avisos fácilmente comprensibles sobre los posibles peligros o malos usos. Comprobar cuidadosamente los manuales de operación, catálogos, manuales de servicio, procedimientos de mantenimiento, carteles publicitarios y otros materiales escritos, fotografías e ilustraciones, desde el punto de vista de la RCP. Indicar claramente cómo usar las medidas de seguridad del producto y los primeros auxilios a adoptar en caso de lesión. Idear métodos para asegurarse de que el usuario no pueda perder las instrucciones de operación o los avisos cuando use el producto. Advertir al *staff* de ventas de que no haga afirmaciones exageradas, y preparar listas de palabras y frases prohibidas. Cuando se suministren materiales escritos respecto al producto en otras lenguas, especialmente en inglés, deben ser comprobados por un abogado cuyo idioma nativo sea el inglés.

- (2) Contratar seguros de RCP.
- (3) Prepararse para los litigios: preparar evidencias que demuestren que los productos carecen de defectos. Investigar métodos para retirar rápidamente los productos defectuosos. Guardar los datos sobre los ensayos de seguridad y fiabilidad realizados durante el desarrollo de los nuevos productos, incluyendo los métodos y los resultados. Asegurarse de que los planos corresponden al producto real. Almacenar los datos sobre el control de procesos por lotes, y preparar las pruebas de que el trabajo se está realizando de acuerdo con las normas de trabajo. Guardar los datos de las inspecciones (de las inspecciones en recepción, las intermedias, las previas a la entrega, y las inspecciones de los concesionarios) para cada lote de producto. A veces, esto significa realizar inspecciones con fines de prevención de la responsabilidad civil por el producto, incluso cuando no sean necesarias para garantizar la calidad. Dedique una cuidadosa atención a recoger otros tipos de datos de garantía de calidad.

Hemos consultado con abogados japoneses sobre el problema de quién debería pagar la compensación de las reclamaciones surgidas por piezas adquiridas o por una inspección inadecuada previa a la entrega por parte de los concesionarios, y la conclusión fue que el fabricante debe aceptar, probablemente, toda la responsabilidad de pagar las compensaciones si se han elaborado los contratos apropiados entre los subcontratistas, el fabricante y sus concesionarios. En tales situaciones el fabricante debe, claro está, contratar un seguro de RCP, y los subcontratistas y concesionarios deben soportar parte del coste de las primas.

## 6.7 ¿Qué es la inspección?

El término "inspección" se utiliza comúnmente, con bastante ligereza, con varios significados, pero en control de calidad la función de inspección está definida de la siguiente manera en las Normas Industriales Japonesas:

La inspección consiste en juzgar si un artículo individual es defectuoso o no, comparando el resultado de un ensayo realizado por un medio u otro con un criterio de calidad, o juzgando si un lote particular es aceptable o rechazable, comparando el resultado de un ensayo con un criterio de aceptabilidad.

Los términos "medida", "ensayo" e "inspección" se confunden a menudo. En control de calidad, los ensayos y las medidas sólo significan medir algo y obtener datos, y se distinguen estrictamente de la inspección. Fuera de Japón la palabra "inspección" se utiliza con varios significados, lo que ha introducido confusión en la práctica del CC.

Como ya debería estar claro, el propósito de la inspección es garantizar la calidad. Sin embargo, como se explicó en la sección 6.3, aunque la inspección es un paso de la garantía de calidad, no es más que una pequeña parte de la función de garantía de calidad. La función de inspección a que nos referimos aquí no es del dominio exclusivo del departamento de inspección, y tampoco el departamento de inspección debería ocuparse solamente de la inspección. En otras palabras, como se explicará con más detalle en la sección 6.12, las cuestiones de lo que es la inspección y lo que el departamento de inspección debe hacer deben considerarse por separado.

Está claro en el principio básico del control de calidad (que la calidad se incorpora al producto en el diseño y el proceso, no a través de la inspección) que no se pueden hacer productos buenos y baratos con la inspección, independientemente de lo estricta que pueda ser. En particular, la inspección es incapaz de producir productos fiables. Los productos defectuosos no se convierten inmediatamente en buenos con la inspección, y tienen que reprocesarse o desecharse, lo que aumenta los costes. Esto no sólo no es rentable para el productor sino que también es caro para el comprador, quien, en última instancia, tiene que soportar estos costes.

Igualmente, incluso si los gráficos de control de un proceso demuestran que está en estado de control, esto no constituye una garantía de la calidad. Es necesaria la inspección previa a la entrega incluso cuando el proceso está en estado controlado si la capacidad del proceso, i.e., el producto, no satisface las especificaciones.

Como se ha explicado más arriba, el control de un proceso y la inspección son funciones diferentes. No tenemos que olvidar jamás que la acción realizada sobre un proceso debe estar basada en las normas de trabajo y en los límites de control, mientras que la acción realizada sobre los productos o los lotes de productos deben depender de los criterios de inspección.

## 6.8 Tipos de inspección

Las inspecciones pueden llevarse a cabo por varios métodos, y clasificarse de varias maneras. Cuando se lleva a cabo la garantía de calidad es necesario revisar ocasionalmente los planes de inspección e investigar qué clase de inspecciones deberían llevarse a cabo en cada etapa del proceso de fabricación.

### (1) Clasificación según el número de artículos inspeccionados

- (a) Inspección del 100% (cribado): en este tipo de inspección se comprueban individualmente todas las unidades de producto para separar las piezas buenas de las malas. Puesto que en este tipo de inspección los errores cometidos por el inspector son generalmente altos, el proceso de inspección tiene que ser analizado y controlado haciendo uso del enfoque del control del proceso, estratificando el producto según prioridades, y volviendo a verificar el trabajo de inspección por medio de un muestreo. A menudo, la inspección del 100% es una inspección sensorial que requiere un control constante de los criterios de inspección.
- (b) Inspección por muestreo: la inspección por muestreo a que nos referimos aquí es la basada en la teoría estadística; no significa simplemente comprobar muestras sacadas al azar como se hacía frecuentemente en el pasado. Es el tipo de inspección en la cual se examina una muestra de producto, con objeto de tomar una decisión sobre la acción que se ha de acometer con un lote completo de producto. Hay varios tipos de inspección por muestreo.
- (c) Inspección de comprobación: este tipo de inspección es para comprobar cambios grandes en los niveles de calidad, con muestras pequeñísimas. En la mayoría de los casos no se realiza para acometer acciones con un producto sino que se utiliza con fines de control, junto con el control del proceso, o para comprobar el trabajo normal de inspección.
- (d) Inspección cero: no hace falta ninguna inspección para un proceso que está en estado controlado y que todos los productos satisfacen las normas de calidad.

### (2) Clasificación según la etapa del flujo del producto

- (a) Inspección en recepción: este tipo de inspección se lleva a cabo para asegurarse de que se compran los materiales conformes con las especificaciones, y para evitar que materiales no conformes entren en el proceso. Sin embargo, es difícil comprar económicamente materiales conformes tan sólo haciendo uso de este tipo de inspección, y los contratos de compra deben ser racionalizados, y los proveedores, cuidadosamente seleccionados, o se deben elegir métodos de inspección que estimulen a los



proveedores a poner en práctica la garantía de calidad y el control de calidad. El enfoque más eficaz consiste en hacer hincapié en el control de calidad del proveedor.

- (b) Inspección intermedia: este es el tipo de inspección llevada a cabo entre procesos, para decidir si un producto o lote puede pasar del proceso anterior al siguiente. También se conoce como "inspección de proceso". La toma de medidas con objeto de suministrar información a un proceso también se conoce a veces como inspección de proceso, pero tales actividades no tienen la verdadera función de la inspección y sería mejor llamarlas "ensayos de proceso" o "medidas de proceso", aunque puedan ser una de las responsabilidades del departamento de inspección.
- (c) Inspección del producto: este tipo de inspección es para decidir si se debe aceptar o rechazar un producto terminado. A menudo, es idéntica a la inspección previa a la entrega, y también se le puede llamar "inspección final". Se combina con la inspección previa a la entrega cuando un producto terminado se expide sin más modificaciones.
- (d) Inspección previa a la entrega: este tipo de inspección se utiliza para decidir si, en el momento del envío, un producto cumple la calidad certificada, si satisfará al cliente, y si se debe enviar o no. Generalmente, es difícil conseguir una garantía de calidad racional solamente con la inspección previa a la entrega; también hace falta un buen control del proceso. Cuando se realiza separadamente de la inspección del producto, la inspección previa a la entrega se centra en los defectos críticos, los defectos graves y las características que pueden sufrir cambios durante el almacenado. Es mejor disponer las cosas para que la inspección por muestreo sea suficiente para esto.
- (e) Inspección durante la entrega: es la inspección llevada a cabo en el momento en que un producto se entrega a un cliente.
- (f) Inspección del producto almacenado: ésta es la inspección llevada a cabo con el producto que ha estado almacenado durante largos periodos de tiempo. Las características a inspeccionar dependerán del tiempo de almacenado.
- (g) Inspección de auditoria: ésta es la inspección para comprobar y diagnosticar si la garantía de calidad y la inspección normal están funcionando normalmente. Generalmente, la lleva a cabo el departamento de garantía de calidad.
- (h) Inspección por terceras partes: ejemplos de éstas incluyen las inspecciones para exportación y otras inspecciones realizadas por el gobierno, y las inspecciones por empresas privadas de inspección, y asociaciones o grupos de consumidores. Este tipo de inspección se lleva a cabo con bienes de consumo generales, bien para la protección de los consumidores o como procedimiento arbitral imparcial para evitar la publicidad exagerada.

da y la competencia desleal. Japón todavía está retrasado respecto a otros países en la introducción de esta clase de sistema.

### **(3) Clasificación según los detalles de la inspección**

- (a) Inspección de autorización/formal: ésta es una inspección para decidir si un prototipo o un nuevo producto entregado por primera vez tiene la capacidad requerida. Este tipo de inspección se utiliza principalmente para inspeccionar la calidad del diseño y la capacidad de proceso.
- (b) Inspección del comportamiento: ésta es una inspección para comprobar si un artículo tendrá el comportamiento requerido.
- (c) Inspección de duración: ésta es una inspección para comprobar si algo puede comportarse según lo requerido durante un periodo largo de tiempo. También podría describirse como inspección de la Habilidad. A menudo las inspecciones de los tipos (b) y (c) no son más que ensayos.
- (d) Inspección severa: ésta es una inspección bajo condiciones severas, y se utiliza principalmente para inspeccionar la fiabilidad.
- (e) Inspección a través de las características sustitutas.
- (f) Inspección analítica (inspección precisa): en las inspecciones para determinar si un producto debiera aceptarse o rechazarse, la inspección se termina tan pronto como se ve que es rechazable una de las muchas características de calidad a inspeccionar; las demás características no se examinan. Los datos de esta clase de inspección no se pueden utilizar para el análisis real de procesos y la mejora. Igualmente, la inspección por muestreo se termina a veces tan pronto como se hayan encontrado suficientes artículos defectuosos para hacer que el lote sea rechazable. Con objeto de que los datos de la inspección sean útiles para el análisis y el control, se tienen que obtener los datos de todas las características de todos los artículos. Este tipo de inspección exhaustiva se llama "inspección analítica". Debido a lo anterior, muchos datos de las inspecciones convencionales tienen el problema de que no se pueden utilizar satisfactoriamente para el análisis y el control. La inspección analítica también es necesaria para ajustar la rigidez de la inspección.

### **(4) Clasificación según el método de enjuiciamiento utilizado**

- (a) La inspección por variables es la inspección en la cual se juzga basándose en las variables.
- (b) La inspección por atributos es la inspección en la cual los artículos del producto se comparan con galgas, muestras estándar, especificaciones, etc., y los productos individuales se juzgan como buenos o malos, o se les asignan diferentes grados.

**(5) Clasificación según que los artículos inspeccionados sean utilizables o no**

- (a) La inspección destructiva es la inspección en la cual la medición o el ensayo destruye el producto. Con este tipo de inspección, claro está, es imposible la inspección del 100%.
- (b) La inspección no destructiva es la inspección en la cual el producto no es destruido por la medición o el ensayo.

**(6) Clasificación según el lugar de la inspección**

- (a) La inspección centralizada es la inspección en la cual se recogen los productos en un punto determinado para su inspección.
- (b) La inspección itinerante es la inspección en la cual los inspectores se desplazan y hacen la inspección en diferentes sitios. Conforme avanza el CC este tipo de control va siendo sustituido gradualmente por la inspección autónoma o la comprobación del proceso.

**(7) Clasificación según que el proveedor se pueda elegir o no libremente**

- (a) Cuando no hay elección del proveedor: en la inspección entre procesos en una fábrica, la inspección previa a la entrega o la inspección en recepción de los materiales de un subcontratista que ha sido designado, no se puede elegir al proveedor. Esto también sirve para la inspección de las piezas, maquinarias y equipos hechos a medida. En tales casos, los lotes aceptables se envían o aceptan tal como están, mientras que los lotes rechazables tienen que ser sometidos a un cribado del 100%, reprocesados, usados con fines diferentes, degradados o desechados. En tales casos, en vez de depender exclusivamente de la inspección, es mucho más eficaz asegurarse de que el proveedor practique un buen control de procesos.
- (b) Cuando se elige al proveedor: con las inspecciones en recepción llevadas a cabo por empresas ordinarias o agencias gubernamentales que no compran a proveedores especificados, generalmente hay un amplio abanico de proveedores y fabricantes especialistas. En este caso es necesario llevar a cabo investigaciones preliminares concienzudas de la fiabilidad de los proveedores y de las prácticas de control de calidad, además de adoptar planes de inspección que permitan el examen de los resultados y que se seleccione a aquellas empresas capaces de suministrar lotes aceptables en el estado controlado. Entonces debe ajustarse como convenga la rigidez de la inspección.

Cuando se compra, generalmente es mejor disponer las cosas para que se pueda adoptar el método (b), siempre que los proveedores se puedan estudiar y elegir racionalmente. En muchos casos se adopta el método (a) debido a que existe una relación especial entre el proveedor y el comprador, aun cuando comprar según el método (b) sería más beneficioso.

## 6.9 ¿Qué es la inspección por muestreo?

En esta sección explicaré los principios generales de la inspección por muestreo basada en la teoría estadística. Sin embargo, con la inspección por muestreo generalmente es difícil garantizar un porcentaje de unidades defectuosas inferior al 1% en un lote, y es especialmente difícil garantizar los que tengan porcentajes inferiores al 0,1% o del orden de ppm. Por esta razón, aparte de una pequeña cantidad de inspecciones destructivas, la inspección por muestreo no se utiliza mucho en Japón actualmente. Sin embargo, la explicaré brevemente aquí ya que forma parte de los conocimientos básicos del control estadístico de calidad.

### 6.9.1 Errores de muestreo

Pensemos en un lote que consta de 1.000 piezas, 100 de las cuales son defectuosas, i.e., un lote que tiene un porcentaje de unidades defectuosas del 10%. Si de este lote se saca al azar una muestra de 10 unidades<sup>8</sup>, ¿qué clase de resultado obtendremos?<sup>9</sup> El sentido común nos dice que la muestra puede contener entre 0 y 10 unidades defectuosas. Las probabilidades de que una muestra contenga unos números específicos de unidades defectuosas se muestran en la Tabla 6.1.

Suponiendo que queramos rechazar los lotes que tengan un porcentaje de unidades defectuosas del 10% o superior (a este valor se le llama porcentaje tolerado de unidades defectuosas en el lote<sup>10</sup>), adoptamos un plan de muestreo en el cual sacamos una muestra de 10 unidades de cada lote y aceptamos el lote si la muestra no contiene ninguna unidad defectuosa (en la inspección por

---

<sup>8</sup> Todas las observaciones siguientes se refieren a muestras sacadas al azar de lotes completos. Las tablas de la inspección por muestreo se calculan usualmente bajo la suposición de que las muestras son perfectamente aleatorias y proceden de lotes completos.

<sup>9</sup> En la siguiente explicación supondremos una inspección adecuadamente controlada y sin errores de inspección.

<sup>10</sup> En inglés, LTPD ("lot tolerance percent defective". En lugar de esta expresión se utiliza algunas veces el término "nivel de calidad límite" (en inglés, LQL [limiting quality level]). Véase "GLOSSARY OF TERMS USED IN THE MANAGEMENT OF QUALITY". EOQC GLOSSARY COMMITTEE. European Organization for Quality. Sixth Edition, junio 1989, pp 103 y 737. (*N. de los T.*)

**Tabla 6.1: Probabilidad de que aparezcan unidades defectuosas en una muestra ( $N = 1.000$ ,  $P = 10\%$ ,  $n = 10$ )**

| Número de unidades defectuosas en la muestra | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Total |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|
| Probabilidad                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |       |

- Los guiones representan probabilidades pequeñísimas

muestreo esto se expresa por « $\leq 10$ ,  $a$  (ó  $c$ )=0<sup>11</sup>), pero lo rechazamos si la muestra contiene una o más unidades defectuosas (i.e., si  $r=1$ ). Aunque hagamos esto, se aceptarán aproximadamente el 35% de los lotes que tengan un porcentaje de unidades defectuosas del 10%. Los errores de muestreo de este tipo son inevitables con la inspección por muestreo.

En este ejemplo hay una probabilidad del 35% de que se acepten los lotes que tienen un porcentaje de unidades defectuosas igual al porcentaje tolerado (10%), en contra de los deseos del cliente; esta clase de error se llama "riesgo del consumidor".<sup>12</sup> El riesgo del consumidor, expresado por  $\beta$  es la proporción de lotes "malos" aceptados, i.e., la probabilidad (35%) de que sean aceptados. La probabilidad de aceptar lotes con un porcentaje de unidades defectuosas superior al porcentaje tolerado será inferior a  $\beta$

Consideremos ahora la situación en la cual un lote de 1.000 piezas que tiene un porcentaje de unidades defectuosas del 5% llega para su inspección. Si el porcentaje tolerado es del 10%, el productor puede pasar este lote, pero ¿qué sucederá si seguimos utilizando el mismo plan de muestreo, con  $n=10$  y  $a=0$ ? Como puede verse en la Tabla 6.2, este lote se rechazará con una probabilidad del 100%-60%=40%. En otras palabras, el lote puede ser rechazado

**Tabla 6.2: Probabilidad de que aparezcan unidades defectuosas en una muestra ( $N = 1.000$ ,  $P = 5\%$ ,  $n = 10$ )**

| Número de unidades defectuosas en la muestra | 0    | 1    | 2    | 3    | 4     | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Total |
|--|------|------|------|------|-------|---|---|---|---|---|----|-------|
| Probabilidad                                 | 0,60 | 0,32 | 0,07 | 0,01 | 0,001 | - | - | - | - |   | -  | 1,00  |

<sup>11</sup> En la inspección por muestreo  $a$  es el "número de aceptación", mientras que  $a + 1$  o  $r$  es el "número de rechazo". A veces se utiliza  $c$  en vez de  $a$ .

<sup>12</sup>

Esto es equivalente al error de tipo I, el tipo de error de "despiste".

aunque debería ser aceptado. Este tipo de error<sup>13</sup> se llama "riesgo del productor",<sup>14</sup> expresado por  $\alpha$ , y, en este caso,  $\alpha = 40\%$ .

Como indican los ejemplos anteriores, estos dos tipos de error son inevitables cuando sacamos una muestra de un lote y la utilizamos para decidir si se acepta o se rechaza el lote. En este caso podemos reducir  $a$  con el fin de reducir  $\beta$ , o aumentar  $a$  con el fin de reducir  $\alpha$ . Para reducir ambas,  $\alpha$  y  $\beta$ , podemos aumentar  $n$ . Sin embargo, esto incrementará los costes de inspección. Por tanto, tenemos que identificar el plan de muestreo óptimo a partir de los aspectos técnicos y económicos, teniendo en cuenta la calidad que deseamos recibir, la calidad que deseamos garantizar y las diversas probabilidades y políticas de gestión implicadas.

Como queda claro en la explicación anterior, la inspección por muestreo se realiza con objeto de aceptar o rechazar un lote, basándose en una muestra sacada de él.

La explicación anterior se refiere al muestreo por atributos, pero sirven las mismas consideraciones para el muestreo por variables cuando se tiene en cuenta la distribución.

## 6.9.2 Curvas características de los planes de muestreo<sup>15</sup>

Por bien que pueda estar controlado un proceso, el porcentaje de unidades defectuosas en los lotes de productos expedidos o aceptados está sometido a la dispersión, y no es infrecuente que varíe, por ejemplo, entre el 35% y el 10%. La Figura 6.5 muestra la probabilidad de que sea aceptado o rechazado un lote para diferentes valores del porcentaje de unidades defectuosas en el lote,  $p$ , y para diferentes valores de  $n$  y  $a$ . Estas curvas se llaman "curvas características de un plan de muestreo" o curvas "CO" (característica operativa).

La figura muestra que cuando se utiliza un plan de muestreo con  $n=10$  y  $a=0$ , como en el ejemplo anterior, la probabilidad de aceptar un lote que tenga un porcentaje de unidades defectuosas del 5% es de 60% (la distancia entre la curva característica y el eje horizontal, o la lectura sobre el eje vertical de la izquierda), mientras que la probabilidad de rechazar este lote es del 40% (la distancia entre la curva y el eje horizontal superior, o la lectura sobre el eje

<sup>13</sup>

Esto es equivalente al error de tipo II, el tipo de error "impulsivo".

<sup>14</sup> Cuando el nivel de calidad aceptable (NCA) ha sido fijado, esta es la probabilidad de rechazar un lote que tenga la calidad NCA. Ver una explicación del NCA en la sección 6.9.5.

<sup>15</sup> En inglés "operating characteristic curves (OC curves)". Véase "Glossary of Terms Used in the Management of Quality". EOQC Glossary Committee. European Organization for Quality. Sixth Edition. Junio 1989, p 737. (*N. de los T.*)

vertical de la derecha). Por tanto, estas curvas son útiles para ver la situación general que se da cuando se utiliza un plan de muestreo determinado.

El muestreo con un  $n$  pequeño -e.g., sacar una muestra de un artículo y dejar pasar el lote si esta muestra es buena (i.e., utilizar un plan de muestreo con  $n=1$ ,  $a=0$ )- está justo en el extremo opuesto del espectro del cribado del 100% de todo el lote<sup>16</sup>. Conforme aumenta  $n$ , la pendiente de la curva característica aumenta gradualmente y mejora la capacidad de detección del plan de muestreo. También se puede ver que las características de inspección difieren considerablemente con curvas características que tienen la misma relación entre el número de aceptación y el tamaño de la muestra (e.g.,  $a/n=1/10$ ) pero diferentes tamaños muestrales (e.g.,  $n=10$ ,  $a=1$ , y  $n=50$ ,  $a=5$ ). Para el mismo valor de  $n$  la curva CO se desplaza hacia la derecha al aumentar  $a$ .

