

ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES

INDICE

¿Qué es el mantenimiento industrial?	5
Tipos y modelos de mantenimiento	7
<input type="checkbox"/> 1. TIPOS DE MANTENIMIENTO	7
<input type="checkbox"/> 2. LA DIFICULTAD PARA ENCONTRAR UNA APLICACIÓN PRÁCTICA A LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO	8
<input type="checkbox"/> 3. MODELOS DE MANTENIMIENTO	8
<input type="checkbox"/> 4. OTRAS CONSIDERACIONES.....	10
Mantenimiento programado	12
Mantenimiento programado:.....	12
<input type="checkbox"/> El mantenimiento sistemático.....	12
<input type="checkbox"/> El plan de mantenimiento	12
o Plan de mantenimiento basado en instrucciones de los fabricantes.....	12
o Plan de mantenimiento basado en instrucciones genéricas.....	14
o Plan de mantenimiento basado en análisis de fallos potenciales	16
o Mantenimiento instalaciones térmicas	16
<input type="checkbox"/> Ejemplo de plan de mantenimiento	16
<input type="checkbox"/> Informes tras la realización de gamas y rutas.....	21
<input type="checkbox"/> Errores habituales en la elaboración e implantación de planes de mantenimiento	22
<input type="checkbox"/> El plan de mantenimiento de una planta de cogeneración	24
<input type="checkbox"/> El plan de mantenimiento de una planta de biomasa	24
<input type="checkbox"/> El plan de mantenimiento de una central de ciclo combinado.....	24
<input type="checkbox"/> El plan de mantenimiento de una central termo solar.....	28
RCM: análisis de fallos potenciales	29
<input type="checkbox"/> Que es RCM.....	30
<input type="checkbox"/> El objetivo de RCM y las fases del proceso	30
<input type="checkbox"/> Un problema de enfoque. ¿RCM aplicado a equipos críticos o a toda planta?.....	32
<input type="checkbox"/> Fase 0: listado y codificación de equipos.....	33
<input type="checkbox"/> Fase 1: listado de funciones y sus especificaciones	34
<input type="checkbox"/> Fase 2: determinación de fallos funcionales y fallos técnicos.....	35
<input type="checkbox"/> Fase 3: determinación de los modos de fallos.....	36
<input type="checkbox"/> Fase 4: estudio de las consecuencias de los fallos. Criticidad.....	39
<input type="checkbox"/> Fase 5: determinación de las medidas preventivas.....	41
<input type="checkbox"/> Fase 6: agrupación de las medidas preventivas.....	45
<input type="checkbox"/> Fase 7: puesta en marcha de las medidas preventivas.....	46
<input type="checkbox"/> Diferencias entre un plan de mantenimiento inicial y uno obtenido mediante RCM	47
Implantación de TPM (Total Productive Maintenance).....	48
<input type="checkbox"/> 1 Que es TPM	48
<input type="checkbox"/> 2 La implantación de TPM.....	49
o Fase 1. Aseo inicial.	50
o Fase 2. Medidas para descubrir las causas de la suciedad, el polvo y las fallas.	50
o Fase 3. Preparación de procedimientos de limpieza y lubricación.	50
o Fase 4. Inspecciones generales.	50
o Fase 5. Inspecciones autónomas.....	50
o Fase 6. Orden y Armonía en la distribución.....	50
o Fase 7. Optimización y autonomía en la actividad.	50
<input type="checkbox"/> 3 La contratación externa de la implantación de TPM.....	51

Mantenimiento predictivo	52
<input type="checkbox"/> INTRODUCCIÓN	52
<input type="checkbox"/> Qué es el mantenimiento predictivo	52
<input type="checkbox"/> DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	52
<input type="checkbox"/> ORGANIZACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	52
<input type="checkbox"/> METODOLOGÍA DE LAS INSPECCIONES	53
<input type="checkbox"/> Análisis de vibraciones	54
<input type="checkbox"/> Termografía	55
<input type="checkbox"/> Análisis boroscópico en turbinas de gas	56
<input type="checkbox"/> Detección de fugas por ultrasonidos	57
<input type="checkbox"/> Análisis de aceites	58
Mantenimiento correctivo	59
<input type="checkbox"/> Asignación de prioridades	61
<input type="checkbox"/> Análisis de averías	62
<input type="checkbox"/> El objetivo del análisis de fallos	62
<input type="checkbox"/> Datos que deben recopilarse al estudiar un fallo	63
<input type="checkbox"/> Causas de los fallos	63
<input type="checkbox"/> Fallos en el material	64
<input type="checkbox"/> Error humano del personal de producción	64
<input type="checkbox"/> Errores del personal de mantenimiento	65
<input type="checkbox"/> Condiciones externas anómalas	65
<input type="checkbox"/> Medidas preventivas a adoptar en caso de fallo	66
<input type="checkbox"/> Fallos en el material	66
<input type="checkbox"/> Error humano del personal de producción	66
<input type="checkbox"/> Error humano del personal de mantenimiento	67
<input type="checkbox"/> Condiciones externas anómalas	67
<input type="checkbox"/> El stock de repuestos	67
<input type="checkbox"/> El análisis metalográfico	68
<input type="checkbox"/> La contratación de asistencia para el análisis de averías	68
La información en mantenimiento	69
<input type="checkbox"/> Gmao-Programa de la Gestión de la Información del Mantenimiento	69
<input type="checkbox"/> Programas de gestión de mantenimiento: GMAO	69
<input type="checkbox"/> Indicadores en mantenimiento	71
<input type="checkbox"/> Informes periódicos de mantenimiento y contratista	76
<input type="checkbox"/> Principales conflictos entre cliente y contratista	77
Los Recursos Humanos en mantenimiento	78
<