La curva característica está más o menos decidida si el número de piezas a inspeccionar,  $n$ , y el número de aceptación,  $a$ , o el número de rechazo,  $r$ , están fijados. Si no se consideran los factores económicos, cuanto más pendiente tenga la curva característica, más eficaz será la inspección, puesto que esto reduce la incidencia de los dos tipos de error. En el caso ideal -e.g., cuando queremos aceptar lotes con un porcentaje de unidades defectuosas del 3% o inferior, y rechazar los lotes con un porcentaje de unidades defectuosas mayor del 3% -la curva CO debe ser una perpendicular como la línea  $A$  de la Figura 6.5. Esto sólo puede conseguirse llevando a cabo una inspección del 100% totalmente carente de errores.

Se debe observar la distinción entre los términos "inspección de aceptación" e "inspección de entrada". El término "inspección de aceptación" se utiliza a menudo para describir una inspección por muestreo cuyos resultados se utilizan para aceptar o rechazar lotes. El término puede utilizarse, así pues, para cualquier tipo de inspección en la cual se aceptan o rechazan lotes, e.g., inspección de entrada, inspección intermedia entre procesos o inspección de expedición. La inspección de aceptación y la de entrada se pueden confundir fácilmente, pero aquí se utilizan los términos en su sentido estricto aunque el uso del primero se ha evitado todo lo posible.

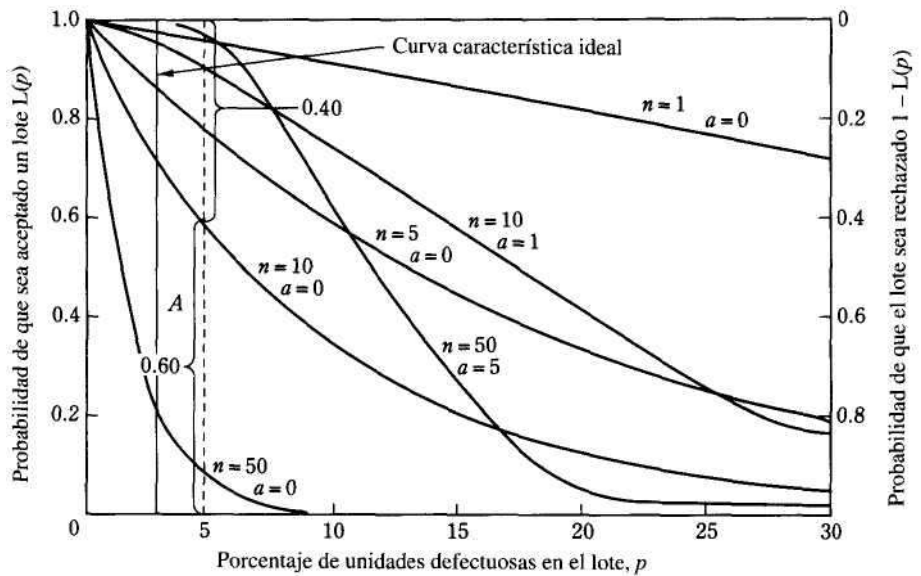
### 6.9.3 Calidad media de salida (CMS)<sup>17</sup>

Cuando la inspección se realiza según un plan de muestreo adecuado, las curvas características explicadas en la sección anterior indican que la proba-

<sup>16</sup>

La inspección por muestreo con  $n = 1$  es todavía significativa cuando el porcentaje de unidades defectuosas del lote varía mucho, e.g., entre el 0% y el 100%.

<sup>17</sup> En inglés, "average outgoing quality" (AOQ). Véase "Glossary of Terms Used in the Management of Quality". EOQC Glossary Committee. European Organization for Quality. Sixth Edition. Junio 1989, p. 737. (*N. de los T.*)



**Figura 6.5: Ejemplos de curvas características**

bilidad de rechazar lotes que tengan un porcentaje bajo de unidades defectuosas es pequeña, mientras que la probabilidad de rechazar lotes que tengan un porcentaje alto de unidades defectuosas es grande. Esto significa que la calidad media de los lotes aceptados expedidos durante un periodo largo de tiempo será mayor que la calidad media de los lotes previos a la inspección.

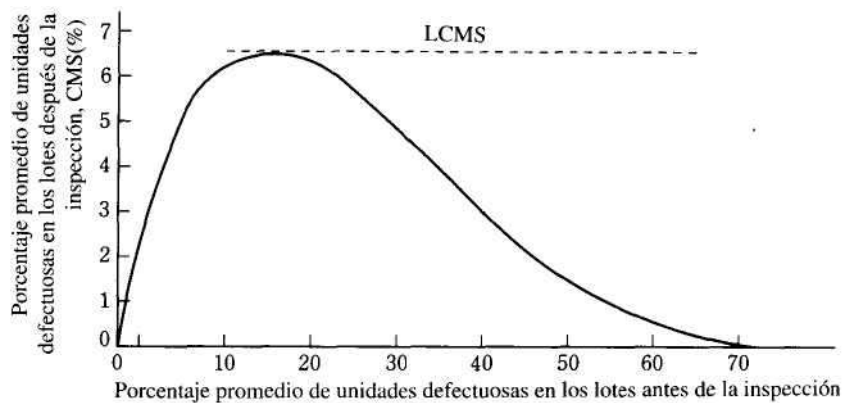
Se debe recordar que si se presenta para la inspección de muestreo una sucesión de lotes con un porcentaje de unidades defectuosas del 3%, el porcentaje medio de unidades defectuosas de los lotes aceptados no cambiará, aunque el 20% de los lotes sean rechazados y desechados. En otras palabras, si el porcentaje de unidades defectuosas de los lotes no cambia mucho, la inspección por muestreo sola no reducirá mucho el porcentaje de unidades defectuosas y, por tanto, no es muy significativa.

La diferencia entre las calidades promedios antes y después de la inspección aumenta conforme aumenta el número de piezas inspeccionadas,  $n$ ; en otras palabras, aumenta la pendiente de la curva característica. La capacidad de un plan de muestreo para distinguir si un lote es o no aceptable depende principalmente de  $n$ , y tiene poca relación con el tamaño del lote,  $N$ . Por ejemplo, cuando se inspecciona una muestra de 50 piezas, habrá pocas diferencias



**Tabla 6.3: Método para calcular la CMS  
(Inspección por muestreo con cribado;  $N = 100, n = 5, a = 0$ )**

| Porcentaje de unidades defectuosas antes de la inspección (%) | Porcentaje de lotes aceptados (%) | Porcentaje de lotes rechazados (%) | Método de cálculo                      | CMS (%) |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|--|---------|
| 5   | 77                                | 23                                 | $5\% \times 0,77 + 0\% \times 0,23$    | 3,9     |
| 10  | 59                                | 41                                 | $10\% \times 0,59 + 0\% \times 0,41$   | 5,9     |
| 15  | 44                                | 56                                 | $15\% \times 0,44 + 0\% \times 0,56$   | 6,6     |
| 20  | 33                                | 67                                 | $20\% \times 0,33 + 0\% \times 0,67$   | 6,6     |
| 25  | 24                                | 76                                 | $25\% \times 0,24 + 0\% \times 0,76$   | 6,0     |
| 30  | 17                                | 83                                 | $30\% \times 0,17 + 0\% \times 0,83$   | 5,1     |
| 40  | 7,8                               | 92,2                               | $40\% \times 0,078 + 0\% \times 0,922$ | 3,1     |
| 50  | 3,1                               | 96,9                               | $50\% \times 0,031 + 0\% \times 0,969$ | 1,6     |
| 60  | 1,0                               | 99,0                               | $60\% \times 0,010 + 0\% \times 0,990$ | 0,6     |
| 70  | 0,2                               | 99,8                               | $70\% \times 0,002 + 0\% \times 0,998$ | 0,2     |



**Figura 6.6: Fracción de unidades defectuosas en los lotes antes de la inspección, y la CMS (Inspección por muestreo con cribado;  $n = 5, a = 0$ )**

entre las probabilidades de aceptar el lote del que se ha tomado la muestra tanto si el tamaño del lote es de 1.000 ó 2.000, siempre que los porcentajes de unidades defectuosas de los lotes sean iguales. Solía creerse que el tamaño de la muestra debería ser proporcional al del lote, e.g., la relación entre el tamaño de la muestra y el del lote debería ser 1/20. Sin embargo, a menudo esto es insatisfactorio, ya que supondría cambiar  $n$  junto con el tamaño del lote, y, como indica la Figura 6.5, variaría mucho la capacidad del plan para detectar lotes inaceptables.

El porcentaje medio de unidades defectuosas en lotes de productos después de la inspección, durante un periodo de tiempo largo, mencionado antes, se llama "calidad media de salida" o CMS. Como se ha señalado antes, la CMS mejorará (i.e., la media de los porcentajes de unidades defectuosas disminuirá), incluso con una inspección por muestreo normal, cuando el porcentaje de unidades defectuosas de los lotes entrantes varía mucho, y mejorará todavía más si los lotes rechazados se someten a un cribado del 100%, y sólo se deja pasar a los buenos productos.

Ejemplo: si se utiliza un plan de muestreo con  $n=5$  y  $a=0$  para lotes de tamaño  $N=100$ , la CMS se puede calcular como se indica en la Tabla 6.3 si los lotes rechazados se someten a un cribado del 100% y se sustituyen los productos defectuosos por otros buenos. Si se dibuja la CMS frente al porcentaje de unidades defectuosas del lote antes de la inspección,  $p$ , se obtiene una curva como la mostrada en la Figura 6.6. Esta curva de la CMS ilustra una de las características de la inspección por muestreo con cribado, que se explica más adelante, y es que la CMS tiene un valor máximo. Este límite superior (i.e., el valor máximo posible del porcentaje medio de unidades defectuosas) se llama límite de la calidad media de salida (LCMS<sup>18</sup>; ver la sección 9.6.5).

## 6.9.4 Tipos de inspección por muestreo

Las investigaciones de H. F. Dodge y H. G. Romig de Bell Telephone Laboratories, a principios de los años treinta, hicieron salir a la inspección por muestreo de los viejos tiempos de las muestras y decisiones tomadas a la buena de Dios, y la introdujeron en la nueva era de la inspección por muestreo basada en la estadística. A continuación se publicaron muchos tipos diferentes de planes de inspección por muestreo para satisfacer a diferentes aplicaciones, pero aquí me gustaría clasificar solamente a los más importantes, mostrados en la Tabla 6.4. Les ruego acudan a trabajos especializados pertinentes para ver los detalles de estos planes.

### (1) Clasificación según el método de decisión

- (a) En la *inspección por muestreo por variables* las decisiones se basan en variables.
- (b) En la *inspección por muestreo por atributos* las decisiones se toman basándose en el número de unidades defectuosas o de defectos.

<sup>18</sup>

En inglés, AOQL (average outgoing quality limit). Véase "Glossary of Terms Used in the Management of Quality". EOQC Glossary Committee. European Organization for Quality. Sixth Edition. Junio 1989, p. 737. (*N. de los T.*)

## (2) Clasificación según el método de realizar la inspección

- (a) La *inspección por muestreo basada en las características operativas* es la inspección llevada a cabo según un plan de muestreo particular en el que los lotes de producto se aceptan o rechazan simplemente según que cumplan o no los criterios del plan. Ilustra la filosofía básica de la inspección por muestreo y se utiliza para diseñar otros diversos planes de inspección más complejos, pero casi nunca se utiliza sin modificar.
- (b) La *inspección por muestreo con cribado* es la inspección realizada según un plan de muestreo particular en el que los lotes de producto que satisfacen los criterios de aceptación se aceptan tal como están, mientras que los lotes que no satisfacen estos criterios se someten a un cribado del 100%. Este método se utiliza en las inspecciones previas a la entrega, en las inspecciones intermedias entre procesos y en las inspecciones en recepción en las que no se puede seleccionar al proveedor. También es posible restringir el cribado del 100%, esto es, aplicarlo sólo a algunos lotes.
- (c) En la *inspección por muestreo con ajuste*, primero, la inspección se lleva a cabo según el método normal (i.e., se realiza la inspección por muestreo normal basada en las características operativas). Luego se analizan los datos de la inspección, y el procedimiento de inspección se hace más estricto para los proveedores que obtienen unos resultados malos, o se relaja (e.g., reduciendo el tamaño muestral) para los proveedores que obtienen buenos resultados. Generalmente, la rigidez de la inspección se clasifica en tres grados: normal, estricta y reducida. Sin embargo, la rigidez de la inspección también podría ajustarse en cualquier punto, entre la inspección cero, la inspección de lotes alternos y la inspección de comprobación, hasta la inspección del 100%. Este método se utiliza en las inspecciones de entrada en las que se puede seleccionar a los proveedores, y es una forma conveniente de motivarles para que practiquen el control de calidad.

Los tres métodos anteriores son eficacísimos cuando se utilizan de la manera siguiente: la inspección por muestreo basada en las características operativas se puede utilizar alguna vez para inspeccionar los lotes adquiridos. Sin embargo, los métodos (b) y (c) se utilizan generalmente con más frecuencia. La inspección por muestreo con cribado se utiliza principalmente para las inspecciones previas a la entrega, las inspecciones entre procesos y la inspección en recepción cuando no se puede elegir al proveedor.

- (d) La *inspección por muestreo para la producción continua* se utiliza para inspeccionar los productos producidos continuamente, conforme éstos se desplazan por una cinta transportadora. Su fin es mantener por debajo de

Tabla 6.4: Planes de muestreo

| Método de ensayo | Tipo   | Plan de muestreo típico   | Tipo                       | Método posible   | Año   |
|------------------|--|---|----------------------------|--|-------|
| Por atributos    | Inspección por muestreo en las características operativas    | JIS Z 9002  | Simple                     | $p_0, \alpha; p_1, \beta$  | 1956  |
|                  |  | JIS Z 9009  | Secuencial                 | $p_0, \alpha; p_1, \beta$  | 1962  |
|                  |  | Tablas de Paul Peach  | Simple, doble o secuencial | $p_0, \alpha; p_1, \beta$  | 1947  |
|                  | Inspección por muestreo con cribado                          | JIS Z 9008  | Simple                     | PTUDL o LMCS   | 1956  |
|                  |  | Tablas Dodge-Romig  | Simple o doble             | PTUDL o LMCS   | 1944  |
|                  | Inspección por muestreo con ajuste                           | JIS Z 9011<br>MIL-STD 105D<br>(ISO 2859)<br>JIS Z 9015<br>MIL-STD 1235A                           | Simple                     | $p_0$ (fracción crítica de unidades defectuosas)<br>CMS, nivel de inspección (3 ó 4) | 1963  |
|                  |  |   | Simple, doble o múltiple   |  | 1963  |
|                  |  |   |                            |  | 1974  |
|                  |  |   |                            |  | 1980  |
|                  | Inspección por muestreo para la producción continua          | JIS z 9008<br>Dodge CPS-1<br>" CPS-2<br>" CPS-3<br>" SKSP-1                                       | -                          | LMCS (con productos individuales como unidades certificadas por la inspección)       | 1957  |
| -                |  |   | "                          |  |       |
| -                |  |   | "                          |  |       |
| -                |  |   | "                          |  |       |
| Por atributos    | Inspección por muestreo basada en características operativas | JIS Z 9003 ( $\sigma$ conocida)   | Simple                     | $p_0, \alpha; p_1, \beta$  | 1979  |
|                  |  | JIS Z 9004 ( $\sigma$ desconocida)  | Simple                     | o  | 1955  |
|                  |  | JIS Z 9010  | Secuencial                 | $m_1, \alpha; m_2, \beta$  | 1979  |
|                  | Inspección por muestreo con ajuste                           | MIL-STD 414<br>(ISO 3951)<br>Especificaciones NTT para la inspección por muestreo y por atributos | Simple                     | NMS, nivel de inspección (5)<br>"<br>" (3)   | 1957  |
|                  |  |   | Simple                     |  | "     |
|                  |  |   | Simple                     |  | " (3) |

cierto valor (el LCMS) al porcentaje medio de unidades defectuosas del producto que pasa por el puesto de inspección. Al principio, el producto se somete a una inspección continua del 100%; ésta se interrumpe y se introduce la inspección por muestreo a intervalos fijos cuando el número de unidades defectuosas cae por debajo de cierto valor especificado. Si se vuelve a encontrar un número especificado de unidades defectuosas, se restituye la inspección del 100%. El plan de muestreo de lotes alternos, llamado SKSP-1, se aplica al esquema de inspección anterior para lotes completos y no para productos individuales.

### (3) Clasificación según el número de inspecciones realizadas

Las inspecciones también se pueden clasificar según el número de etapas acometidas cuando se inspecciona un lote.

- (a) La *inspección por muestreo simple* es la inspección en la que la disposición de un lote se decide de acuerdo con una única muestra de  $n$  artículos, e.g., 10 piezas.
- (b) La *inspección por muestreo doble* es la inspección en la que la decisión de aceptar o rechazar un lote se puede diferir hasta que se haya tomado una segunda muestra. Primero se inspecciona una muestra de  $n_1$  artículos (e.g., 5), y el lote se acepta si el número de unidades defectuosas de la muestra es igual o menor que  $a_1$  (e.g., 1), y se rechaza si el número de unidades defectuosas es igual o mayor que  $r_1$  (e.g., 3). Si el número de unidades defectuosas es mayor que  $a_1$  pero menor que  $r_1$  (i.e., 2 en este ejemplo), se inspecciona una segunda muestra de  $n_2$  artículos (e.g., 10), y el lote se acepta si el número total de unidades defectuosas en la primera y la segunda muestra juntas (i.e., en una muestra de  $n_1 + n_2 = 15$  artículos en este ejemplo) es igual o menor que  $a_2 = r_1 - 1$  (2 en este ejemplo), y se rechaza si es igual o mayor que  $r_1$  (3 en este ejemplo).
- (c) La *inspección por muestreo múltiple* es similar al método de muestreo doble, pero se pueden inspeccionar hasta  $k$  muestras sucesivas, donde  $k > 2$ . Si  $k = 4$ , por ejemplo, la inspección se lleva a cabo como se indica en la tabla siguiente:

| Número de la muestra | Número de unidades inspeccionadas ( $n_i$ ) | Total acumulado de unidades inspeccionadas | Número de aceptación ( $a_i$ ) | Número de rechazo ( $r_i$ ) |
|----------------------|---|--|--------------------------------|-----------------------------|
| 1                    | 50  | 50   | 1                              | 6                           |
| 2                    | 50  | 100  | 3                              | 8                           |
| 3                    | 50  | 150  | 7                              | 11                          |
| 4                    | 50  | 200  | 13                             | 14                          |

- (d) La *inspección por muestreo secuencial* es similar al muestreo múltiple, en el sentido en que los productos se ensayan individual y sucesivamente, o en grupos secuenciales de  $n$  artículos y en cada paso, los resultados acumulados se comparan con el número de aceptación,  $a_i$ , y el número de rechazo,  $r_i$ . Un lote es aceptado si el total acumulado del número de unidades defectuosas es igual o menor que el número de aceptación, y es rechazado si es igual o mayor que el número de rechazo. Si cae entre los dos, se toma otra muestra y se sigue el ensayo.

Cuando se comparan los cuatro esquemas anteriores, generalmente se ve que el tamaño medio de las muestras (TMM<sup>19</sup>) es menor en el muestreo secuencial y va aumentando conforme pasamos al muestreo múltiple, al muestreo doble y al simple. Sin embargo, puesto que los métodos múltiple y secuencial son más complicados, los muestreos simple o doble pueden ser más convenientes para el objetivo particular de los métodos de inspección y muestreo utilizados.

### **6.9.5 Nivel de la calidad y disposición de los lotes después de la inspección**

La inspección por muestreo se realiza con el fin de acometer acciones con respecto a los lotes de un producto. Un lote aceptado se deja pasar tal como está, pero un lote rechazado se puede tratar de una de las maneras siguientes:

- (1) Se puede devolver al proveedor el lote completo.
- (2) El lote se puede someter a un cribado del 100%, se separan los artículos defectuosos, se reparan o se sustituyen por otros buenos, y luego se puede dejar pasar el lote.
- (3) Se puede devolver el lote al proveedor, quien tendrá que llevar a cabo un cribado del 100%, reprocesar o sustituir los productos defectuosos y volver a someter el lote a inspección. Cuando se hace esto, el cribado y el reproceso se tienen que controlar y vigilar con especial cuidado, ya que, con frecuencia, un lote rechazado que se haya sometido un número suficiente de veces a inspecciones por muestreo acabará por ser aceptado aunque no se haya llevado a cabo ningún reproceso.
- (4) El lote puede ser enviado a chatarra.
- (5) Se puede degradar el lote y reducir su precio.

El método de disposición, tal como se ha descrito más arriba, se tiene que especificar en las normas o dejar claro en el momento de la firma de los contratos, y luego se tiene que seguir fielmente. Si no se acometen acciones con los productos, los lotes o los precios, la inspección se convierte en un ejercicio sin sentido.

Si se hace lo anterior, ¿qué sucederá al porcentaje de unidades defectuosas del producto que pasa la inspección? Uno de los fines de la inspección por muestreo es mantener el porcentaje de unidades defectuosas por debajo de cierto valor. El porcentaje medio de unidades defectuosas de salida (la CMS)

---

<sup>19</sup>

En inglés, ASN (average sample number). Véase "Glossary of Terms Used in the Management of Quality". EOQC Glossary Committee. European Organization for Quality. Sixth Edition. Junio 1989, p. 737. (*N. de los T.*)

se explicó en la sección 6.9.3, pero también se tienen que considerar otros factores, e.g., los requisitos de calidad del comprador, la política del expedidor con respecto al nivel de calidad que quiera garantizar, cómo disponer de los lotes rechazados, etc. En muchos casos, se considera primero el promedio del proceso,  $\bar{p}$ , y luego se fijan uno o dos de los parámetros siguientes: NCA<sup>20</sup>, PTUD, LCMS,  $p_0 - \alpha$  ó  $p_1 - \beta$ , ó  $p_{0.50}$ . Éstos se explican brevemente más abajo.

El *nivel de calidad aceptable* (NCA) es la calidad inferior que se puede aceptar (i.e., el porcentaje máximo de unidades defectuosas). Es un nivel de calidad que se utiliza a menudo en las inspecciones en recepción, y es el valor promedio del nivel máximo de unidades defectuosas que el comprador está dispuesto a aceptar, con vistas al propósito para el cual se vaya a utilizar la materia prima. A veces se determina según las capacidades del proveedor. Por ejemplo, es satisfactorio fijar un NCA del 2% e idear un plan de muestreo adecuado cuando se compra con continuidad a proveedores cuyo porcentaje de unidades defectuosas medio de su proceso es aproximadamente del 1,5%. Sin embargo, habrá una probabilidad mayor de rechazar los lotes de proveedores cuyo porcentaje de unidades defectuosas medio de su proceso sea de 2% o mayor, y, consecuentemente, este plan de muestreo eliminará a tales firmas. Como indica la Tabla 6.4, en la inspección por muestreo con ajuste, se fija el NCA y el plan de muestreo se ajusta según el porcentaje de unidades defectuosas medio de las muestras observadas,  $\bar{p}$ , (MIL-STD-105D).

El *porcentaje tolerado de unidades defectuosas* (PTUD) es el límite inferior del intervalo de valores del porcentaje de unidades defectuosas del lote que debería rechazarse preferentemente. El riesgo del consumidor,  $\beta$  es la probabilidad de aceptar un lote con un porcentaje de unidades defectuosas igual o mayor que el PTUD. Cuando los lotes que pasan la inspección se van a utilizar tal como están en el siguiente proceso o por el consumidor, se puede elegir un plan de muestreo de acuerdo con los valores especificados del PTUD y de  $\beta$ . En tales casos se utiliza, a menudo, la inspección por muestreo con cribado (ver la Figura 6.7).

El *límite de la calidad media de salida* (LCMS) es el peor valor posible de la calidad media de salida (CMS) de los lotes que han pasado la inspección por muestreo; en otras palabras, es el límite superior del porcentaje de unidades defectuosas del producto de salida.

Como indica la Figura 6.6, la CMS de los lotes que han pasado tiene un valor máximo por encima del cual ya no puede ser peor; este límite "peor" se llama LCMS. Cuando un plan de muestreo se basa en el LCMS, también se tienen que tener en cuenta la fracción media de unidades defectuosas y los

20

En inglés, AQL (Acceptable Quality Level). (*N. de los T.*)

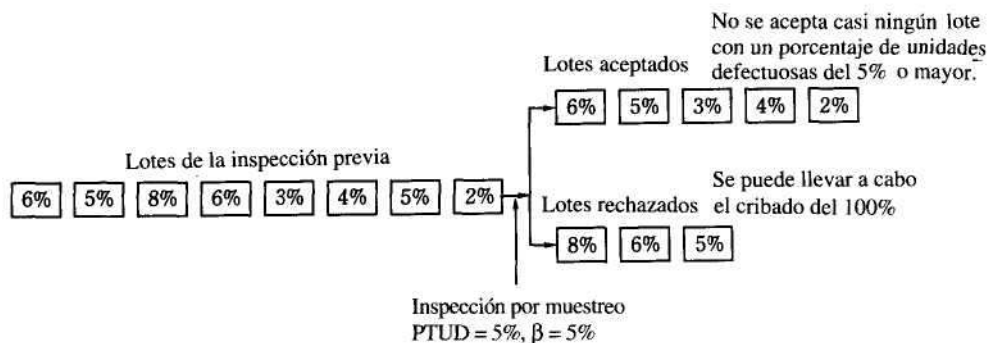


Figura 6.7: Ejemplo de inspección por muestreo basada en el PTUD

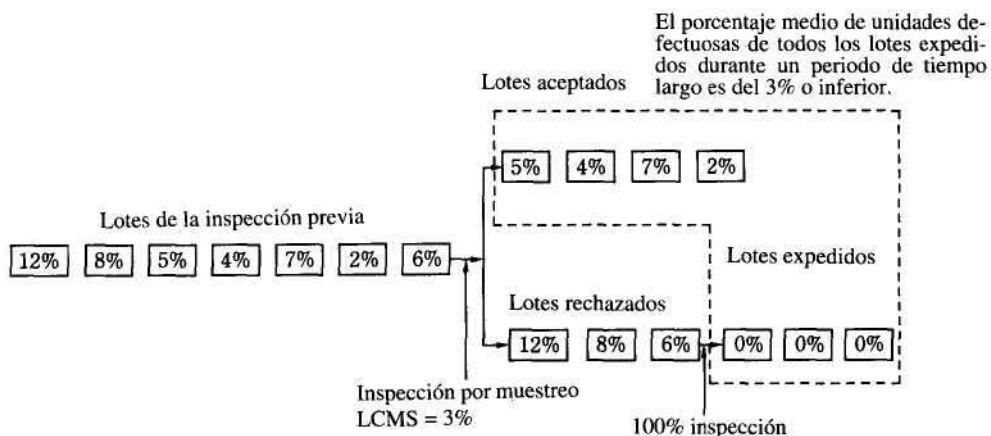


Figura: 6.8: Inspección por muestreo basada en el LCMS

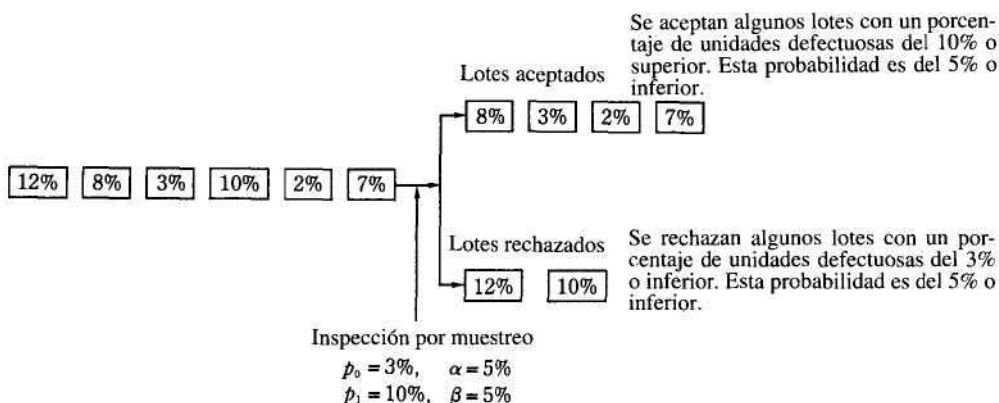


Figura 6.9: Ejemplo de inspección por muestreo basada en  $p_0, \alpha ; p_1, \beta$



costes de inspección. Este límite se utiliza con frecuencia para la inspección por muestreo con cribado y para la inspección por muestreo para la producción continua, i.e., para la inspección entre procesos o para la inspección previa a la entrega en las que los lotes son desglosados en unidades individuales (ver la Figura 6.8). Las tablas de Dodge-Romig para la inspección por muestreo son unos planes de muestreo muy conocidos indexados según el PTUD y el LCMS. Se utilizan a menudo para la inspección entre procesos o para la inspección previa a la entrega cuando no se puede seleccionar al proveedor. Estos planes se basan en la premisa de que todas las unidades defectuosas detectadas, o se reprocesan o se sustituyen por productos no defectuosos (ver la Figura 6.8).

En el método del  $p_0 - \alpha, p_1 - \beta$ , el plan de muestreo se elige fijando el porcentaje de unidades defectuosas,  $p_1$  de los lotes que se quieren rechazar, la probabilidad  $L_{p_1}$  = (el riesgo del consumidor) de aceptar tales lotes, el porcentaje de unidades defectuosas,  $p_0$ , de los lotes que se quieren aceptar, y la probabilidad  $1 - L_{p_0}$  = (el riesgo del productor) de rechazar tales lotes. A menudo se fijan estos parámetros cuando se hace uso de la inspección por muestreo basada en las características operativas (ver la Figura 6.9).

El  $p_{0.50}$  es un método en el cual el plan de muestreo se basa en la "calidad indiferente",  $p_{0.50}$ , la calidad que tiene una probabilidad de aceptación del 50% exactamente.

Qué nivel elegir entre los anteriores depende de factores tales como el propósito de la inspección, las condiciones que rijan los lotes que se están inspeccionando, y la política de la empresa. Esta cuestión se tiene que investigar y discutir detenidamente, puesto que es el punto clave en cuanto a la inspección se refiere.

## 6.10 ¿Inspección del 100% o inspección por muestreo?

Para garantizar un producto perfecto, hace falta la inspección del 100%, a menos que el proceso esté en estado controlado y tenga un índice de capacidad,  $C_p$ , de por lo menos 1,67. Sin embargo, la inspección del 100% realizada por seres humanos tiene mucha tendencia a padecer errores, y alrededor del 10%-30% de los productos se identifican equivocadamente como si no tuvieran defectos cuando son defectuosos, o viceversa. La inspección del 100% se lleva a cabo por guardar las formas en muchas industrias japonesas, pero, en la mayoría de los casos, se verá que los lotes comprobados después de haber pasado la inspección contienen un número elevado de unidades defectuosas, mientras que en la bandeja de unidades defectuosas se verán artículos no defectuosos. Para garantizar un porcentaje de unidades defectuosas de cero con

la inspección del 100% realizada por seres humanos, el proceso de inspección se tiene que repetir cuidadosamente siete u ocho veces; esto hace que sea carísimo. Puesto que las máquinas pueden realizar la inspección con más exactitud que las personas, el proceso de inspección debería automatizarse. Pero incluso los equipos para las inspecciones automáticas tienen problemas de fiabilidad y están sujetos a errores, y para que sean absolutamente seguros, es necesario comprobar los resultados de esta inspección o hacer pasar el producto dos veces. Además, la inspección del 100% es imposible con los productos que sólo pueden ensayarse destructivamente.

Según el tipo de producto o la característica particular que se inspecciona, el paso de un pequeño porcentaje de unidades defectuosas puede no ocasionar ningún daño importante durante el uso del producto. La cuestión cuando se hace la inspección es, pues, qué es mejor: la inspección del 100%, la inspección por muestreo o no hacer ninguna inspección. Esta cuestión es un problema económico, y su solución requiere una visión global de la necesidad de la garantía de calidad. Junto con la automatización de la inspección se tiene que considerar lo siguiente:

### **(1) ¿Cuándo es necesaria la inspección del 100%?**

- (a) La inspección del 100% es necesaria cuando el paso de una sola unidad defectuosa causaría problemas, e.g., cuando un defecto es crítico y puede poner en peligro la vida humana, o cuando el envío de un solo producto defectuoso tendrá un gran impacto bien económicamente o bien desde el punto de vista de la credibilidad. Se debe observar, sin embargo, que no tiene mucho sentido llevar a cabo la inspección del 100% que está diseñada para eliminar completamente las unidades defectuosas si el producto puede convertirse en defectuoso durante el transporte.
- (b) Cuando el producto es valiosísimo, e.g., aviones completos, barcos, grúas, coches, etc.
- (c) Cuando no se puede comprobar el funcionamiento del producto hasta que está montado: en este caso, la inspección del 100% se debe llevar a cabo después del montaje.
- (d) Cuando los lotes preparados para su envío contienen artículos defectuosos, en principio, la inspección previa a la entrega debería ser una inspección del 100%.

### **(2) ¿Cuándo es ventajosa la inspección del 100%?**

- (a) Cuando la inspección del 100% se puede llevar a cabo con facilidad y fiabilidad (e.g., comprobar si funcionan las bombillas) o cuando se puede utilizar un equipo fiable para el cribado automático.

- (b) Cuando el tamaño del lote es pequeño y no hay ninguna ventaja económica en llevar a cabo la inspección por muestreo.
- (c) Cuando el porcentaje medio de unidades defectuosas es muchísimo mayor que el porcentaje de unidades defectuosas permitidas.

**(3) ¿Cuándo es ventajosa la inspección por muestreo?**

- (a) Cuando la inspección del 100% es imperfecta.
- (b) Cuando hay muchas características a inspeccionar.
- (c) Cuando los costes de inspección son elevados.
- (d) Cuando se desea garantizar la calidad de los lotes de producto en un porcentaje de unidades defectuosas determinado.
- (e) Cuando se desea motivar a un productor para que eleve la calidad y practique el control de calidad.
- (f) Para las inspecciones de entrada.

Los productos adquiridos, en principio, deben ser sometidos a una inspección por muestreo o se deben aceptar sin hacer ninguna inspección, y la inspección del 100% debe ser llevada a cabo por el proveedor.

**(4) ¿Cuándo es necesaria la inspección por muestreo?**

- (a) En la inspección destructiva.
- (b) Para los análisis químicos.
- (c) Cuando la inspección del 100% es imposible debido al volumen de productos que pasan por ella.
- (d) Cuando el comprador no puede fiarse de la garantía de calidad del proveedor.

**(5) ¿Cuándo es aceptable la inspección cero?**

La inspección cero sólo es aceptable cuando el proceso es estable y está en estado controlado, y:

- (a) Cuando se puede concluir que todas las características del producto satisfacen completamente las especificaciones y que todos los productos son buenos, e.g., cuando el proceso está en estado controlado y tiene un índice de capacidad,  $C_p$ , de 1,67 o superior.
- (b) Cuando el porcentaje de unidades defectuosas del lote es netamente mejor que el porcentaje de unidades defectuosas permitido. Sin embargo, aunque así sea, es mejor realizar inspecciones ocasionales como comprobación.

## 6.11 ¿Control de los procesos o inspección?

La pregunta de si la prioridad se debería dar al control de proceso o a la inspección se puede responder simplemente, como se explicó en las secciones 1.3 y 6.3, diciendo que el control del proceso debe llevarse a cabo siempre, mientras que la inspección sólo debe llevarse a cabo cuando sea necesario.

### (1) ¿Cuándo es innecesaria la inspección?

La inspección no tiene que llevarse a cabo cuando un proceso está en estado controlado y su producto cumple cómodamente la calidad certificada (generalmente, cuando  $Cp=1,33$ ,  $1,67$  o más).

### (2) ¿Cuándo es innecesario el control de proceso?

El control de proceso jamás es innecesario. Claro que es posible espaciar o cancelar ciertas medidas de la calidad o el trazado de los gráficos de control cuando se han preparado unas buenas normas de trabajo, se ha efectuado una educación concienzuda, el proceso está bien controlado, y el estado controlado ha permanecido durante un periodo largo de tiempo, pero el control del proceso todavía se tiene que continuar.

### (3) ¿Cuándo no es ventajoso practicar la garantía de calidad a través de la inspección?

La respuesta es, sorprendentemente, a menudo. He aquí algunos ejemplos:

- (a) Cuando es política de la empresa no entregar jamás un solo producto defectuoso. Prácticamente se aplica lo mismo cuando se desea mantener el porcentaje de unidades defectuosas garantizado en un nivel bajísimo.
- (b) Cuando la fiabilidad, especialmente la durabilidad y otros factores que afectan a la vida del producto, es importante.
- (c) Cuando los costes de inspección son elevados.
- (d) Cuando hay mucha variación en el producto, o cuando los errores de medida o de muestreo son grandes.
- (e) Cuando la inspección es destructiva.

En estas situaciones, a menudo es antieconómico garantizar la calidad a través de la inspección, y puede ser mejor adoptar uno de los siguientes enfoques:

- (i) Dar prioridad al control del proceso,
- (ii) Centrarse en mejorar técnicamente el proceso,
- (iii) Utilizar piezas y diseños más fiables.

- (iv) Bajar el nivel de la calidad certificada si la tecnología existente lo hace inevitable.

## 6.12 El Departamento de Inspección

### 6.12.1 Las obligaciones del Departamento de Inspección

Como se mencionó en la sección 6.7, la función de inspección y las obligaciones del departamento de inspección (i.e., el trabajo que debe hacer el departamento de inspección) se deben considerar por separado, puesto que, a menudo, surgen confusiones cuando se discuten sin haber sido claramente distinguidas primero. Veamos primero, por tanto, brevemente los diversos tipos de trabajo que realizan los departamentos de inspección.

- (1) El departamento de inspección toma medidas en los lotes de materias primas, de productos casi acabados y de productos acabados, compara las medidas con criterios establecidos, con el fin de juzgar si se acepta o se rechaza cada lote, y decide la disposición de cada lote según unos procedimientos normalizados. Ésta es la verdadera función de la inspección y puede ser necesario hacer que sea obligación del departamento de inspección. Se tiene que tener mucho cuidado en asegurarse de que los inspectores y el departamento de inspección no introducen subjetividades. Si un proceso mejora, si la calidad del producto es capaz de satisfacer ampliamente las especificaciones, y si el proceso sigue en el estado controlado durante un periodo largo de tiempo, se puede relajar la severidad de la inspección, se pueden combinar procesos separados de inspección, o se puede sustituir la inspección por una simple comprobación o ser abolida totalmente, reduciendo así la carga de trabajo del departamento de inspección. El departamento de inspección estará más ocupado si un proceso se sale de control y es incapaz de satisfacer las especificaciones, puesto que, entonces, la inspección tendrá que hacerse más estricta. A causa de ello, el departamento de inspección también tiene que vigilar los gráficos de control de los puestos de trabajo y seguir los datos de los procesos.
- (2) El departamento de inspección toma medidas en artículos individuales (materias primas, productos casi acabados, productos acabados, etc.), compara los resultados con criterios establecidos, decide aceptar o rechazar cada artículo, y separa los defectuosos. Esta obligación consiste en realizar la inspección del 100% y eliminar las unidades defectuosas individuales. Sin embargo, al extenderse el CCT por una empresa, ésta debe instaurar un sistema de control e inspección autónomos y hacer que el

departamento de producción sea responsable de inspeccionar los productos casi acabados y acabados. Si el departamento de inspección hace este trabajo, los que están en planta saben que aquel separará cualquier unidad defectuosa en vez de ellos, independientemente de las que produzca; serán apáticos respecto a la calidad y se fijarán sólo en la cantidad. La retroalimentación de la información también tardará más, haciendo que el control sea más difícil. La inspección del 100% debe, por tanto, llevarse a cabo en planta, donde reside la responsabilidad de la garantía de calidad, y los datos obtenidos en la inspección deben usarse luego para el control del proceso. También se tiene que realizar la inspección de comprobación, puesto que hay mucha tendencia a que la inspección del 100% tenga errores.

- (3) El departamento de inspección toma medidas en materias primas, productos casi acabados y acabados, y proporciona los datos obtenidos a los departamentos que los necesitan. Al industrializarse más los procesos de fabricación, hay un aumento de la división de tareas dentro de las fábricas, y a veces se pone a los inspectores a cargo de tomar y anotar las medidas, mientras que los operarios ya no las toman, o bien las toman pero no anotan los resultados. El tomar y anotar medidas, sin embargo, es realmente responsabilidad del puesto de trabajo, y es mejor asignar a los inspectores a otros deberes y pasar al control autónomo bajo la supervisión de personas que comprueban los procesos y que son responsables de su vigilancia. Si el departamento de inspección es responsable de tomar las medidas, el puesto de trabajo no puede obtener directamente la información sobre la calidad del producto; el departamento de inspección tiene que suministrar esta información al puesto de trabajo antes de que pueda ser utilizada para el control de proceso. Con esta estructuración, el departamento de inspección es responsable del servicio de suministrar información para el control de proceso. Algunas cuestiones que se han de observar cuando se hace esto son:
  - (a) El departamento de inspección es un proveedor de información y, en principio, no tiene autoridad para acometer acciones respecto a un proceso.
  - (b) Los datos suministrados al puesto de trabajo tienen el fin de controlar y analizar el proceso, no de inspeccionar el producto. Puesto que estos fines son diferentes, es necesario revisar si los datos de la inspección que se están tomando son realmente adecuados para el control o el análisis de proceso. Los datos se van a utilizar en el puesto de trabajo para controlar los procesos y eliminar las causas de los defectos, y se tiene que tener cuidado en que el énfasis no se desplace hacia el uso

- de tales datos para la disposición o el reproceso de las unidades defectuosas, confundiendo así el control con la inspección.
- (c) Cuando se suministran datos para el control de un proceso, el departamento de inspección tiene la obligación de asegurarse de que los datos estén bien estratificados y se suministren con prontitud.
  - (d) Los datos se pueden suministrar de dos maneras: se pueden suministrar a planta tal como están y las personas responsables del control en los puestos de trabajo los representan en los gráficos de control, o el personal de inspección los puede representar en los gráficos de control expuestos en los puestos de trabajo e informar a las personas responsables cuando se ponga de manifiesto una anomalía. Usualmente, el primer método es mejor. Si se adopta el segundo, el personal de inspección debe estar adscrito a los puestos de trabajo como comprobador del proceso.
- (4) La tarea de empaquetado se puede asignar al departamento de inspección con objeto de reducir los costes, pero se tiene que tener cuidado cuando se haga, puesto que la atención se distraerá de la inspección y se prestará al empaquetado, y la inspección se puede convertir en un procedimiento a la buena de Dios. Normalmente, este trabajo debería ser asignado al departamento de producción.
  - (5) Cuando los inspectores son responsables de representar los puntos en los gráficos de control deben ponerse inmediatamente en contacto con el departamento de producción cuando un proceso muestra una anomalía o cuando el número de unidades defectuosas aumenta súbitamente, pero, generalmente, el departamento de inspección no debe actuar respecto a un proceso, aconsejar dicha actuación o dirigir la búsqueda de las causas. Sin embargo, se le puede dar autoridad al departamento de inspección para que detenga un proceso cuando se cumplan determinados criterios como resultado de una inspección realizada según las normas de trabajo del departamento de inspección, siempre que estas normas hayan sido perfeccionadas y se haya acordado esto con el departamento de producción.
  - (6) Desde el punto de vista del CC, el tratamiento de las reclamaciones es una tarea importante y de mucho alcance, y debería, si es posible, ser asignada al departamento de garantía de calidad o al de control de calidad.
  - (7) La auditoría de los productos desde el punto de vista del consumidor es obligación del departamento de garantía de calidad, el grupo de GC o del departamento de control de calidad, y, normalmente, es mejor no asignarla al departamento de inspección.

- (8) Puesto que la verdadera función del departamento de inspección es realizar la inspección según las normas de inspección, al igual que planta, necesita pocos técnicos. Las obligaciones de los técnicos del departamento de inspección consisten en servir de enlace con otros departamentos e investigar, preparar, mejorar y controlar los métodos de medida, las normas y los criterios de inspección.
- (9) El departamento responsable de preparar y terminar varios planes y normas relacionadas con la inspección es diferente según la organización de la empresa, pero es, probablemente, uno de los siguientes:
- (i) El departamento técnico,
  - (ii) El departamento de control de calidad,
  - (iii) El departamento de inspección.
- Conforme se desarrolla gradualmente el control de calidad y se racionaliza la organización, el departamento de inspección puede proponer las normas de inspección, pero no debe aprobarlas formalmente; esto debe hacerlo el departamento técnico, el de control de calidad o el de garantía de calidad.
- (10) El control de la inspección es siempre trabajo del departamento que realiza la inspección. El control de la inspección consiste en controlar los métodos y las normas de inspección, y la misma tarea de la inspección, así como los instrumentos de medida, los calibres y herramientas. Controlar los métodos de inspección significa alterar la severidad de las inspecciones (a reducida, normal o estricta) siempre que sea necesario. Una vez se haya acumulado suficientes datos sobre la inspección, es mejor disponer que este ajuste sea realizado automáticamente por medio de ordenadores u otros medios.
- El control de las normas de inspección se hace exactamente de la misma manera que el control de las normas de trabajo.
- Controlar la tarea de inspección consiste, obviamente, en controlar el proceso de inspección, y es una de las obligaciones más importantes de los directores y supervisores de los departamentos que hacen la inspección.

### **6.12.2 Errores a los que son susceptibles las inspecciones y el Departamento de Inspección**

Ya que he explicado las funciones del departamento de inspección, ahora me gustaría decir algunas palabras de aviso sobre las equivocaciones corrientes que se cometen en relación con éstas. La extensión del CCT ha mejorado



recientemente las cosas en Japón, pero otros países todavía caen en las trampas mencionadas más abajo.

- (1) Es fácil que el departamento de inspección se olvide de su principal obligación, i.e., realizar el trabajo de inspección según las normas de inspección. Aunque los directores de inspección deben dirigir el trabajo de la inspección (incluyendo el muestreo, las medidas y los ensayos), a veces no crean o no hacen funcionar los sistemas adecuados para controlar el proceso de inspección. Podríamos llegar a decir que si las normas de trabajo de la inspección están preparadas convenientemente y la inspección se lleva a cabo de acuerdo con ellas, cualquier unidad defectuosa que llegara a expedirse no sería responsabilidad de los inspectores sino de los departamentos que terminaron y aprobaron las normas.
- (2) A veces no se ha investigado lo suficiente el efecto de un plan de inspección determinado sobre el proceso siguiente o sobre el cliente. Por ejemplo, la abolición de la inspección de entrada es un regalo para el departamento de inspección, pero el proceso puede seguir produciendo muchas unidades defectuosas, y las reclamaciones de los clientes mantenerse al mismo nivel aunque se realice la inspección previa a la entrega. En tales casos, no se está retroalimentando la información sobre las unidades defectuosas y las reclamaciones, ni se está utilizando ésta para racionalizar las normas de inspección.
- (3) Puede que no haya una definición clara de lo que constituye un lote, y se forman lotes mixtos con materiales que deberían mantenerse separados.
- (4) Aunque se debe actuar sobre los productos individuales o los lotes como resultado de la inspección, a veces no se hace lo que está establecido en las normas, o se aceptan los lotes a capricho de los inspectores. En el peor caso, puede que no haya normas que rijan la disposición de los lotes. Tampoco es correcto que los directores del departamento de producción o los directores de sección tomen estas decisiones por propia iniciativa. A veces no se pone ningún límite a los envíos y se expiden lotes defectuosos.
- (5) Aunque el departamento de inspección es responsable de suministrar los datos a utilizar para el control y análisis de procesos, a veces lo olvida y sólo comunica al departamento de producción los lotes o productos rechazados. No se hace suficiente investigación sobre qué clases de datos facilitarían el control y análisis de los procesos. En el peor de los casos, al departamento de inspección no le interesa suministrar tales datos y no realiza inspecciones analíticas.

- (6) Puede que los técnicos de inspección se olviden de su verdadera tarea inspeccionadora y se ocupen exclusivamente de la inspección estadística por muestreo.
- (7) Se deben seleccionar planes de inspección que fomenten el control de procesos (e.g., MIL-STD-105D); no hacerlo es una equivocación.
- (8) La inspección se debe ajustar con flexibilidad para cada proceso, utilizando varios planes de inspección que se acomoden a las condiciones dominantes, y teniendo en cuenta las consideraciones económicas. Sin embargo, las personas se sienten obligadas, a menudo, a utilizar los planes de inspección convencionales publicados, o acometen las cosas al revés, seleccionando el plan de inspección según el número de inspectores disponibles. Puede que también dejen de relajar o hacer más estricta la inspección cuando sea necesario.
- (9) A veces se hace más estricta la inspección cuando se reciben reclamaciones, y luego se vuelve a relajar cuando ha pasado algo de tiempo, y se pueden cambiar los criterios de inspección según los caprichos pasajeros del *staff* de inspección. También pueden ser cambiados arbitrariamente a petición del departamento de ventas. Las normas de calidad son vitalmente importantes y deben ser tratadas en la política de la empresa. Es muy irregular dejar que el departamento de inspección o el de ventas, o individuos como los inspectores, alteren estas normas a discreción propia. La normalización y el control son tan importantes en la inspección como en el control de procesos.

## 6.13 Las normas de inspección y cómo establecerlas

Puesto que la inspección es una forma de trabajo, necesita normas de trabajo. Hay varios tipos de normas de trabajo de inspección, e.g., normas experimentales, normas para las medidas, normas para el control de instrumentos, normas para el control de plantillas y herramientas, normas para el muestreo, normas de inspección, reglamentaciones de la puesta en práctica de la inspección, reglamentaciones del control de las normas de inspección, etc. Estas normas se clasifican de diferentes maneras por las distintas industrias y empresas; aquí prefiero centrarme en algunas cuestiones importantes relacionadas con la inspección que se tienen que incluir en las normas.

### (1) Cuestiones que se tienen que especificar en las normas de inspección

Como mínimo las normas de inspección deben hacer lo siguiente:

- (a) Definir claramente las reglas para los lotes y cómo se deben componer.
- (b) Especificar claramente las unidades de muestra, las unidades certificadas por la inspección y las unidades de producto que se ha de medir o ensayar. También se deben especificar las diferencias o relaciones entre ellas, si es preciso.
- (c) Cuando se especifiquen los métodos de muestreo, definir no sólo los tamaños de las muestras sino también los métodos específicos para recoger las mismas.
- (d) Definir los elementos que se han de inspeccionar, su grado de importancia (mayor, menor o leve), el orden en que se vayan a inspeccionar, y los métodos de medida y ensayo que se han de utilizar. Especificar si se va a llevar a cabo o no la inspección analítica.
- (e) Establecer unos criterios de inspección claros para los productos individuales y para los lotes de productos. Asegurarse de que no haya incoherencias entre los valores del diseño, las calidades certificadas y los criterios de inspección. Asegurarse de que estos son racionales y, especialmente en los ensayos sensoriales, asegurar la claridad proporcionando muestras límite y criterios de inspección para cada muestra de ensayo, y prescribir comprobaciones periódicas.
- (f) Definir claramente los métodos mediante los cuales se debe disponer de las unidades defectuosas individuales y los lotes rechazados, y definir quién es responsable de hacerlo. A menudo, la disposición o la aceptación especial de los lotes rechazados y los productos defectuosos se hace a discreción de los directores de departamento o de fábrica, pero es mejor normalizarlo en la medida de lo posible.
- (g) Normalizar las cuestiones relativas al destino y la circulación de los informes de la inspección, especialmente la rapidez con que se debe hacer esto, y, si es preciso, normalizar los métodos para utilizar los registros de las inspecciones, e.g., para ajustar los planes de inspección o para el control o análisis de procesos.
- (h) Si es preciso, especificar los métodos para utilizar la información de las reclamaciones, del departamento de garantía de calidad, del proceso siguiente, etc., cuando se revisen las normas de inspección.
- (i) Especificar los métodos para comprobar y controlar el trabajo de inspección.

## **(2) Selección de los planes de inspección**

Como no hay suficiente espacio en este libro para describir todos los métodos para elegir los planes de inspección, me limitaré a explicar el procedi-

miento básico y su filosofía. El orden dado más abajo se puede invertir, según sea la situación concreta.

- (a) Decidir el propósito de la inspección. El propósito debe decidirse en línea con la política de la empresa después de investigar la forma en que el producto es utilizado por el proceso siguiente o por el consumidor, las pérdidas económicas que surgirían de la producción de productos o lotes defectuosos, y los posibles daños causados por la pérdida de confianza. Considerar la relación entre las características verdaderas (su comportamiento) y las sustituías, y la división del trabajo de inspección (características y métodos de inspección) entre el departamento de producción y el de inspección, y asegurarse de que la inspección no se duplique innecesariamente.
- (b) Realizar análisis estadísticos de los datos del pasado. Si es preciso, recoger y analizar datos recientes. Los gráficos de control son utilísimos cuando se hace esto.
- (c) Decidir la unidad de garantía. Esta decisión es especialmente importante en la producción de materiales a granel.
- (d) Preparar gráficos de proceso de inspección y de garantía de calidad. Considerando el flujo de materiales, decidir la ubicación de los puestos de inspección y crear un plan de inspección que cubra la inspección de entrada, la inspección intermedia entre procesos, la inspección final, la inspección previa a la entrega, etc., que especifique los puntos en los cuales se debe detener el flujo de varios tipos de unidades defectuosas. Usualmente es mejor realizar la inspección en los procesos previos siempre que sea posible. Además, decidir qué inspecciones van a ser llevadas a cabo por el departamento de producción, y cuáles por el de inspección, y si hace falta la inspección por patrullas (itinerante) o centralizada.
- (e) Fijar las unidades de muestreo y de medida.
- (f) Decidir las características de calidad que hay que inspeccionar y el orden en que van a ser inspeccionadas. Seleccionar los métodos de medida y de ensayo. Cuando los planos indiquen muchas dimensiones, decidir cuáles de éstas van a ser inspeccionadas y quién va a hacerlo.
- (g) Fijar los criterios de inspección para cada característica de cada producto individual.
- (h) Decidir los niveles de calidad requeridos. En la inspección por muestreo, por ejemplo, decidir si los lotes se han de juzgar de acuerdo con el NCA, el PTUD, el LMCS, el  $(p_0, p_1, \alpha, \beta)$ , o  $p_{0.50}$ . Puesto que es importantísimo elegir uno de éstos y decidir el nivel en el que fijarlo, es necesario estudiar e investigar concienzudamente el propósito de la inspección (ver la sección 1 anterior) junto con los aspectos económicos de la inspección

por muestreo, el control de proceso y la disposición de los artículos defectuosos y los lotes rechazados.

- (i) Decidir cómo van a estar compuestos los lotes. Es mejor estratificar el producto con objeto de hacer que los lotes individuales sean lo más uniformes posible.
- (j) Decidir si se va a adoptar la inspección del 100%, la inspección por muestreo, la inspección cero, la inspección por variables, por atributos, etc.
- (k) Si se elige la inspección por muestreo, decidir lo siguiente:
  - (i) El plan de muestreo ( $n_b$ ,  $a_b$ ,  $r_b$ , etc.).
  - (ii) Los criterios para juzgar si se aceptan o rechazan los lotes,
  - (iii) El método para tomar las muestras (que sea todo lo concreto posible).
- (l) Decidir el método de disponer de los lotes aceptados y rechazados, y los artículos. Por muy cuidadosamente que se hayan fijado los criterios, la inspección es prácticamente inútil a menos que estos métodos de disposición estén claros. Decidir también cómo se va a indicar que los lotes y artículos están aceptados y rechazados.
- (m) Establecer un sistema para controlar el trabajo de inspección.
- (n) Decidir cómo se ajustará la inspección. Si es preciso, fijar los criterios para pasar de la inspección cero a la inspección de comprobación, la reducida, la normal, la estricta y la inspección del 100% para cada característica de inspección.
- (o) Establecer los métodos para revisar las normas de inspección. Por ejemplo, decidir cómo se retroalimentarán los datos de la inspección o la información del proceso previo, el siguiente, las reclamaciones, los estudios de mercado, etc., y por quién, cuándo y según qué procedimientos se revisarán las normas de inspección.
- (p) Decidir el estilo, el circuito de circulación y el método de uso de los impresos para los informes de las inspecciones, cuándo se deben rellenar, y quién debe hacerlo. Recuérdese que los directivos de alto nivel no deberían tener que ver los datos excesivamente detallados.

## 6.14 El tratamiento de las reclamaciones y la aceptación especial de un producto

### 6.14.1 ¿Qué son las reclamaciones?

El tratamiento de las reclamaciones ya se ha explicado en las secciones 1.4.1 y 6.4, pero, puesto que es un aspecto tan importante de la garantía de calidad, se resume aquí.

#### (1) Tipos de reclamaciones:

- Reclamaciones sobre la calidad y el servicio.
- Reclamaciones sobre la cantidad.
- Reclamaciones sobre las fechas de entrega.
- Reclamaciones sobre el precio.
- Reclamaciones que implican dinero.
- Reclamaciones que no implican dinero.
- Reclamaciones reales.
- Reclamaciones ocultas.
- Elección equivocada del producto.
- Entrega de un producto equivocado.
- Mal funcionamiento, mala reparación, mala opinión.
- Producto defectuoso.
- Reclamaciones sobre productos individuales.
- Reclamaciones sobre lotes de productos.
- Reclamaciones sobre la calidad de diseño.
- Reclamaciones resultantes de una mala inspección.
- Reclamaciones resultantes de un mal proceso de producción.
- Reclamaciones resultantes de que las piezas adquiridas son malas.
- Reclamaciones resultantes de un servicio post-venta malo.
- Reclamaciones resultantes de unos métodos de venta malos.

#### (2) Problemas del manejo de las reclamaciones: algunas advertencias

Ahora me gustaría explicar algunos problemas relativos a las reclamaciones y su manejo, y dar algunos consejos generales desde el punto de vista del CCT.

- (a) A menudo, los departamentos de ventas y las organizaciones para la distribución presumen de resolver las reclamaciones de la forma menos

dolorosa posible, creyendo que es mejor no destapar cualquier cosa que pueda causar problemas. Esto no hace más que mantener a las reclamaciones por debajo de la superficie y conduce a que no se actúe de ninguna forma.

- (b) En CC, se hacen esfuerzos positivos para sacar a la luz las insatisfacciones de los clientes y las molestias que sufren, poner de manifiesto las reclamaciones ocultas y eliminar sus causas. Usualmente, esto supone un aumento del número de reclamaciones cuando se inicia una campaña de CC en toda la empresa (ver la Figura 4.2).
- (c) Algunas empresas redactan reglamentaciones para el manejo de las reclamaciones y pasan por las formalidades cuando se reciben aquellas, pero aún padecen los problemas siguientes:
  - (i) Sólo se recibe información sobre las reclamaciones que implican dinero.
  - (ii) No se hace ningún esfuerzo por sacar a la superficie las reclamaciones ocultas.
  - (iii) Las opiniones de las personas que quieren reclamar no llegan a las personas de la empresa que realmente deberían escucharlas.
- (d) A menudo no se tratan las reclamaciones con suficiente cuidado y consideración, especialmente al final de la cadena en que la empresa se encuentra con el cliente. Si las reclamaciones no se tratan hábil y satisfactoriamente, se convertirán en problemas de responsabilidad civil por el producto.
- (e) Algunas empresas aún adoptan la actitud de que si se recibe una reclamación, es suficiente con sustituir el artículo causante por otro nuevo.
- (f) El tratar con el aspecto monetario de las reclamaciones a menudo dura demasiado, y la retroalimentación en forma de información sobre la reclamación e información sobre la calidad puede ser lentísima.
- (g) Se puede dedicar demasiado tiempo y esfuerzo en reclamaciones banales que, por alguna razón, han llegado a oídos de la alta dirección.
- (h) No todas las reclamaciones están justificadas. Es importante comprobar cuidadosamente las circunstancias de las reclamaciones. Por ejemplo, el número de reclamaciones se multiplica en periodos de recesión. En las reclamaciones sobre piezas, realmente las piezas sólo son culpables en la décima o la centésima parte de los casos.
- (i) Se debe examinar el número, los detalles y el grado de la gravedad de todas las reclamaciones. Si éstos caen dentro de ciertos límites, la calidad es saludable.
- (j) El hecho de que no se reciban reclamaciones no indica necesariamente que la calidad sea satisfactoria. Realmente, es una señal de peligró. Signi-

- fica que no se está recibiendo información sobre las reclamaciones y que los clientes se han resignado a la mala calidad.
- (k) Cuanto más alto sea el precio de un producto, es más probable que se reciban reclamaciones sobre él. Las personas no se quejan tanto de los artículos baratos; simplemente se guardan para sí las reclamaciones y dejan de comprar la mercancía.
  - (l) Las organizaciones de ventas y de distribución a veces tienen los problemas siguientes:
    - (i) No desean poner de manifiesto las reclamaciones ocultas ni de dar pasos positivos para hacerlo.
    - (ii) Carecen de los conocimientos sobre el producto y técnicos necesarios para comprender las reclamaciones y recoger información que sea útil para acometer acciones.
    - (iii) Emplean a pocos técnicos de ventas o a ninguno. Los técnicos de ventas son una necesidad absoluta, especialmente para los productos básicos,
  - (m) Puede que no haya un sistema para que los departamentos relacionados con el de ventas recojan activamente información sobre la calidad,
  - (n) Algunas empresas tienen demasiada prisa, y, equivocadamente, ordenan a los departamentos de diseño que adopten modificaciones siempre que se recibe una reclamación.
  - (o) En CC, el proceso siguiente es su cliente. Esto significa que un número muy elevado de reclamaciones deberían surgir dentro de la misma empresa, entre diferentes departamentos. También se tienen que controlar las reclamaciones internas formulando reglamentaciones para su manejo, del mismo modo que se manejan las reclamaciones externas.

## 6.14.2 Tratamiento de las reclamaciones

Se debe investigar el tratamiento de las reclamaciones y se debe ejecutar fielmente teniendo en cuenta los dos aspectos siguientes:

— *El aspecto externo* -dejar satisfecho al cliente: esto requiere rapidez, sinceridad, prevención de la reparación de problemas, e investigación sólida.

— *El aspecto interno*, que abarca:

- (1) La prevención de la reparación de problemas:
  - (a) eliminar el síntoma,
  - (b) eliminar la causa inmediata,
  - (c) eliminar las causas básicas.



- (2) El manejo del lado contable: instituir un sistema de contabilidad.
- (3) Disposición de los productos sobre los que ha habido reclamaciones.

El tratamiento del aspecto externo de las reclamaciones se explicó en la sección 6.4, y el tratamiento del aspecto interno, especialmente la prevención de la reaparición de problemas, se explicó en la sección 1.5.3. Para reiterar, sin embargo, el manejo fiable de las reclamaciones, se deben adoptar las siguientes medidas:

- (1) Formular reglamentaciones para el manejo de reclamaciones y dibujar un diagrama de flujo para el mismo.
- (2) Diseñar impresos estándar para los informes y enumerar los elementos a investigar para cada producto. Éstos deben incluir el nombre del producto, las circunstancias de la reclamación, las condiciones de uso, el lugar de uso, el nombre de la persona que investigue la reclamación, el nombre del usuario, la fecha en que se dio el fallo, la fecha de terminación del informe, el historial del producto (fecha de fabricación, número de lote, etc.), la fecha en que se recibió el producto, el método de transporte, la cantidad, el precio, los detalles técnicos de la reclamación, el método de inspección utilizado por el receptor del producto, los criterios de inspección, las causas aparentes, las medidas de emergencia adoptadas, la medida de prevención, las causas aparentes, si se devolvió o no el artículo defectuoso, etc.
- (3) Establecer una sección especial de reclamaciones.
- (4) Decidir quién va a cribar las reclamaciones y va a notificar a los departamentos responsables de tratarlas, y cómo se va a hacer esto. Es mejor poner a cargo de esto al departamento de garantía de calidad.
- (5) Designar a un departamento para que esté a cargo de preparar las estadísticas sobre las reclamaciones, informar a la alta dirección, y hacer recomendaciones a otros departamentos. También aquí es mejor hacer que el departamento de garantía de calidad sea responsable de esto.
- (6) El departamento de garantía de calidad debe asegurarse de que se gire adecuadamente alrededor del ciclo de control del manejo de las reclamaciones, desde la recepción y el registro de una reclamación, pasando por cada paso de su manejo (especialmente la prevención de la reaparición del problema), hasta su solución final.

### **6.14.3 Aceptación especial de un producto**

La aceptación especial, o "tal como está", significa dejar pasar especialmente a artículos que no han pasado la inspección de materias primas, la intermedia o la previa a la entrega. Algunas razones posibles para permitir la aceptación especial son:

- (i) Porque las especificaciones son demasiado estrictas,
- (ii) Porque son irrazonables la calidad diseñada o los planos,
- (iii) Porque la capacidad del proceso es insuficiente,
- (iv) Porque el control del proceso es inadecuado.
- (v) Porque las características de calidad no se clasificaron adecuadamente en orden de importancia (mayor, menor, o leve).

La razón más corriente es que las especificaciones son demasiado estrictas y no habrá ningún efecto sobre la calidad o el coste si los artículos que fallaron se aceptan tal como están. Si sucede esto, normalmente ello indica que hay irracionalidades en las especificaciones y en otras normas, o, como se menciona más abajo, se permite porque un producto no se convierte súbitamente en inutilizable cuando no se cumple un cierto valor especificado. De hecho, la aceptación "tal como está" es, probablemente, más común que lo contrario, y el problema es cómo controlarla.

Generalmente, es suficiente con observar las precauciones siguientes:

- (1) Estratificar la aceptación "tal como está" en varios niveles. Por ejemplo, puede que no haya ninguna objeción a aceptar especialmente artículos con defectos leves, pero, en principio, es inaceptable aceptar artículos con defectos críticos o mayores (si las especificaciones se han elaborado sobre una base racional). También se tienen que añadir ciertas condiciones a la aceptación "tal como está". Algunos ejemplos podrían ser usar un artículo después de secarlo, o limitar su uso a un fin particular. Tales condiciones deben ser establecidas por el departamento responsable de ordenar su aceptación tal como está.
- (2) Se deben establecer reglas estándar para la aceptación "tal como está", haciendo que sea innecesario pedir el permiso del director del departamento o del director de fábrica cada vez.
- (3) Puesto que la aceptación "tal como está" es un tipo de experimento, se deben registrar adecuadamente los detalles, y se deben hacer las disposiciones necesarias para que se tomen datos estratificados que permitan el seguimiento de los resultados. El análisis de los resultados puede que haga posible la relajación de las especificaciones.
- (4) Se deben idear medidas para prevenir la reaparición de los problemas de la aceptación "tal como está".
- (5) La posibilidad de la aceptación "tal como está" surge porque las especificaciones tienen valores definidos. Por ejemplo, un artículo con una longitud máxima especificada de 10,00 mm puede aún ser utilizable aunque su longitud sea de 10,01 mm. Sin embargo, puede que sea más difícil de usar, y se debe considerar la introducción de cláusulas penalizadoras junto con la aceptación "tal como está".

- (6) Hay que tener mucho cuidado con la aceptación "tal como está", puesto que su uso imprudente afectará adversamente a la concienciación en calidad de los empleados.
- (7) Si es preciso, se debería establecer un comité para la aceptación "tal como está".

## 6.15 Conclusiones

Puesto que la garantía de calidad es el alma del CCT, así como su *raison d'être*<sup>21</sup>, tenemos que seguir practicándola mientras fabriquemos y vendamos productos. La mera inspección no es garantía de calidad, pero es necesaria mientras se sigan produciendo unidades defectuosas. Desgraciadamente, en muchos casos todavía se necesita la inspección.

También tenemos que recordar que el trabajo de inspección tiene que ser controlado, igual que el trabajo de planta. Se deben observar los puntos siguientes, especialmente con la inspección del 100% y la sensorial:

- (1) Acoplar los niveles de inspección a los requisitos del cliente.
- (2) Proveer muestras límite en vez de muestras estándar.
- (3) Racionalizar las normas de inspección.
- (4) Controlar cuidadosamente la inspección, tratándola como si fuera una clase de proceso. Por ejemplo, comprobar si el cribado se está llevando a cabo adecuadamente sacando muestras de los grupos de productos buenos y malos y preparando gráficos de control.
- (5) Comparar la información de la inspección con los datos de CC y las reclamaciones.

Mientras practiquemos el control de calidad, tenemos que garantizar la calidad por medio de muchas clases de actividades así como de la inspección. El control de calidad que no garantice realmente la calidad es control de calidad sólo de nombre.

---

21

En francés en el original. (*N. de los T.*)

---

# La puesta en práctica sistemática del Control de Calidad Total

## 7.1 El Control de Calidad Total

Tal como he puesto de relieve repetidamente, el control de calidad total se tiene que poner en práctica sistemáticamente por toda la empresa conjuntamente con la dirección del personal, el control de costes, el control de beneficios y el control del volumen de producción y la programación de las entregas. Para conseguirlo, todos los empleados tienen que comprender bien los temas explicados en los seis primeros capítulos de este libro, mientras que la alta dirección tiene que examinar la historia de su empresa y las circunstancias presentes, establecer unas directrices claras para la política, y ejercer su sabiduría e ingenio para efectuar el CCT.

Este libro trata principalmente de los detalles de la puesta en práctica del CCT, i.e., sus aspectos técnicos; para una explicación de los aspectos directivos de la puesta en práctica sistemática del CCT, remito a los lectores a mi libro *TQC towa Nanika? - Nipponteki Hinshitsu Kanri* (What is Total Quality Control? - The Japanese Way, edición revisada y ampliada, JUSE Press, 1984; traducción al inglés por David J. Lu, Prentice-Hall, Inc. 1985)<sup>1</sup>. En este capítulo final me limitaré a resumir algunos de los principios rectores.

---

<sup>1</sup> Hay traducción al castellano: *¿Qué es el control total de calidad? La modalidad japonesa*, ed. Norma, 1986. (N. de los T.)

## 7.2 La organización del CCT

Al igual que los progresos técnicos y la racionalización industrial, el CCT es imposible sin la racionalización organizativa. Puesto que el CCT es una actividad global que requiere la participación de todos los departamentos y todos los empleados de una empresa, son esenciales los pasos siguientes:

- (1) Los propietarios y la alta dirección tienen que definir claramente la política.
- (2) La organización tiene que ser racionalizada, y la autoridad y la responsabilidad tienen que ser aclaradas.
- (3) El ámbito de la delegación de la autoridad y los métodos para controlar esto tienen que ser investigados con especial detenimiento.
- (4) Se puede establecer un sistema de cooperación recordando que una organización no existe para el beneficio de los individuos sino para el funcionamiento fluido de la empresa.
- (5) Debe ser aclarado el esquema organizativo para la dirección interfuncional así como, claro está, para la dirección intradivisional.
- (6) Se tienen que trazar distinciones claras entre el personal de línea y el de *staff*. Se tiene que restringir el comportamiento irrazonable por parte del personal de línea y de *staff*, lo que es un problema particular en Japón. El proceso siguiente del *staff* (i.e., su cliente) es la línea.
- (7) La dirección tiene que tratar de adoptar un enfoque más científico, designar libremente al personal técnico a departamentos administrativos, y viceversa, según se precise.

El contacto entre el productor y el consumidor reside en la base del control de calidad. Esto significa que, en el futuro, la rotación del personal entre los departamentos de ventas, materiales y control de costes, junto con la asignación de técnicos con talento a estos departamentos, será indispensable para las empresas.

Para poner en práctica adecuadamente el control de calidad, es necesario, finalmente, establecer una oficina de fomento del CCT, un departamento de control de calidad o de garantía de calidad que se dedique exclusivamente a las actividades del CC. Sin embargo, puede que sea mejor empezar por asignar la responsabilidad del CC a un departamento de *staff* próximo a la alta dirección (e.g., el departamento de planificación, el técnico, el de inspección, el de estudios o de explotación) además de su trabajo habitual. Conforme se vaya extendiendo firmemente el CC por toda la empresa y se establezca una atmósfera que lo fomente, se debe establecer una oficina para el fomento del CCT u otra organización, y aumentar gradualmente su autoridad. El establecí-

miento de esta organización desde el principio puede producir un resultado opuesto al deseado, puesto que tiende a dar la impresión equivocada de que el CC es reserva exclusiva de esta organización, creando así unos intereses locales e impidiendo el desarrollo del CC. Cualquier departamento puede ser responsable de promocionar el CC al principio, pero se debe hacer saber a todas las personas de la empresa. Claro está que cuando un grupo de la alta dirección piensa igual y el presidente de la empresa está dispuesto a dar un buen empujón, la oficina para el fomento del CCT debería ser establecida como un departamento de *staff* presidencial desde el principio.

### **(1) Los deberes del CCT y el departamento de Control de Calidad**

El departamento que está en el centro del fomento del CCT tiene varios deberes, incluyendo los siguientes:

- (A) El fomento y administración del CCT:
  - (i) trabajo del *staff* de la gestión de la política,
  - (ii) planificación y ejecución de la educación y formación en CC,
  - (iii) trabajo de planificación, ejecución y fomento como secretariado de auditoría de CC de alta dirección,
  - (iv) fomento de las actividades de los círculos de CC,
  - (v) estudiar y asistir al fomento intradepartamental del CCT,
  - (vi) fomentar el CCT por todo el grupo (subcontratistas, organizaciones distribuidoras y empresas filiales),
  - (vii) relaciones y cooperación con las actividades externas de CC.
- (B) Garantía de calidad:
  - (i) actuar como un centro de garantía de calidad,
  - (ii) actuar como un centro procesador de reclamaciones,
  - (iii) actuar como un centro para la garantía de calidad en el desarrollo de nuevos productos, posiblemente incluyendo el control de costes del desarrollo de nuevos productos y el control de los progresos realizados.
  - (iv) realizar auditorías de calidad,
  - (v) realizar inspecciones en recepción, intermedias, previas a la entrega, y otras,
  - (vi) ejercer autoridad ocasionalmente para detener la expedición de productos existentes y nuevos.
- (C) Trabajo del *staff* de CC:
  - (i) actuar como *staff* general, prestando ayuda y consejo sobre los problemas de calidad al presidente de la empresa, a los directores de departamentos de la oficina central, a los directores de fábrica, de sucursales, etc.

- (ii) proporcionar un servicio de garantía de calidad a todos los departamentos,
- (iii) asistir al fomento del CC para organizaciones tales como las de subcontratistas, distribuidoras, y empresas filiales, y promover la garantía de calidad en todo el grupo.

Todos los deberes anteriores se pueden asignar a una única oficina de fomento del CCT o, en empresas muy grandes, se puede compartir el trabajo entre tres organizaciones diferentes, e.g., una oficina de fomento del CCT, un departamento de garantía de calidad y un departamento de inspección, o dos organizaciones si el departamento de inspección forma parte del departamento de garantía de calidad. Si se hace esto, los deberes enumerados en (A) deben ser llevados a cabo principalmente por la oficina de fomento del CCT, mientras que los enumerados en (B) y (C) (excepto la inspección) deben ser realizados por el departamento de garantía de calidad. La inspección debe ser un trabajo de línea para el departamento de inspección.

El trabajo de la oficina de fomento de CCT y del departamento de garantía de calidad consiste principalmente en deberes de *staff* general y de *staff* de servicio.

## **(2) ¿Quién debe ponerse a cargo del fomento del CCT?**

Usualmente, se pone a las personas que saben mucho de métodos estadísticos a cargo del control de calidad, pero esto es una equivocación. A partir de ahora todos los empleados tendrán que aprender los métodos estadísticos para tener la cualificación básica para mantener su empleo, y está mal, e incluso puede ser perjudicial, poner a personas a cargo del fomento del CCT o del CC simplemente porque conocen estos métodos o han empezado a investigarlos un poco antes que los demás. Aprender a utilizar las herramientas estadísticas no es más que adquirir unos conocimientos básicos que faltaban en el pasado.

Las personas a cargo de fomentar el CCT son aquellas que son responsables de ponerlo en práctica en su puesto determinado, e.g., los encargados y supervisores de puestos de trabajo, los directores de sección, de departamento, de fábrica, de sucursales, directores, el presidente de la empresa, etc.

## **(3) Selección del personal para el departamento de fomento del CCT**

En las empresas que están a punto de introducir el CCT, el personal del fomento del CCT es responsable de difundir los conceptos y los métodos del CCT y del CC, y de educar a las personas para estos, así como de fomentar su puesta en práctica. Puesto que estarán en el centro del fomento y puesta en

práctica del CCT, es importante seleccionar a las personas que tengan todas las cualificaciones siguientes posibles:

- (a) *Experiencia*: el *staff* debe tener por lo menos tres años de experiencia de trabajo en un departamento de línea tal como el de planta o una sucursal, y debe tener amplios conocimientos técnicos prácticos. Si es posible, deben tener experiencia en la construcción y dirección de fábricas, oficinas, etc. El conocimiento de las técnicas estadísticas es conveniente pero no esencial, puesto que éstas se pueden aprender más adelante.
- (b) *Personalidad*: el *staff* debe ser bien aceptado dentro de la empresa, y debe ser cooperativo y diplomático en el mejor sentido. No debe dejarse llevar por especulaciones idealistas e hipótesis sin fundamento, sino que debe basar sus conclusiones en una apreciación no distorsionada de los hechos. Deben ser personas incansables y trabajadoras y no ser ni temperamentales ni intolerantes.
- (c) *Compleción física y emocional*: deben ser física y mentalmente resistentes.

Puede que la empresa no tenga a nadie que cumpla perfectamente estas condiciones, pero la alta dirección debe seleccionar a aquellos que estén más cerca para que formen el *staff* de la oficina de fomento del CCT. Se deben designar a las personas que tengan una experiencia variada, y el *staff* para el fomento del CCT debe trabajar unido para complementar los puntos fuertes y los débiles de cada uno y satisfacer los requisitos anteriores en conjunto.

Es especialmente importante la selección de la persona que esté al frente del departamento para el fomento del CCT, desempeñe el papel director en la oficina de fomento del CCT, presida el grupo de estudio del CCT o tenga cualquier otro cargo de autoridad durante la introducción del CCT. Si se selecciona a la persona equivocada, o hace las cosas de la manera equivocada, se retrasará mucho la puesta en práctica total del CCT. Esto ha sucedido frecuentemente hasta en Japón. Claro que esto también es cierto en todas las situaciones; sólo las mejores personas deben ser puestas a cargo de los departamentos nuevos importantes.

El personal de la oficina de fomento del CCT también debe incluir una o dos personas que tengan unos conocimientos superiores de las técnicas estadísticas. Actualmente en Japón las fábricas y los departamentos grandes exigen por lo menos uno o dos expertos estadísticos, quienes también pueden ser formados después de su designación. El personal de inspección al estilo antiguo es, a menudo, inadecuado para el *staff* de las oficinas de fomento del CCT o de los departamentos de garantía de calidad.



#### **(4) Comités de CCT o CC**

El comité de CCT o CC desempeña el papel principal en la puesta en práctica y el fomento del control de calidad en la empresa y sus fábricas cuando se introduce el CC por primera vez, y se tiene que tener mucho cuidado con su organización y dirección. El que se forme un comité de CCT o de CC es una cuestión que se decidirá sola espontáneamente cuando la empresa o su alta dirección decida la clase de punto de vista desde el cual quiere fomentar el CCT. Son posibles los siguientes tipos de organización:

##### **I. Comité empresarial:**

- a) Presidente: presidente o vicepresidente (el número 1 ó 2 de la empresa).
- b) Miembros: directivos o directores de departamentos a cargo de las ventas, la producción, la tecnología, las compras, la contabilidad, el personal y el control de calidad, junto con los directores de fábrica.
- c) Secretario: director del departamento de control de calidad o director de sección.

##### **II. Comité de fábrica o de sucursal:**

- a) Presidente: director de fábrica o director de sucursal.
- b) Miembros: directores de departamento, o directores de sección donde sólo haya un departamento (debe ser incluido el *staff* técnico y el administrativo).
- c) Secretario: director del departamento de control de calidad o director de sección.

En las fábricas o sucursales con departamentos y secciones muy grandes cada departamento debe establecer un comité departamental y varios subcomités según las líneas de los ejemplos anteriores. Estos comités deben empezar por considerarse a sí mismos como grupos educativos, y deben reunirse periódicamente (por lo menos una vez al mes) para discutir los puntos enumerados a continuación:

- (1) Finalización de los programas de fomento del CCT o del CC, incluyendo los programas de educación y normalización.
- (2) Asuntos relacionados con la gestión de la política.
- (3) Metas para la calidad, niveles de calidad, fabricación de prototipos, etc., para los nuevos productos.
- (4) Problemas importantes de calidad, normas de calidad y metas.
- (5) Elementos de calidad prioritarios para análisis.

- (6) Problemas en áreas individuales y manejo de reclamaciones y quejas.
- (7) Informes sobre la eliminación de las anomalías de los procesos.
- (8) Otras cuestiones importantes relativas al control de calidad, e.g., establecimiento de comités de dirección interfuncionales, o suspensión de envíos de producto.
- (9) Actividades de los círculos de CC y actividades de los equipos de CC.

Además, se pueden adoptar, según se precise, grupos y secretariados para el fomento del control de calidad, comités de dirección interfuncionales, equipos de CC, sistema del "director a cargo", etc.

## 7.3 Programas de fomento del CCT

### (1) Programas de CCT a largo plazo

Cuando se fomente el CCT, se tiene que fijar un programa a largo plazo (por ejemplo, un plan a cinco años) dentro de la política de dirección. También es importante hacer que el programa forme parte integrante del plan empresarial a largo plazo de la empresa. Las empresas japonesas han tenido, durante mucho tiempo, planes de beneficios, ventas y producción a largo plazo pero han fracasado ostensiblemente en incluir en ellos programas de calidad a largo plazo. Si los programas de calidad no se unifican con otros planes empresariales, el CCT y la dirección serán considerados como entidades separadas y las personas caerán fácilmente en la ilusión de que el CCT es algo aparte de su trabajo normal cotidiano. El CCT tiene que ser una parte inseparable de los deberes rutinarios de todo el mundo. En un programa de CCT a largo plazo se deben incluir los siguientes puntos:

- (i) Gestión de la política (nota: la gestión de la política está incluida cuando el CCT se pone en práctica en su sentido amplio).
- (ii) Planes para el desarrollo de nuevos productos y la eliminación de productos obsoletos.
- (iii) Programas para la mejora de la calidad.
- (iv) Programas para la garantía de calidad (en sentido amplio).
- (v) Educación para el CC y programas de formación, planes de organización y personal.
- (vi) Planes de promoción de la normalización (materiales y reglamentaciones).
- (vii) Planes para la subcontratación, las compras y las materias primas,
- (viii) Planes para las ventas, la distribución, el servicio y los consumidores.
- (ix) Planes para el fomento de las actividades de los círculos de CC.

## **(2) Programas de educación y formación (ver la sección 1.6.7)**

La educación y la instrucción de todos los empleados es una parte vital del fomento del control de calidad. Sin ellas el control de calidad se convertiría simplemente en un pasatiempo para un grupo selecto de personas. La educación de la mano de obra debe tener los siguientes fines:

- (a) Hacer que la calidad sea cosa de todos.
- (b) Asegurarse de que todo el mundo comprende la nueva filosofía del control de calidad (calidad y control; ver, por ejemplo, las secciones 1.4 y 1.6).
- (c) Hacer que todo el mundo comprenda el enfoque estadístico (ver la sección 2.2).
- (d) Permitir que todo el mundo capte la filosofía y los métodos de las actividades de los círculos de CC (ver la sección 1.10).

Sin embargo, puesto que las personas que están en diferentes niveles de la organización necesitan saber cosas diferentes, la educación tiene que acomodarse a los diferentes grados, como se indica más abajo (la palabra "filosofía" que figura más abajo se refiere a las cuatro filosofías de calidad, control, métodos estadísticos y actividades de los círculos de CC):

- (i) La alta dirección necesita fundamentalmente comprender la filosofía (ver los Capítulos 1 y 2).
- (ii) Los directivos medios tienen que comprender la filosofía, el uso de los gráficos de control, y algunas técnicas estadísticas (todo este libro).
- (iii) Los técnicos generales deben comprender la filosofía más las técnicas estadísticas introductorias, incluyendo los gráficos de control
- (iv) Los técnicos de alto nivel, al igual que los ingenieros generales, necesitan comprender la filosofía y las técnicas estadísticas, pero sus conocimientos de las últimas deben estar a un nivel ligeramente superior.
- (v) Los administrativos deben comprender, por lo menos, lo mismo que los directores medios, y algunas personas tienen que llegar hasta el nivel de los técnicos de alto nivel.
- (vi) Los supervisores de los puestos de trabajo deben comprender la filosofía y las siete herramientas del CC, si es posible tanto como los técnicos generales.
- (vii) Los trabajadores deben, inicialmente, comprender la filosofía y algunas de las siete herramientas del CC; posteriormente deben comprender las siete.
- (viii) Los estadísticos deben estar bien versados en las técnicas estadísticas avanzadas, el diseño de experimentos, la investigación operativa, la investigación de marketing, etc.

La educación puede ser más eficaz si se invita a expertos del exterior para que dirijan programas de formación, o se envíe a las personas a seminarios externos, pero, al final, todo depende de los esfuerzos de las personas que están a cargo del control de calidad dentro de la empresa. La forma como se introduzca es especialmente importante, como lo es el seguimiento adecuado.

Se deben preparar y programar por adelantado programas educativos de tres o cinco años para todos los niveles anteriores. Si es posible, todos los empleados deben haber terminado su educación en el último año. Igualmente, puesto que la masa laboral cambia continuamente, estos programas educativos se tienen que proseguir mientras exista la empresa. Los programas educativos y los de asignación de personal deben estar relacionados, y el historial educativo de cada persona debe ser incluido en su historial personal. Este historial educativo debe ser tenido en cuenta cuando se examine la organización y la designación de su *staff*. Las actividades de los círculos de CC son eficacísimas para hacer esto.

### **(3) Programas de normalización**

Las siguientes cuestiones tienen que ser acometidas en los programas de normalización de la organización:

- (i) Cómo deben clasificarse las diferentes normas y qué sistemas de normalización se deberían establecer.
- (ii)Cuál es la fecha tope para completar cada norma.
- (iii) Se tienen que preparar las reglamentaciones de control para las normas, y especificar los impresos y los métodos para rellenarlos.

Ver en las secciones 1.5.2 y 5.4 las clases de elementos a incluir en las normas y reglamentaciones.

La denominación de las normas se puede elegir libremente según la costumbre de la empresa. Algunos ejemplos podrían ser "reglamentaciones", "especificaciones", "procedimientos" u "órdenes". Las normas básicas de una empresa son sus cláusulas de constitución; las demás normas se formulan alrededor de éstas. Las normas particular e íntimamente relacionadas con la calidad incluyen los tipos descritos más adelante. Hay casi un número infinito de diferentes tipos de normas y de maneras de clasificarlas, pero, en principio, es mejor empezar por preparar el mínimo número de normas eficaces y practicable, e ir agregando las demás conforme sea necesario.

- (1) Normas de calidad de productos, i. e., normas que regulan la calidad de los procesos individuales: normas para los productos finales e intermedios. Las normas para el muestreo, las medidas y los ensayos pueden o incluirse en éstas o dejarlas aparte.

- (2) Normas de calidad de materias primas, i. e., normas que regulan la calidad de todos los tipos de materiales adquiridos, materiales suplementarios, piezas, etc. Éstas pueden incluir las reglamentaciones para hacer los pedidos, los plazos de entrega y el manejo de materiales.
- (3) Normas de métodos de ensayo, normas de métodos de medida, normas de control de medidas, normas de métodos de muestreo, normas de inspección, planes de inspección estándar. Normas de inspección tales como las regulaciones de la puesta en práctica de la inspección, los métodos de ensayo, los métodos de medida y los de muestreo pueden escribirse separadamente (en cuyo caso, las normas de los productos individuales indicarán qué norma de inspección se tiene que usar), o pueden ser incluidas en las normas de productos individuales. Las reglamentaciones de la puesta en práctica de la inspección son una clase de normas de trabajo para la inspección y deben especificar la combinación de métodos de inspección a utilizar. Deben incluir los criterios de inspección, el manejo de las unidades defectuosas, la disposición de los lotes no conformes y una descripción de la responsabilidad y la autoridad en cuestiones tales como la aceptación "tal como está".
- (4) Normas técnicas (incluyendo la tasa de producción estándar, la cantidad estándar para una unidad de producto, el rendimiento estándar, etc.), las normas de diseño, las de la tecnología de diseño, y las reglamentaciones para el desarrollo de nuevos productos.
- (5) Normas de trabajo, instrucciones de trabajo, directrices de trabajo, normas de control. En sentido amplio, las normas de trabajo especifican lo que cada empleado debe hacer. Además de tratar con el trabajo rutinario realizado en planta, deberían incluir también, por tanto: las normas del trabajo de inspección (reglamentaciones de la puesta en práctica de la inspección), las normas de muestreo, medidas y trabajos del análisis de ensayos, la preparación de los documentos para contratos, el control de las medidas, el manejo de las reclamaciones, la gestión de ventas, el control de stock, los estudios de mercado, la información de la calidad, las normas para controlar los procesos por medio de los gráficos de control, el control de equipos, planta y máquinas, el control de calibres y herramientas, los experimentos de fábrica, la gestión de la seguridad e higiene, la gestión de la educación, la formación y las habilidades, el control del transporte y del volumen de producción, el control de la mano de obra, el control de presupuestos, el control de costes, la dirección del personal, la administración, los impresos estándar para toda clase de informes, vales, etc., y las normas de trabajo para organizarlos y archivarlos.

- (6) Normas organizativas, regulaciones de los comités (para los comités de control de calidad y de nuevos productos). Las normas organizativas especifican los deberes y el trabajo estándar de los empleados de alto nivel (e.g., desde el nivel de *staff* hasta el de director) y del personal administrativo. A veces, se llama a estas normas "descripciones de trabajo" o "directrices de gestión". Su propósito particular es delegar la autoridad y aclarar las relaciones entre diferentes niveles de la jerarquía organizativa.
- (7) Normas para la gestión de la política y la transmisión de información, normas para el control de artículos, y normas para el sistema de información.
- (8) Reglamentaciones del control de normas.

Para que sea eficaz el uso de los tipos anteriores de normas es necesario especificar el método para controlar cada norma. Las normas que hacen esto se llaman reglamentaciones del control de las normas. Deben especificar lo siguiente:

- Quién debe formular las normas, cuándo y de qué manera, y de quién se tiene que obtener la aprobación; quién va a preparar los borradores de los programas educativos, cuándo se va a hacer esto y de quién se tiene que buscar la aprobación para las revisiones.
- Cómo se van a archivar, organizar, difundir, revisar y comprobar las normas.

Las normas deben prepararse de acuerdo con la política de dirección, con el fin de alcanzar objetivos específicos. Su preparación es deber de los técnicos y los especialistas administrativos. En principio, la normalización sólo empieza a hacer progresos realmente después que se hayan decidido la política de gestión y los objetivos. La normalización superflua que tiene objetivos poco claros puede transformarse fácilmente en una normalización porque sí.

#### **(4) Programas de racionalización organizativa y de dirección interfuncional**

Conforme proseguimos con la normalización y el control de calidad, acabaremos por enfrentarnos con el problema de la racionalización organizativa. Por tanto, es mejor decidir por adelantado cuándo comenzar a acometer esto. Dado el estado actual de muchas empresas, puede ser difícil crear la organización ideal en un corto lapso de tiempo, especialmente en las áreas de producción, tecnología, inspección y control. Probablemente sea mejor preparar un programa que proceda gradualmente.

Aunque los departamentos individuales puedan estar muy bien organizados, tradicionalmente las empresas japonesas exhiben una fuerte tendencia a crear intereses locales, con unos enlaces interfuncionales debilísimos. Por tanto, es una buena idea, simultáneamente a la introducción del CC, establecer comités de dirección interfuncionales (e. g., para garantía de calidad, desarrollo de nuevos productos, beneficios, costes, volumen de producción, ventas, personal, subcontratación y empresas filiales), idear y expedir un programa para construir un sistema de dirección interfuncional.

Puesto que los intereses locales suelen aparecer en todas las áreas de la sociedad humana, a continuación se exponen algunas ideas que pueden servir para romperlo:

- (a) La responsabilidad de deshacer el regionalismo reside en la alta dirección.
- (b) Fundamentalmente, el establecimiento de contactos horizontales es deber de los directivos medios, los jefes de sección y los directores de departamento.
- (c) Todos los empleados deben comprender, y actuar de acuerdo con, la idea de que "el proceso siguiente es su cliente".
- (d) Se deben crear comités interfuncionales para aclarar los deberes y las responsabilidades de cada función y establecer relaciones interfuncionales.
- (e) Se debe delegar ampliamente la autoridad a equipos de CC, y se debe hacer un uso total de las actividades de los círculos de CC.
- (f) Se deben formar círculos de CC conjuntos y hay que asegurarse de que se mantienen activos.
- (g) Se pueden formar pequeñas unidades de gestión tales como el sistema de divisiones.

## 7.4 Control de los diseños

Puesto que el control del diseño se tocó en la explicación de los sistemas de garantía de calidad, en las secciones 1.6.2 y 6.3, y también se dieron algunas máximas pertinentes en la sección 1.1.2 (5), aquí explicaré sólo los puntos principales.

La planificación, el diseño, la fabricación de prototipos y la evaluación no son dominio exclusivo del departamento de diseño. Deben ser llevados a cabo en grupos o equipos que incluyan a otro personal relacionado. El diseño significa hacer realidad los planes para el producto que se decidieron en la empresa.

El trabajo de diseño es la producción, en pequeño volumen y gran variedad, de los productos que son los planos, y, por tanto, debe comenzar desde el

punto de vista del cliente. Los planos sólo deben prepararse después de que se hayan comprobado cuidadosamente las condiciones de uso, se haya realizado la investigación del producto, y se hayan investigado los métodos de producción y las capacidades de proceso.

La preparación de los planos va acompañada inevitablemente de equivocaciones y un incremento de la variedad de piezas requeridas. Para obviar esto, debemos fomentar la normalización de los diseños y de las piezas, así como eliminar los errores en los planos, hacer más estricto el sistema para comprobar los mismos, erradicar los cambios en planos y diseños, y preparar planos que permitan que los productos se fabriquen sin ajustes.

El uso de las herramientas del CC tales como el análisis de Pareto y las hojas de comprobación ayudarán a ello, y debemos pensar en la fabricación de prototipos como si fuera un experimento y hacer uso de los métodos de diseño de experimentos. Los métodos estadísticos también son útiles para determinar las tolerancias y los factores de seguridad.

## **7.5 El control de las materias primas, de subcontratistas, y el CCT para las pequeñas y medianas empresas**

### **(1) Control de subcontratistas**

Una media del 70% (entre el 50% y el 85%) de los costes de la producción industrial japonesa se gasta en materias primas, piezas y procesos. No hay modo de producir buenos productos si los materiales, las piezas o los procesos son malos, y por esto las grandes empresas de Japón unieron sus fuerzas con las fábricas subcontratadas y otras pequeñas y medianas empresas para fomentar el CCT a partir de finales de los años sesenta en adelante. Esto ha permitido que la industria produzca productos de alta calidad a unos precios razonables, reducir la cantidad almacenada de piezas y ganar en la competencia mundial. También se han formado asociaciones cooperativas y otros grupos, y los compradores y los vendedores se han hecho aliados.

En contraste, la proporción de los costes de producción debidos a las materias primas, piezas y procesos en algunos países es ligeramente superior al 50%, menos que en Japón. Esto es porque los proveedores se consideran como enemigos en los que no se puede confiar, y las piezas adquiridas tienen unas proporciones altas de defectos. Como consecuencia, las cantidades de piezas almacenadas son altas, con unos cargos correspondientes elevados debidos a los intereses.



Ejemplo: la empresa A tiene la siguiente política básica para promover y desarrollar a los subcontratistas:

1. No compramos a empresas que no suministren a otros fabricantes. En el futuro, limite la proporción de productos que nos suministre a un máximo del 50% de su producción total.
2. No compramos a empresas que no nos manifiesten sus opiniones y sugerencias.
3. Puesto que estamos adoptando un sistema de compras garantizadas (un sistema de compras de inspección nula), someta sus provisiones a la garantía de calidad adecuada.

El control de calidad total significa pensar en la calidad del subcontratista, la cantidad, los plazos de entrega y el control a largo plazo. Cuesta tiempo conseguir buenos subcontratistas.

## **(2) Los diez principios del Control de Calidad para los compradores y los vendedores**

Para racionalizar la relación entre compradores y vendedores, y para mejorar la garantía de calidad, en 1960 se formularon los siguientes diez principios del control de calidad (titulados "Los diez principios para las relaciones comprador-proveedor desde el punto de vista del control de calidad"); algunos se revisaron en 1966:

Introducción: tanto el comprador como el proveedor deben practicar sinceramente los diez principios siguientes, al mismo tiempo que promueven un espíritu de confianza mutua, cooperación y tolerancia, y el sentido de responsabilidad social:

- (i) El comprador y el proveedor son responsables de comprender los sistemas de calidad del otro, y de trabajar juntos para poner en práctica el control de calidad.
- (ii) El comprador y el proveedor deben conservar su autonomía individual al mismo tiempo que respetar la independencia del otro.
- (iii) El comprador es responsable de presentar sus requisitos al proveedor de forma que el proveedor comprenda claramente lo que debe fabricar.
- (iv) Antes de empezar cualquier transacción comercial, el comprador y el proveedor deben redactar y firmar los contratos adecuados que cubran cuestiones tales como la calidad, la cantidad, el precio, las fechas tope de entrega y las condiciones de pago.

- (v) El proveedor es responsable de garantizar que los materiales suministrados tengan la calidad que satisfaga al comprador durante su uso. También es responsable de suministrar los datos objetivos necesarios para confirmar esto, a su requerimiento.
- (vi) Cuando se redacte el contrato, el comprador y el proveedor deben decidir los métodos de evaluación que sean satisfactorios para ambas partes.
- (vii) Cuando se prepare el contrato, el comprador y el proveedor deben decidir los métodos y procedimientos para solucionar amistosamente las discrepancias.
- (viii) El comprador y el proveedor deben dar la debida consideración a los puntos de vista del otro, e intercambiar la información necesaria para cada parte, para el control de calidad.
- (ix) Para asegurar una relación fluida, tanto el comprador como el proveedor deben, en todo momento, gestionar adecuadamente las actividades empresariales tales como los pedidos, la producción, la planificación de inventarios, la administración y la organización.
- (x) En sus transacciones comerciales, tanto el proveedor como el comprador deben siempre tener en cuenta el interés del consumidor final.

La Tabla 7.1 resume la relación entre el proveedor y el comprador en garantía de calidad. Se puede considerar que la relación del CC es más avanzada conforme pasa del primer paso al octavo de la tabla. No hay que obsesionarse con la idea de comprar con inspección nula y dejar de llevar a cabo la inspección cuando realmente hace falta.

**Tabla 7.1: Relación de Garantía de Calidad entre el proveedor y el comprador**

| Proveedor                                    |                             | Comprador                                    |                     |
|--|-----------------------------|--|---------------------|
| Producción                                   | Inspección                  | Inspección                                   | Producción          |
| 1. -   | -                           | -  | Inspección del 100% |
| 2. -   | -                           | Inspección del 100%                          |                     |
| 3. -   | Inspección del 100%         | Inspección del 100%                          |                     |
| 4. -   | Inspección del 100%         | Inspección por muestreo o de verificación    |                     |
| 5. Inspección del 100% (inspección autónoma) | Inspección por muestreo     | Inspección por muestreo o de verificación    |                     |
| 6. Control (control autónomo)                | Inspección por muestreo     | Inspección de verificación o inspección cero |                     |
| 7. Control                                   | Inspección por verificación | Inspección de verificación o inspección cero |                     |
| 8. Control                                   | Inspección cero             | Inspección cero                              |                     |

### **(3) Diez puntos para su lista de comprobación del AV**

El análisis del valor (AV) es útil para controlar las materias primas. A continuación hay una lista de comprobación utilizada por General Electric<sup>2</sup>:

- (i) ¿Añade valor el uso de la materia prima?
- (ii) La materia prima ¿vale lo que cuesta para esa aplicación particular?
- (iii) ¿Hay alguna pérdida intrínseca en forma de materia prima?
- (iv) ¿Se puede disponer de algo más apropiado?
- (v) ¿Hay forma de hacerlo más barato?
- (vi) ¿Se puede utilizar un artículo estándar?
- (vii) ¿Se puede utilizar la materia prima con un plan adecuado al volumen de producción?
- (viii) ¿Es adecuado el coste cuando se compara con los costes totales de materiales, costes de mano de obra, costes indirectos y beneficios?
- (ix) ¿Hay proveedores más fiables o más baratos?
- (x) ¿Hay alguien que compra el mismo material más barato?

### **(4) Criterios para seleccionar a los proveedores desde el punto de vista del CC<sup>3</sup>**

Los puntos siguientes se refieren a las fuentes externas y las compras:

- (a) ¿Se ha establecido una política básica? ¿Pretende funcionar como fabricante especialista o como grupo industrial? ¿Se han de seleccionar a los proveedores actuales o se tienen que desarrollar unos nuevos?
- (b) Ver los "Diez Principios de las Relaciones Comprador-Proveedor" descritas en el área de la sección 7.5 (2).
- (c) Para clasificar a los proveedores se tienen en cuenta los siguientes criterios: organización y grado de desarrollo del control de calidad y de la garantía de calidad; habilidades y cualidades personales de la alta dirección; nivel de dirección empresarial; independencia; estado financiero; nivel técnico; estado del equipo; número de años durante los que se han mantenido relaciones con anterioridad; seriedad; utilización de subcontratistas; relaciones entre la mano de obra y la dirección; grado de cooperación (para cumplir las fechas tope de entrega); precio.
- (d) ¿Las compras se van a hacer por medio de una auditoría de CC o de la inspección?
- (e) Clasificar las piezas (e.g., A, B, C, D) y cambiar convenientemente el sistema de pedidos.

---

<sup>2</sup> Nota del editor de la versión inglesa: Puesto que es una traducción del japonés, puede que las palabras no se correspondan exactamente con las del original.

<sup>3</sup> Kaoru Ishikawa, *Hinshitsu Kanri* (Control de Calidad), vol. 15 (1964), n° 8, p. 567 (en japonés).

- (f) Algunas empresas japonesas tienen una estrategia de compras internacional desde finales de los años cincuenta, y actualmente la mayoría de las empresas han empezado a comprar y subcontratar fuera de Japón. ¿Tiene la empresa en consideración la capacidad para hacer esto, y ha desarrollado a las personas con las habilidades requeridas?
- (g) La selección de proveedores se debe revisar periódicamente. En la revisión se debe tener en cuenta lo siguiente:
  - Educación del proveedor: educación en grupos (por iniciativa propia); comités; grupos de cooperación; equipos de CC conjuntos; círculos de CC; grupos de estudio de CC y visitas mutuas; recomendaciones individuales, sistemas de sugerencias; ajuste de la inspección; sistemas de primas y penalizaciones; racionalización de los contratos; cancelación de los contratos con los proveedores inadecuados; reducciones planificadas de precios.
  - Sistemas de pedidos y entrega: entrega a fecha fija; entrega a día fijo; entrega a granel; pedidos de cantidades fijas; pedidos a periodo fijo; pedidos planificados; compras al contado.
  - Sistemas de control del almacén de producto acabado.
  - Sistemas de compras: sistema de estimación; sistema de subastas públicas; sistema de subastas privadas; negociación individual.
  - ¿Son necesarios los ensayos conjuntos?
  - Racionalización de contratos.
  - ¿Quién decide si se van a fabricar las piezas en casa o se van a comprar fuera, y cuándo y cómo se hace esto?
  - Fuentes externas para los productos acabados; si hay que fabricarlos en casa, pedirlos a un proveedor externo, hacer de fabricante de equipos originales, fabricar en el extranjero, etc.

### **(5) Los diez mandamientos para las pequeñas y medianas empresas**

- (i) El público volverá la espalda a un negocio que no aporte nada a la sociedad.
- (ii) Desarrollar y favorecer a las personas promocionables, racionalizar la selección de personal y apartar de la alta dirección a las personas ineficaces.
- (iii) Establecer relaciones constructivas y cooperativas entre la mano de obra y la dirección, y hacerse responsable de los empleados y sus familias.
- (iv) Desarrollar la conciencia de la alta dirección en el control de calidad y la mejora, concentrarse en el desarrollo de nuevos productos, y convertirse en un fabricante especialista.

- (v) Dominar el enfoque estadístico, basar las políticas y los planes en los datos estadísticos, y hacer uso de los estudios de mercado. Conocer los procesos y las capacidades de fabricación de su propia empresa.
- (vi) No depender exclusivamente de pedidos de una sola empresa. Conservar la independencia y no aceptar más del 50% de los pedidos a una empresa; si es posible, reducir este número al 20% o menos,
- (vii) No poseer demasiados activos fijos o inversiones excesivas en equipo; esto puede conducir a la falta de activos o a una liquidez insuficiente cuando haga falta.
- (viii) Por las mismas razones, controlar cuidadosamente los inventarios y las ventas a crédito.
- (ix) No depender de mano de obra barata.
- (x) Evitar costumbres empresariales irracionales tales como la falta de entusiasmo o de liderazgo por parte de la alta dirección, la ignorancia, el manejo indeciso de los problemas, la falta de experiencia, el reparto excesivo de beneficios, inversión insuficiente en educación, falta de desarrollo del personal, y no seleccionar y designar a personas competentes.

## **(6) Control de la entrega**

Las siguientes son recomendaciones a tener en cuenta además del control de las materias primas y de los subcontratistas:

- (a) Definir claramente lo que significa la entrega, fijar fechas tope específicas, y asegurarse de que todo el mundo participa del espíritu para cumplir esas fechas tope.
- (b) Definir claramente lo que significa no cumplir una fecha tope o hacer una entrega incorrecta. Fechas tope irrazonables y retrasos en la emisión de los planos o las materias primas son causas frecuentes de no cumplir los plazos de entrega. El comprador o contratista es responsable entre el 60% y el 70% de los problemas en las relaciones entre el proveedor y el comprador y de que haya demasiados lotes malos o unidades defectuosas y entregas incorrectas, mientras que el proveedor o subcontratista tiene sólo entre un 30% y un 40% de responsabilidad.
- (c) Hacer uso del análisis de Pareto.
- (d) Suministrar a los proveedores la retroalimentación de la información de la calidad.
- (e) Comprobar los cambios en la calidad de los artículos suministrados, las capacidades de los procesos, los lotes malos y los productos defectuosos.

- (f) Examinar el porcentaje de unidades defectuosas después de la inspección en recepción y decidir si se debería cambiar el método de inspección en recepción o el proveedor.

## **7.6 Control de los equipos, control de calibres y herramientas, y control de las medidas**

La filosofía que hay detrás de estos tres tipos de control es básicamente la misma (ver las secciones 1.6.4 y 1.6.6).

- (1) Históricamente, los métodos de control de equipos empezaron con un plan para reparar los equipos porque se habían estropeado; esto evolucionó al mantenimiento preventivo para evitar que aquellos se estropearan. El acontecimiento siguiente implicó el asegurarse de que los equipos mantienen y mejoran sus capacidades de proceso; el acontecimiento más reciente ha sido centrarse en mejorar la fiabilidad de los equipos por medio del MPT.
- (2) Para realizar los estudios de capacidades de los procesos, se tiene que decidir quién es responsable de la investigación, del mantenimiento y la mejora. El mantenimiento preventivo desaparecerá si no se es consciente de la precisión dinámica, la precisión estática, y del enfoque estadístico.
- (3) Las consideraciones que implican las normas de inspección y mantenimiento para los equipos e instrumentos de medida son: ¿Quién las va a preparar, el fabricante? Y ¿se dispone de la tecnología de inspección requerida?
- (4) Si hay paradas frecuentes después de la inspección y el mantenimiento, hay que preguntarse si son adecuadas las normas operativas de los ensayos.
- (5) ¿Qué departamento es responsable del control de equipos? ¿El puesto de trabajo utiliza el equipo de forma irrazonable y no lleva a cabo el mantenimiento periódicamente? Es imposible una mejora desde la raíz si tan sólo se obliga a las personas a que cumplan órdenes. ¿Qué hay del control del almacén de las piezas de recambio?
- (6) Se tiene que llevar a cabo el control según prioridades.
- (7) ¿Cómo son las normas de renovación de equipos? Se pueden mejorar considerablemente las capacidades de proceso de los viejos equipos. Las personas tienden a invertir más de lo necesario en equipos nuevos y en instalar innecesariamente instrumentos de medida. Antes de comprar un equipo, preguntarse si es realmente necesario. No sirve tratar de amorti-

- zar los costes por medio de las desgravaciones de impuestos; los progresos técnicos reducirán el valor del equipo mucho más rápidamente.
- (8) ¿Hay normas de trabajo adecuadas para utilizar los equipos, calibres y herramientas, e instrumentos de medida?
  - (9) Es totalmente erróneo asumir que se esté poniendo en práctica el control sólo porque se estén llevando a cabo el mantenimiento y la calibración periódicos. Ajustar y reparar equipos que se han estropeado es gestionar las crisis; es lo mismo que cerrar la puerta del establo cuando el caballo ya se ha escapado.
  - (10) ¿Qué hay del control de la fiabilidad?
  - (11) ¿Es la inversión en equipos realmente necesaria desde los puntos de vista del control de costes, de la capacidad de proceso y de la capacidad de fabricación? Con un control adecuado se puede aumentar la capacidad de fabricación entre un 50% y un 100%, y la variación de un proceso se puede reducir fácilmente a la mitad o la tercera parte de su valor original.
  - (12) ¿Se están verificando adecuadamente los resultados de la inversión en equipos? Asegurarse de que las personas no escapan a sus responsabilidades gastando los presupuestos para inversiones o utilizando los equipos pero sin verificar los resultados.
  - (13) ¿Está firmemente establecido el control de los errores?
  - (14) Antes de automatizar o introducir robots asegurarse de que se llevan a cabo el análisis y control adecuados del proceso, y que se preparan gráficos de proceso de control de calidad eficaces.

## 7.7 El CCT en marketing, ventas y servicio post-venta

A continuación se expone una lista de algunos defectos corrientes de los departamentos convencionales de marketing, desde el punto de vista del CCT:

- (1) No se dan cuenta de que marketing es el inicio y el final del CCT.
- (2) Creen que marketing y el CCT no están relacionados y, por tanto, ignoran el CCT y el CC.
- (3) Carecen de los datos sobre los factores subyacentes a por qué algunos productos se venden bien y otros no.
- (4) El cliente es el rey, pero muchos reyes son ciegos. Es tarea del *staff* de ventas educar correctamente a los clientes sobre los productos, pero a veces el propio *staff* carece de suficientes conocimientos sobre los productos y trabajan fiados únicamente en la "intuición, experiencia y audacia".

- (5) Su *staff* no es diferente del *staff* de ventas de los distribuidores o mayoristas.
- (6) Sus políticas y planes son ambiguos y no están bien difundidos. No se hace ningún esfuerzo para vender según los planes de ventas.
- (7) Sólo aceptan los pedidos fáciles y evitan los difíciles.
- (8) No perciben la garantía de calidad y carecen de sentido de la responsabilidad.
- (9) No saben nada de la gestión o la investigación de líneas de productos de alta calidad.
- (10) Carecen de sentido para vender productos de mejor calidad a precios más altos.
- (11) No se dan cuenta de que marketing es redundante cuando se vende a precios de saldo. Debemos vender por la calidad.
- (12) Carecen de sensibilidad para asegurarse un beneficio.
- (13) Creen que todo es de color de rosa mientras aumenten las ventas.
- (14) Aplican tácticas de ventas bajo presión sin tener en cuenta los posibles problemas de pago, centrándose en los números de las ventas y olvidándose de las tasas de interés.
- (15) Tienen pocos técnicos de ventas o ninguno en absoluto, y el *staff* de ventas carece de educación en el producto y técnica.
- (16) Tienen demasiado interés en vender modelos especiales y se olvidan de las ventas de las versiones estándar.
- (17) No están interesados en vender artículos que producen pérdidas según los procedimientos formales de contabilidad de costes.
- (18) No conocen lo suficiente los detalles de los pedidos.
- (19) Ignoran las capacidades de los procesos, las capacidades de fabricación y las condiciones de fábrica.
- (20) No piensan en la empresa como un todo.
- (21) Ignoran los costes y los activos líquidos.
- (22) No tienen ni idea de actuar como antenas de la empresa para recoger información de la calidad en el mercado, y carecen de la habilidad para hacerlo.
- (23) No son de fiar (en cuanto a la calidad, el precio y la entrega).
- (24) Su publicidad a menudo es exagerada y susceptible de padecer problemas por la responsabilidad civil de los productos. No estudian la responsabilidad civil de los productos.
- (25) Su servicio previo a la venta es inadecuado y carecen de la idea de que están vendiendo un servicio.
- (26) El servicio post-venta es inadecuado; no se debe vender un producto si no se dispone de servicio para él.



- (27) No saben cómo controlar los inventarios de productos, y no realizan un análisis de Pareto adecuado basado en la calidad, la cantidad y el precio.
- (28) No tienen mucha idea de los estudios de mercado y no saben cómo realizarlos.
- (29) No investigan las clases de organizaciones para la distribución a través de las cuales es mejor vender, y no proporcionan a las organizaciones para la distribución la suficiente educación en el CCT y desarrollo.
- (30) No estudian con suficiente detenimiento a los compradores y consumidores.
- (31) No proporcionan la conexión adecuada con la propaganda y la publicidad.
- (32) Su propaganda y publicidad no tienen el espíritu del CCT.
- (33) Carecen de valor para no seguir vendiendo los productos obsoletos.
- (34) Suministran un servicio y una garantía de calidad insuficiente para los productos que ya no se venden.
- (35) Sostienen que las ventas son imposibles a menos que se lancen nuevos productos, mientras que se olvidan de sus propias responsabilidades en la planificación de nuevos productos.
- (36) Aceptan pedidos sin considerar si se pueden servir realmente los artículos.
- (37) No conocen el manejo de las reclamaciones al estilo del CCT.
- (38) A menudo sus datos de ventas no se pueden utilizar para el análisis porque están agrupados y no están estratificados convenientemente.
- (39) Sus manuales operativos (incluyendo los métodos de uso y mantenimiento), catálogos, listas de piezas, etc., no están basados en el enfoque del CC.

Se pueden deducir algunas ideas para practicar el CCT en el departamento de marketing poniendo en práctica lo contrario de muchas de las equivocaciones anteriores. Brevemente resumidas, éstas son:

- (1) Ser capaz de hacer de ojos y oídos de su organización recogiendo información del mercado y de los consumidores.
- (2) Preparar planes de ventas para cada producto considerando las cantidades y los beneficios, así como los valores de venta. Vender los productos y cobrar de acuerdo con estos planes.
- (3) Disponer de información técnica sobre los productos y sus métodos de uso, y proporcionar servicios técnicos o llevar a cabo experimentos conjuntos para que los consumidores puedan hacer las elecciones apropiadas y que usen los productos correctamente.
- (4) Tomar los pedidos convenientemente, utilizando el enfoque del CC. Aclarar el grado que es importante garantizar para cada producto, así como su método de uso, condiciones de uso, periodo de garantía, i.e.,

aclarar los requisitos de los consumidores y preparar los contratos apropiados.

- (5) Estimular a los consumidores a que compren las versiones estándar en vez de los modelos especiales.
- (6) Proporcionar consejos y retroalimentación de las clases de nuevos productos y mejoras de la calidad necesarios.
- (7) Inculcar afición a vender calidad, y vender artículos de alta calidad a precios más altos.
- (8) Analizar estadísticamente grandes cantidades de datos.
- (9) Preparar un sistema de contabilidad independiente para marketing.

## 7.8 El CCT y la organización distribuidora

Aunque una empresa produzca productos de buena calidad, no podrá garantizar la calidad de estos productos y la fabricación no procederá con fluidez si el control de calidad de las organizaciones distribuidoras de la empresa es malo. La calidad de los productos primarios -e.g., textiles, plásticos, productos metálicos, etc.-, ganada a duras penas, se perderá si su procesado (incluido en la distribución en su sentido más amplio) es malo. El efecto es especialmente perjudicial para las pequeñas y medianas empresas. Hasta los fabricantes de productos primarios están siendo obligados a pensar en garantizar su calidad hasta después de haber sido convertidos en productos finales. También con las mercancías generales el mal control de stocks conducirá al deterioro de los productos, a niveles mayores de stocks defectuosos y a devoluciones más frecuentes. La aparición de productos defectuosos también puede hacer que se pierdan oportunidades valiosas de venta. Además, si se carece de conocimientos del producto, se venderán productos inadecuados a los clientes y esto conducirá a que haya reclamaciones y quejas. Los clientes no estarán satisfechos si los ensayos del producto en el momento de la venta, la inspección previa a la venta, la instalación y otros servicios son malos, y resultará imposible vender productos en el futuro si el servicio post-venta es insatisfactorio.

En relación con lo anterior son importantes las siguientes recomendaciones:

- (1) Educar a las organizaciones distribuidoras (e.g., empresas comerciales, agentes, mayoristas y minoristas) en el CC.
- (2) Asegurarse de que los distribuidores están muy versados en la filosofía de proveerse de productos de buena calidad, vender productos de buena

calidad y garantizar la calidad (incluyendo el servicio post-venta) incluso después de la compra.

- (3) Seleccionar cuidadosamente las organizaciones distribuidoras.
- (4) Un transporte, empaquetado, almacenamiento y control de stocks insatisfactorios por parte de los distribuidores no sólo hará imposible la garantía de calidad sino que también pondrá en peligro los negocios de su empresa. Asegurarse de que se controlan íntimamente todos estos aspectos.
- (5) Educar concienzudamente a los distribuidores en el manejo de las reclamaciones. Muchos distribuidores no conocen el enfoque del CC para manejar las reclamaciones y no adoptan medidas para prevenir la repetición de problemas cuando se recibe una queja; usualmente, su procedimiento normal no es más que pedir excusas y ofrecerse a sustituir el artículo defectuoso.
- (6) Asegurarse de que los distribuidores llevan a cabo las verificaciones adecuadas previas a la entrega cuando pasen los artículos al cliente, además de realizar una inspección cuidadosa en recepción.

## 7.9 Control de la Investigación y el Desarrollo

Nos encontramos ahora en una era de intensa competencia en el desarrollo de nuevos productos, pero es imposible que haya buenos productos y un buen desarrollo de los mismos sin una investigación eficaz. La historia del huevo de Colón parece oportuna en relación con la investigación y el desarrollo. Colón tenía un sueño y lo realizó. Las personas a menudo hacen listas de ideas y planes para nuevos productos y luego pasan a evaluar estas ideas, pero estas evaluaciones no son mucho de fiar. Las ideas que hayan pasado por esta clase de proceso evaluador producirán resultados corrientes y molientes. Cuando surge una idea debería probarse sin dudarle puesto que las ideas realmente buenas sólo emergen en un proceso de tanteos. Es importante crear una cultura corporativa en la cual no se tenga miedo de fracasar y en la que se puedan poner en práctica libremente las ideas. Una empresa con tal atmósfera producirá nuevos productos buenos en abundancia y nueva tecnología. Las siguientes son unas orientaciones importantes para controlar la investigación y el desarrollo:

- (1) Dividir la investigación en diferentes categorías (investigación básica, investigación aplicada, investigación del desarrollo, investigación de los servicios, investigación de productos, investigación a corto plazo, investigación a medio plazo, investigación a largo plazo e investigación "urgente") e idear sistemas para controlar éstas. La investigación básica debería

tener un amplio rango de temas y un presupuesto abierto. (Actualmente casi ninguna empresa japonesa practica la investigación básica.) Los otros tipos de investigación deberían tener unos temas, objetivos, metas, organizaciones, programas y calendarios adecuadamente establecidos y controlados.

- (2) Decidir si la investigación se va a hacer dentro de casa o contratarla fuera, comprar patentes, cazar cabezas de otras empresas o fusionarse con otras empresas. Determinar quién tiene que decidir esto.
- (3) Preparar un sistema que minimice la necesidad de la investigación "urgente", de última hora y no planificada.
- (4) Crear una cultura corporativa en la que no se tenga miedo de fracasar y en la que se puedan poner en práctica libremente las ideas.
- (5) Determinar cómo se van a decidir los temas, fines y metas.
- (6) Llevar a cabo las actividades en equipos. Disponer que las personas se reúnan en grupos de proyectos conforme sea preciso.
- (7) Seleccionar activamente e intercambiar al personal de investigación.
- (8) Fomentar el desarrollo de personas creativas con ideas.
- (9) Desarrollar las capacidades científicas y para el análisis estadístico de las personas, y la capacidad para escribir informes de las investigaciones que sean fácilmente comprensibles por la alta dirección. Las personas deben aceptar sin reparos las evaluaciones ocasionales durante el curso de la investigación.
- (10) Estar dispuesto a decidir cuándo suspender cierta línea de investigación y tener la determinación de hacerlo.
- (11) Recordar que la investigación es una inversión a largo plazo.
- (12) Fortalecer los departamentos de servicios internos de los laboratorios de investigación (?) (administración, control, recursos bibliográficos, investigación, ensayos, equipos, análisis y medidas).
- (13) Utilizar herramientas estadísticas, la técnica del TPER, etc.
- (14) La investigación de los desarrollos debe empezar en un frente amplio e ir estrechándose gradualmente (le llamo "investigación en forma cónica") en vez de empezar en un punto y avanzar en línea recta ("investigación bien perfilada"). Se deben diseñar experimentos que demuestren el efecto de la variación sobre varios factores.
- (15) No olvidar la investigación de productos.
- (16) Normalizar los métodos para evaluar los resultados de la investigación y para asignar recursos.

No surgirán productos ni tecnología verdaderamente nuevos de la clase de organización en la que la alta dirección acumula críticas sobre los fallos y casi no alaba los éxitos; sólo se producirán productos y tecnología de imitación.

Menos del 5% de las ideas tienen éxito en su forma original, pero, al final, una idea tendrá éxito si somos lo suficientemente valientes como para pasar por el largo proceso de los tanteos, modificando la idea después de cada fallo. Debido a esto creo que es mejor designar como jefe de un laboratorio de investigación y desarrollo a una persona sensata que venga del departamento de ventas de la empresa en vez de alguien que haya empezado a trabajar como científico o ingeniero.

## 7.10 Auditorias de la calidad

Una auditoría de calidad es una especie de procedimiento diagnóstico en el cual se comprueba la propia calidad tomando muestras de los productos y servicios dentro y fuera de la empresa, y realizando varios experimentos con ellos con el fin de ver si su calidad es buena o no y los consumidores están satisfechos. He aquí algunas observaciones sobre la realización de las auditorias de calidad:

- (1) Cuando se pone en práctica el control de calidad y la garantía de calidad es esencial formar un departamento de auditorias de calidad o de garantía de calidad que informe directamente a la alta dirección. A este departamento se le debe dar libertad total de acción y autoridad adecuada para llevar a cabo las auditorias de calidad. Por ejemplo, debe ser posible que visite y obtenga datos de cualquier parte de la empresa así como que esté autorizado para suspender los envíos de productos cuando sea preciso.
- (2) El departamento de garantía de calidad debe estar libre de cualquier responsabilidad respecto al diseño, la producción, los costes o las programaciones.
- (3) Es conveniente instituir un programa para desarrollar especialistas de la calidad ("Sr. Calidad"), y promover a las personas con experiencia en la investigación de desarrollos, ventas y marketing, servicios, diseño, producción, CC e inspección.
- (4) No es bueno poner simplemente un nuevo tablón de anuncios en el departamento de inspección; el propio departamento tiene que sufrir un cambio total de actitud.
- (5) Las reclamaciones y la información de la calidad procedente de dentro y de fuera de la empresa debe poderse recoger con facilidad y comunicarla directamente al departamento de garantía de calidad. Si es preciso, se debe comprar la información sobre la calidad.

- (6) El departamento de garantía de calidad debe participar en la evaluación de la planificación, el diseño, la fabricación de prototipos, la producción, el almacenamiento y la calidad de mercado de los nuevos productos.
- (7) Todos los demás departamentos deben actuar bajo el asesoramiento del departamento de garantía de calidad.
- (8) El departamento de garantía de calidad debe estar autorizado para suspender la fabricación de prototipos, la producción, los envíos o las ventas de productos según sea necesario.
- (9) El departamento de garantía de calidad debe estar autorizado para preparar paneles de ensayos y realizar los ensayos de muestras.
- (10) Las auditorías de calidad de los productos primarios deben ser realizadas por medio de evaluaciones de calidad y de la garantía de calidad de los fabricantes secundarios y de los productos que ellos fabrican.
- (11) Las auditorías de calidad deben llevarse a cabo desde el punto de vista del consumidor.
- (12) Se deben perfeccionar y normalizar gradualmente los métodos para realizar las auditorías de calidad (incluida la fiabilidad).
- (13) Las auditorías de calidad deben llevarse a cabo periódicamente con los propios productos de la empresa y con los de la competencia, y se deben preparar informes con recomendaciones de actuación.
- (14) Se debe proveer el equipo necesario para realizar evaluaciones.
- (15) Siempre que se lleve a cabo una evaluación se tiene que preparar un informe escrito.

## 7.11 Auditorías de Control de Calidad y auditorías de CCT

Una auditoría de control de calidad consiste en examinar los procesos y métodos por medio de los cuales se está llevando a cabo el control de calidad, señalando los puntos débiles, asesorando sobre los métodos para corregirlos, y adoptando las medidas adecuadas. Cuando el ámbito de una auditoría de CC es todavía más amplio, que abarca a toda la empresa, se le llama auditoría de CCT. Los presidentes de las empresas llevan a cabo auditorías de CCT para ver el CCT en su sentido amplio, i.e., ver la gestión de la empresa como un todo.

Las auditorías de CC se pueden clasificar como sigue:

### (1) Auditorías de CC por personas ajenas a la empresa

- (i) Auditorías de proveedores hechas por compradores (e.g., las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos, la Fuerza de Autodefensa Japonesa, La Corporación Nipona de Telégrafos y Teléfonos, los Ferrocarriles Japoneses, y otras corporaciones públicas y privadas).

- (ii) Auditorías con fines de certificación, e.g., la marca JIS, el certificado ASME, etc.
- (iii) El examen de CCT para el Premio Deming y la Medalla de Control de Calidad Japonesa,
- (iv) Auditorías de CC o CCT hechas por consultores.

De los cuatro tipos anteriores de auditorías, sólo la tercera es exclusiva de Japón. Las otras se llevan a cabo en muchos otros países. Con los dos primeros, especialmente cuando las personas que realizan la auditoría no son expertos y carecen de experiencia en poner en práctica el CC, y cuando la organización que está siendo auditada adopta la actitud de que todo va bien mientras el cliente compre los productos u obtenga la calificación que quiere, todo el trabajo del CCT puede acabar fácilmente en un ejercicio sobre el papel en el que el departamento de CC está ocupado produciendo montones de documentos pero sin hacer ningún CC real. Cuando una empresa se somete a una auditoría externa es mucho mejor utilizarla como oportunidad para promover el CC y el CCT dentro de la junta (directiva (?)), llevar a cabo una revisión eficaz y significativa del CC y, por tanto, obtener resultados útiles.

## **(2) Auditorías internas de CC**

- (i) Auditorías de CC o CCT del presidente.
- (ii) Auditorías de CC o CCT por jefes de departamento,
- (iii) Auditorías de CC por el *staff* de CC.
- (iv) Auditorías de CC mutuas (e.g., por un proceso y el siguiente).

Las auditorías internas son raras fuera de Japón. La auditoría del presidente en particular es casi desconocida en otros lugares porque los presidentes de las empresas extranjeras saben poco del CC. Las empresas japonesas que realizan correctamente el CCT celebran auditorías presidenciales a intervalos de tiempo regulares y alcanzan resultados excelentes por medio de esta práctica. Si la auditoría presidencial y otras auditorías de CC llevadas a cabo por el *staff* de la empresa se hacen con habilidad, se pueden obtener los beneficios significativos siguientes:

- (a) Las personas sometidas a la auditoría están estimuladas por ella, y sus actividades de CC y de garantía de calidad reciben un empujón. Las actividades del CCT tienden a ir en ciclos, a veces van hacia arriba y a veces se estereotipan, y es bueno revisar la situación de vez en cuando para asegurarse de que el CCT sigue firme sin fracasar.
- (b) Mejoran las relaciones dentro de la empresa. Normalmente la alta dirección y los directores de alto nivel tienen pocas oportunidades de reunirse cara a cara con los directores de sección, los supervisores y los trabaja-

dores que están al final de la cadena de mando, y de escuchar sus opiniones. Las auditorías de CC son, por tanto, una buena ocasión para que escuchen lo que estas personas tienen que decir y llegar a conocer la verdadera situación.

- (c) Las auditorías de CC son una oportunidad excelente para que la alta dirección descubra lo que realmente pasa en la empresa. Normalmente, la alta dirección sabe muy poco de la situación real. La persona que más aprende con una auditoría presidencial es el propio presidente, y, a menudo, las auditorías muestran a los presidentes exactamente en qué baja forma están sus empresas, y convierten a la alta dirección en líderes celosos del CC.
- (d) Si se hace que los directores de departamento y de sección y el *staff* asistan a estas auditorías, descubrirán cosas sobre otros departamentos de la empresa y podrán ver las cosas desde una perspectiva más amplia. Esto les debe permitir crecer personalmente y es útil para promover la siguiente generación de directores.
- (e) Si la alta dirección va a realizar auditorías de CC, tiene que comprender el CC. La auditoría presidencial es, por tanto, una buena ocasión para que la alta dirección estudie el CC y experimente de qué va.

### **(3) Observaciones sobre la ejecución de una auditoría presidencial de CC**

- (a) El presidente siempre tiene que liderar el grupo auditor. Sin embargo, su delegado puede ocupar su puesto si es absolutamente necesario.
- (b) El grupo auditor debe incluir no sólo al director que esté a cargo del departamento que se está auditando sino también a los directores que estén a cargo de otros departamentos, al director responsable del CC y a otro *staff* de CC. Los jefes de departamento y de sección deben asistir según haga falta. También es una buena idea invitar a un consultor externo de CC para que asista al principio.
- (c) Los fines de la auditoría deben estar claros.
- (d) Una auditoría de CC debe abarcar el control de calidad en su sentido amplio pero debe centrarse todo lo posible en la calidad. El ámbito de una auditoría de CCT es algo más amplio.
- (e) Las auditorías de CC deben llevarse a cabo desde el punto de vista de la empresa en conjunto y a largo plazo.
- (f) Se deben cubrir todos los departamentos y todos los lugares del negocio. Además, las auditorías deben extenderse fuera de la empresa a compras, ventas y marketing, y a otras actividades externas.
- (g) La auditoría presidencial debe ser incluida en el programa de control de calidad de la empresa como una actividad anual. El programa, el equipo



**Tabla 7.2: Lista de comprobación de las auditorías de Control de Calidad (para el Premio Deming)**

| Elemento  | Punto de comprobación   |
|---|---|
| 1. Política   | (1) Políticas de dirección, calidad y control de calidad.<br>(2) Métodos para establecer las políticas.<br>(3) Adecuación y coherencia de las políticas.<br>(4) Uso de herramientas.<br>(5) Difusión e impregnación de las políticas.<br>(6) Verificación de las políticas y su grado de puesta en práctica.<br>(7) Relación con los planes a largo y corto plazo.  |
| 2. La organización y su dirección                         | (1) Autoridad y responsabilidad claras.<br>(2) Delegación adecuada de la autoridad.<br>(3) Cooperación entre diferentes departamentos.<br>(4) Actividad de los comités.<br>(5) <i>Uso del staff</i> .<br>(6) Uso de las actividades de los círculos de CC (grupos pequeños).<br>(7) Auditorías de control de calidad.   |
| 3. Educación y difusión                                   | (1) Programas educativos y sus resultados.<br>(2) Concienciación en calidad, concienciación en control, grado de comprensión del control de calidad.<br>(3) Educación y grado de impregnación del enfoque estadístico y sus métodos.<br>(4) Identificación de resultados.<br>(5) Educación de subcontratistas y de otras organizaciones externas.<br>(6) Actividades de los círculos de calidad (grupos pequeños).<br>(7) Sugerencias para mejorar. |
| 4. Recogida, comunicación y utilización de la información | (1) Recogida de la información de fuera de la empresa.<br>(2) Transmisión de la información entre departamentos.<br>(3) Velocidad de la transmisión de la información (uso de ordenadores).<br>(4) Organización de los datos, análisis estadístico y su utilización.  |
| 5. Análisis   | (1) Selección de los problemas y temas importantes.<br>(2) Adecuación de los métodos analíticos.<br>(3) Uso de las herramientas estadísticas.<br>(4) Relación con la tecnología específica.<br>(5) Análisis de la calidad y análisis de procesos.<br>(6) Uso de los resultados analíticos.<br>(7) Positividad de las sugerencias para mejorar.  |

auditor y el ámbito de la auditoría deben ser anunciados por adelantado (tan pronto como sea posible pero, en cualquier caso, por lo menos dos meses por adelantado). Es muy útil la preparación adecuada de una auditoría; sin embargo, cuando hay tendencia a hacer que las cosas parezcan que están bien sólo para la auditoría, o cuando el CCT ha impregnado en un alto grado a la organización, es mejor examinar las cosas en su estado normal sin que haya mucha preparación.

(h)

En algunos casos, es una buena idea especificar los elementos que tienen prioridad para ser auditados.

| Elemento               | Punto de comprobación  |
|------------------------|--|
| 6. Normalización       | (1) Sistemas de normas.<br>(2) Métodos para establecer, revisar e interrumpir las normas.<br>(3) Trazado de registros cuando se establecen, revisan e interrumpen las normas.<br>(4) Contenido de las normas.<br>(5) Uso de los métodos estadísticos.<br>(6) Acumulación de la tecnología.<br>(7) Utilización de las normas.   |
| 7. Control             | (1) Sistemas de control para los costes de calidad y los relacionados, cantidades, etc.<br>(2) Puntos de control y elementos de control.<br>(3) Uso del enfoque estadístico y las herramientas estadísticas tales como los gráficos de control.<br>(4) Contribución de las actividades de los círculos de CC (grupos pequeños).<br>(5) Estado de las actividades de control.<br>(6) Estado de control.   |
| 8. Garantía de Calidad | (1) Procedimientos para el desarrollo de nuevos productos.<br>(2) Despliegue de la calidad y análisis, fiabilidad, revisiones de diseño.<br>(3) Seguridad, prevención de la responsabilidad civil por productos.<br>(4) Control de procesos y mejora.<br>(5) Capacidad de procesos.<br>(6) Medidas e inspección.<br>(7) Control de equipos, subcontratación, compras y servicios.<br>(8) Sistema de garantía de calidad y su auditoría.<br>(9) Uso de herramientas estadísticas.<br>(10) Evaluaciones y auditorías de calidad.<br>(11) Estado de la garantía de calidad. |
| 9. Resultados          | (1) Medida de los resultados.<br>(2) Resultados tangibles: calidad, servicio, plazo de entrega, coste, beneficio, seguridad, entornos, etc.<br>(3) Resultados intangibles.<br>(4) Acuerdo entre los resultados previstos y los reales.   |
| 10. Planes futuros     | (1) Concreción e identificación del <i>statu quo</i><br>(2) Estrategias para superar los puntos débiles.<br>(3) Planes futuros de promoción.<br>(4) Conexión con los planes a largo plazo.   |

- (i) Aunque el término "auditoría de CC" es de uso general, la palabra "auditoría" tiene un ligero sabor a inspección, y pudiera ser mejor adoptar un nombre diferente tal como "cursillo de CC para la alta dirección". Es importante crear una atmósfera relajada en la que la alta dirección esté abierta a todas las opiniones y todo el mundo aúna sus mentes para pensar en la mejor manera de mejorar el control de calidad global de la empresa.
- (j) Todos los miembros del equipo auditor deben redactar un informe con sus opiniones y consejos. Los miembros del equipo deben estar informados de antemano de la necesidad de este informe, y se les deben dar impresos

normalizados para los informes, listas de comprobación, etc. Los mismos miembros del equipo se beneficiarán de hacer esto.

- (k) Los informes individuales deben ser estudiados críticamente, y se debe preparar el impreso del informe de la auditoría que indique claramente los elementos que requieren que se tomen medidas respecto a ellos. Se deben enviar copias al comité central de control de calidad, al departamento auditado y a los departamentos relacionados.
- (l) Para las auditorías de CC es mejor que no haya una organización permanente sino que se formen equipos auditores según hagan falta,
- (m) No se deben dar por supuestos las reglamentaciones y los procedimientos. Es importante examinar si se han formulado bien y si se están aplicando sistemáticamente en la actualidad. Uno de los fines de las auditorías de CC es identificar el *statu quo*.
- (n) Se debe verificar si se han puesto en práctica las recomendaciones de la auditoría anterior.
- (o) Las recomendaciones deducidas de cada auditoría deben incorporarse prontamente a los planes de control de calidad de la empresa.
- (p) Es necesario ver por debajo de los adornos que se hayan preparado para la auditoría y ver cómo se realiza el trabajo rutinario. El mejor tipo de investigación empieza en un punto y va profundizando cada vez más sacando las cosas a la luz, una detrás de otra como si se tirara de una cereza que arrastra a otras.
- (q) Las auditorías deben llevarse a cabo con una actitud amistosa y sin concepciones previas.
- (r) Las recomendaciones deben ser positivas y constructivas. Una auditoría no consiste en resaltar los detalles nimios o los puntos débiles y atornillar a las personas. La celebración de una auditoría debe ser como cuando un médico hace un diagnóstico, cura una enfermedad y consigue un paciente sano.
- (s) El departamento sometido a la auditoría debe informar sobre un tema determinado, explicando la política presente, los resultados obtenidos, los problemas remanentes, la política futura y los requerimientos a la oficina central y a otros departamentos.
- (t) Una auditoría no consiste simplemente en sentarse alrededor de una mesa y hablar: hay que descubrir en qué consiste el trabajo diario visitando el puesto de trabajo, hablando con los supervisores, encargados y operarios, observando el trabajo que se hace, y examinando los documentos y los datos.
- (u) Es mejor auditar funciones individuales así como departamentos individuales.

- (v) Puesto que las auditorías de calidad se ocupan del control de calidad, lo natural es que se haga hincapié en que los productos que se fabrican tengan una calidad que satisfará a los consumidores y les agradarán tanto que seguirán comprándolos, y en si la garantía de calidad es suficiente. Sin embargo, las actuaciones deben dirigirse no a los propios productos sino al trabajo que los produce, i.e., el proceso. En pocas palabras, el fin de una auditoría es utilizar la calidad como indicador para juzgar si una empresa está bien gestionada o no.

En la Tabla 7.2 se da una lista de comprobación para una auditoría de control de calidad, como referencia.

## 7.12 Gestión de la política

La filosofía de la gestión y sus métodos se explicaron en la sección 1.5, y en realidad es suficiente proceder tal como se explicó allí. Sin embargo, como es lo usual en la gestión empresarial, se han hecho famosas diversas expresiones, e.g., "gestión por objetivos", "gestión de la política", "gestión de prioridades", "gestión rutinaria", etc., y me gustaría dar mi opinión sobre ellas.

Puesto que la gestión es imposible sin política y objetivos, todo lo que tenemos que hacer realmente es gestionar adecuadamente. Si hablamos de gestión por objetivos, gestión de la política, etc. existe el peligro de que los altos ejecutivos definan los objetivos y la política sin más y luego no hagan más que exhortar a las personas para que traten de trabajar más duro, cayendo en la trampa de gestionar por exhortaciones en vez de científicamente. Por esto, el concepto de gestión por objetivos, que en un tiempo estuvo de moda en los Estados Unidos, ha caído ahora en desgracia. Una razón por la que utilicé el diagrama de causa y efecto y expliqué la filosofía de la gestión en seis pasos en la sección 1.5.2 fue que quería hacer hincapié en la necesidad de pensar en el proceso (segundo paso). Sin embargo, creo que la gestión empieza con el establecimiento de la política, y, puesto que el término "gestión de la política" suena bien, me gustaría utilizarlo aquí en el sentido de "gestión que empieza con la política". Debemos empezar por establecer la política y luego proceder a girar alrededor del ciclo de control en el orden descrito en la sección 1.5.2

Como explicaré más adelante, los planes a largo plazo y los anuales se deciden de acuerdo con la política a largo plazo y anual, y los elementos incluidos en éstas se pueden clasificar como aquellos que se van a llevar a cabo prioritariamente y los que se van a llevar a cabo rutinariamente. Si utilizamos los términos "gestión de la política", "gestión de prioridades", y "gestión rutinaria", creo que deberíamos utilizar los términos de la forma siguiente:

- *Gestión de la política* es la gestión que empieza con la política.
- *Gestión de prioridades* acomete los elementos de gestión que deben ponerse en práctica prioritariamente por los departamentos individuales o por la empresa en general.
- *Gestión rutinaria* es la gestión que no es de una prioridad pero que debe llevarse a cabo de manera natural y rutinaria (en relación con el QCDS) por los departamentos individuales o por la empresa en general.

Ver más abajo y las subsecciones (1) y (2) de la sección 1.5.2 los métodos para decidir la política, establecer los planes y los objetivos y metas.

Las políticas, planes y objetivos se deciden generalmente en el orden siguiente: (1) política de la empresa; (2) política a largo plazo; (3) política anual; (4) política para un periodo contable; (5) política mensual. Luego, (1) planes a largo plazo; (2) planes anuales; (3) planes para un periodo contable; (4) planes para bloques móviles de un determinado número de meses; (5) planes mensuales.

La política anual de una empresa es su política para el primer año de su política a largo plazo, y su plan anual es el plan para el primer año de su plan a largo plazo. Las políticas y planes a largo plazo deben revisarse anualmente. Usualmente, un plan a largo plazo debe abarcar los cinco años siguientes, pero si es preciso puede abarcar los diez o quince años siguientes, mientras que un plan a medio plazo abarca los tres o cinco años siguientes.

Algunas de las ventajas de establecer políticas y planes a largo plazo son:

- (i) El proceso de crear estas políticas y planes es intrínsecamente valioso.
- (ii) Proporciona a la dirección una visión a largo plazo y hace que los empleados miren hacia el futuro.
- (iii) Simplifica la formulación de los planes a corto plazo.
- (iv) Permite la formulación de planes de acción para cada año del plan a largo plazo.
- (v) Crea un marco y una visión para el funcionamiento de la empresa.
- (vi) Proporciona un patrón a la vida de la organización y conduce al desarrollo de nuevos productos.

A continuación se expone una lista de algunas de las prioridades que se deben tener en cuenta cuando se preparen las políticas y planes a largo plazo:

- Todas las decisiones de gestión deben referirse al futuro.
- Las políticas y planes a largo plazo deben estar expresadas en términos de objetivos (calidad, beneficio, cantidad, capital, mano de obra). Sólo deben empezar a considerarse los métodos (tecnología y equipo) después de que se hayan fijado los objetivos.

- Hacemos políticas y planes a largo plazo con objeto de ejecutar el trabajo con fluidez durante largos periodos de tiempo, no para poder trabajar lentamente.
- Las políticas y planes (tanto a largo plazo como anuales) deben ser expresados generalmente como una combinación de palabras (concepto) y metas numéricas. Las palabras o los números solos no son suficiente.
- Debemos formular procedimientos específicos para establecer las políticas y los planes (normas para revisar los planes a largo plazo, reglamentaciones para la gestión de políticas, etc.).
- Se tiene que proporcionar suficiente información para establecer las políticas y los planes, su lógica tiene que estar clara, y se tiene que llevar a cabo el análisis adecuado.
- Se tiene que verificar el ciclo de control para ver si se está dando vueltas a su alrededor de forma inteligente, teniendo en cuenta las políticas y los planes previos y los resultados de poner éstos en práctica. Los problemas residuales de un periodo previo deben ser incluidos en las políticas y planes para el periodo siguiente.
- La información y las previsiones para fijar las políticas jamás son perfectos. Podemos considerar que nuestra gestión es científica si está basada en datos que son completos en un 70%-95%; con menos de esto, es acientífica. Los directivos y otras personas que ocupan cargos de autoridad tienen que hacer conjeturas audaces para cubrir el 5%-30% que falta.
- Las políticas y los planes tienen que ser específicos y concretos, y las personas tienen que disponer de un medio para evaluar sus progresos. ¿Están éstos suficientemente relacionados con los elementos de control? ¿Se han decidido los puntos realmente importantes (gestión de prioridades)?
- ¿Están las políticas y los planes de CC totalmente integrados en las políticas y planes de gestión? ¿Se ha asentado firmemente la política del CC?
- ¿Se han desplegado las políticas por todos los niveles de la organización? ¿Son satisfactorios los métodos para el despliegue y la comunicación de las políticas? ¿Se hace más específica la política conforme se va hacia abajo por la organización? ¿Se realizarán las políticas de alto nivel si se ponen en efecto las políticas y los planes del nivel más bajo? ¿Están las políticas de los superiores y sus subordinados suficientemente relacionadas? ¿Es coherente la política en toda la organización?
- ¿Están las políticas bien formuladas y son coherentes con la autoridad y la responsabilidad?
- El establecimiento de políticas de tipo túnel (autoritaria, de arriba a abajo) es inútil. La política de cada nivel debe respetar la autonomía de ese nivel e incluir sus propias ideas.

- ¿Está suficientemente tenido en cuenta el ámbito de autoridad de cada nivel y se le ha dado suficiente independencia? ¿Han aprobado los superiores las políticas y los planes de sus subordinados?
- ¿Es firme la política o cambia de día a día? ¿Se ha establecido un sistema de gestión de política, y se lleva a cabo constantemente la gestión de política?
- El despliegue de la política no tendrá éxito el primer año que se inicie; irá mejorando gradualmente al ir apareciendo los puntos débiles, al tener varios fallos y se adopten las medidas para evitar que se repitan.

## 7.13 Conclusión

En conclusión, me gustaría volver a hacer hincapié en los puntos siguientes:

- (1) El control de calidad debe ser fomentado por medio de la cooperación de todos los empleados de una empresa, trabajando juntos para hacer lo que se debe hacer. No es sólo el trabajo de la oficina de fomento del CCT, del departamento de control de calidad, del *staff* de control de calidad o de otras personas u organizaciones que lleven las palabras "control de calidad" en sus nombres.
- (2) El entusiasmo, el empuje y el liderazgo de la alta dirección, especialmente del presidente de la empresa, son absolutamente indispensables para lograrlo.
- (3) El control de calidad no debe practicarse sólo porque está de moda. Su fin es racionalizar la industria, establecer tecnologías y permitir que las empresas desarrollen la capacidad de asegurarse beneficios y superen la competencia internacional por medio de la calidad en vez de por medio de unas prácticas comerciales desleales tales como el "dumping". El CC tiene que continuar durante la vida de una empresa.
- (4) Si el control de calidad se practica con interés, el dinero gastado en él se puede recuperar en cuestión de meses o días. Sin embargo, si se cometen equivocaciones como las descritas en la sección 1.1.3, se intenta sólo a medias, o la alta dirección no toma la iniciativa, será difícil recuperar los costes y el CC no durará.

El CCT real es una revolución total respecto al enfoque antiguo de la gestión. Significa que la alta dirección y los directores medios, técnicos, administradores y todos los demás empleados, así como las empresas filiales, tienen que trabajar juntos como si fueran un equipo para comprender la filosofía del

control de calidad estadístico, tomarle el gusto al CCT, ponerlo en práctica y construir una organización de gestión eficaz. Esto racionalizará todos los puestos de trabajo y todos los tipos de trabajo, así como las empresas individuales y la industria en general. Aumentará la exportación de productos y tecnología, lo que elevará globalmente el nivel de vida.

Actualmente algunos productos japoneses tienen demasiado éxito y ello ha conducido a fricciones comerciales internacionales. Junto con la revalorización del yen y la feroz persecución de Japón montada por los nuevos países industrializados, esto significa que las empresas japonesas se enfrentan a un periodo difícil en el cual tiene que cambiar otra vez de piel. Con la práctica del CCT, el CCTE y el CCTG tienen que reformar sus estructuras y organizaciones, desarrollar nuevos productos y capear el temporal. Mientras tanto, los japoneses están ayudando a revitalizar las naciones adelantadas de Occidente difundiendo la filosofía y los métodos japoneses del control de calidad. También estamos ayudando a que los países en desarrollo sean más fuertes aún. Creo que si todos los países fomentaran la especialización internacional y se unieran a la competencia internacional en calidad practicando el CC, el resultado sería la paz mundial. Yo estoy fomentando el CC y el CCT con la esperanza de que todos los pueblos del mundo sean felices.





---

# Índice

- Acción, 56, 198, 319, 321-322, 341-342
- Aceptación especial (tal como está), 428-430
- Actividades de los Círculos de CC, 86, 240
- Actividades de los equipos de CC, 241
- Ajuste, 58, 189, 312-313, 361-363
- Análisis de la calidad, 27
- Análisis de los procesos, 275
- Análisis del valor (AV), 315, 446
- Análisis estadístico, 264
- Análisis y mejora por medio del uso de los conocimientos puestos en común, 249
- Anomalía de un proceso, 323-324
- Arreglo permanente, 60
- Atributos, 129
  
- Calidad, 17-39
- Calidad estadística, 35
- Calidad media de salida (CMS), 402-405, 410-412
- Capacidad de los procesos, 144
- Capacidad de producción, 260
- Característica de control, 53
- Características de calidad, 25, 54, 327
- Características intermedias, 344
  
- Características sustitutas, 25, 344
- Causas, 47
- Causas asignables, 120, 266
- Causas de azar, 120
- Causas de las anomalías, 58, 349-351
- Causas evitables, 120
- Celdas, 153-155
- Ciclo de Deming, 22
- Cinco "emes", 61-62, 253
- Comprobación de resultados, 276
- Confusión, 248
- Confusión de los fines con los medios, 225
- Control, 40, 91, 221, 312
- Control de calidad, 1, 5, 18, 90
- Control de calidad japonés, 12
- Control de calidad por toda la empresa (CCTE), 2, 12
- Control de calidad por todo el grupo (CCTG), 4, 63
- Control de calidad total (CCT), 10, 89
- Control de la entrega, 448
- Control de la Investigación y el Desarrollo, 454
- Control de la producción, 311
- Control de las materias primas, 443
- Control de las medidas, 73-74, 283, 449

- Control de los diseños, 442  
 Control de los procesos, 311,415  
 Control de subcontratistas, 443  
 Control estadístico de la calidad (CEC), 17,60  
 Correlación, 148-150, 267-271, 305-309  
 Criterios para seleccionar a los proveedores desde el punto de vista del CC, 446  
 Curtosis, 130  
 Curva de Pareto, 139  
 Curvas características de los planes de muestreo, 401
- Daños ambientales ocasionados por el producto, 388  
 Datos, 113-117, 129, 244, 263-264, 422-424  
 Datos correspondientes, 297  
 Deming, Dr. W. E., 11  
 Desarrollo de nuevos productos, 63-65, 369, 370  
 Desviación estándar, 124, 132, 158  
 Diagnóstico de Control de Calidad (Auditoría), 91-92,457  
 Diagnóstico de la calidad (Auditoría), 91-92,456  
 Diagrama de causa y efecto, 46, 252-255,384-385  
 Diagrama de dispersión, 145  
 Diagrama de Pareto, 139  
 Diez principios del Control de Calidad para los compradores y los vendedores, 444  
 Diferencia entre las fracciones de unidades defectuosas, 300  
 Dirección basada en que el hombre es fundamentalmente bueno, 49  
 Dirección basada en que el hombre es fundamentalmente malo, 49  
 Dirección interfuncional, 437,441-442  
 Diseño de la calidad, 313  
 Dispersión, 131, 157
- Distribución, 123-125, 130, 160-161  
 Distribución continua, 130  
 Distribución de frecuencias, 132-134  
 Distribución discreta, 130  
 Dodge, H. F., 405
- Educación, 49, 74, 96,438  
 Educación y formación, 49,438  
 El CCT en marketing, 450  
 El CCT en ventas, 450  
 El CCT y la organización distribuidora, 453  
 El proceso siguiente es su cliente, 23  
 Elementos de control, 339  
 Enfoque estadístico, 109, 112  
 Ensayos sensoriales, 29, 282, 422  
 Entrega, 451-452  
 Equipo de trabajo, 239  
 Equipos de proyectos, 239  
 Error, 150-153,281-282, 399  
 Error del tipo I, 124, 293,400  
 Error del tipo II, 125,401  
 Escala *R*, 302, 305  
 Especificaciones, 316  
 Espina de pescado, 253  
 Estadístico, 120  
 Estado controlado, 121, 187  
 Estándares (normas), 1, 28, 314, 326-338  
 Estimación insesgada de la varianza de la población, 132  
 Estratificación, 55, 128, 191, 232-233, 285,287  
 Experimento en fábrica, 272  
 Experimentos con bolas, 176
- Factores clave, 47  
 Fallo, 387  
 Fiabilidad, 127, 151-152, 283, 382, 386  
 Filosofía de "el cliente es lo primero", 367  
 Frecuencia acumulada, 160  
 Frecuencias acumuladas relativas, 160  
 Fuera de control, 187

- Garantía de Calidad, 62, 366-370, 382, 433
- Garantía post-venta, 391
- Gestión de la política, 437,463
- Gestión por objetivos, 463
- Gestión rutinaria, 464
- Gráfico de anomalías, 266
- Gráficos, 233
- Gráficos de control, 54-55,122, 163-166, 177, 181, 182, 184, 200, 359
- Gráficos de control de proceso, 255
- Gráficos de los procesos de CC, 255, 317
- Herramientas estadísticas, 109-112
- Hipótesis, 293
- Hipótesis nula, 294
- Histograma, 117-119
- Historia de los datos y de los lotes de productos, 128
- Historial de CC, 278
- Hoja de comprobación, 142-143
- Informe de anomalías, 266
- Informe del estado del CC, 278
- Informes, 278
- Inspección, 53, 312, 374, 394-399, 402,412-424
- Inspección analítica, 143, 233, 397, 422
- Inspección cero, 395,414
- Inspección de aceptación, 402
- Inspección de comprobación, 395, 406, 417
- Inspección del cien por cien (cribado), 395,412,430
- Inspección destructiva, 398,414
- Inspección no destructiva, 398
- Inspección por muestreo, 395, 399-414
- Inspección por muestreo con cribado, 410
- Inspección severa, 397
- Interacción, 248
- Investigación de los productos, 25, 27
- Juran, Dr. J. M., 11
- Límite de la calidad media de salida (LCMS), 410-412,423-424
- Línea de regresión, 309
- Línea divisoria, 302
- Lista de comprobación, 52, 344, 460-461
- Los fines y los medios de la dirección empresarial, 84
- Mantenimiento periódico, 381
- Mantenimiento preventivo (MP), 73, 380,449
- Mantenimiento productivo total (MPT), 262
- Manuales de los usuarios, 380
- Más mejoras (seguir mejorando), 271, 276
- Media, 156-157,294-295
- Media aritmética, 131
- Mediana, 131,200, 267, 303-304
- Medida, 280-283, 394,423
- Mejora, 76-79, 221-229, 275-276, 312
- Metas de calidad, 316
- Metas obligatorias, 341
- Muestra, 114
- Muestra límite, 422
- Muestreo, 284-292, 399-401
- Muestreo aleatorio, 119, 286-288,399
- Negligencia, 391
- Nivel de calidad aceptable (NCA), 410,423-424
- Nivel de control, 314, 339, 345
- Nivel de significación, 126,293
- Normalización, 46
- Normas de calidad, 314, 317, 327
- Normas de control, 351
- Normas de diseño, 330
- Normas de la tecnología del diseño, 330
- Normas de trabajo, 326-338
- Normas Industriales Japonesas, 28

- Normas (estándares) provisionales, 271  
 Normas técnicas, 326  
 Número de aceptación, 400, 401-402, 408  
 Número de rechazo, 400, 402,408
- Organización, 238,432  
 Organización Europea para el Control de Calidad (EOQC), 10
- Papel de los ejecutivos, 93  
 Papel probabilístico binomial, 300-302, 304  
 Período de aseguramiento, 366  
 Período de garantía post-venta, 366  
 Planes a largo plazo, 437, 464  
 Población, 114-116  
 Población finita, 116  
 Población infinita, 116  
 Política a largo plazo, 464  
 Política de objetivos, 45  
 Porcentaje tolerado de unidades defectuosas en un lote (PTUD), 399-400, 410-412,423  
 Precisión, 151-152  
 Premio Deming, 11  
 Prevención de la reaparición de problemas, 60, 198  
 Principio de excepción, 51  
 Probabilidad, 122  
 Probabilidad de aceptar o rechazar un lote, 401-402  
 Proceso, 259  
 Punto de comprobación, 52, 339, 343-344,460-461  
 Puntos de control, 53, 339, 344-345
- Racha, 187  
 Reclamaciones, 21, 234, 425  
 Reclamaciones latentes, 234  
 Recorrido, 131  
 Recorrido móvil, 204  
 Redondeo, 170
- Redundancia, 383, 387  
 Relación de Garantía de Calidad entre el proveedor y el comprador, 445  
 Renovación de equipos, 449  
 Responsabilidad civil causal, 392  
 Responsabilidad civil por el producto, 388-389  
 Revisión del diseño (RD), 371  
 Riesgo del consumidor, 400, 410  
 Riesgo del productor, 401, 412  
 Romig, H. G., 405
- Servicio, 374  
 Sesgo, 151-152  
 Shewhart, Dr. W. A., 9  
 Sistema de la Garantía de Calidad, 62-66, 370  
 Sistema de sugerencias, 227, 232, 250-251  
 Sistema del director de proyectos, 239  
 Sistema del director responsable, 243  
 Sistema del técnico de proyectos, 239  
 Sistema del técnico responsable, 243  
 Sociedad Americana para el Control de Calidad (ASQC), 9, 14  
 Sociedad Japonesa para el Control de Calidad (JSQC), 14  
 Subgrupo, 190-191  
 Suma de los cuadrados, 118  
 Suministro durante toda la vida, 381
- Tabla de contingencia 2x2, 303  
 Tabla de distribución F, 296  
 Tabla de la prueba de los signos, 299  
 Tablas de Dodge-Romig para la inspección por muestreo, 412  
 Tácticas para lograr avances, 245  
 Tamaño medio de las muestras (TMM), 409  
 Tasa de paso directo (tasa de unidades sin ajustes), 33-34, 69  
 Tecnología, 81-84  
 Tecnología patentada, 247

- 
- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Término de corrección, 131, 158    | Unidades defectuosas crónicas, 234                          |
| Tiempo de vida, 377                | Unidades defectuosas ocultas, 234                           |
| Tipo de error de despiste, 125,400 | Unión de Científicos e Ingenieros Ja-<br>poneses (JUSE), 10 |
| Tipo de error impulsivo, 125, 401  |   |
| Unidades de garantía, 28           | Variables, 130, 302   |
| Unidades defectuosas, 375          | Varianza, 132,309   |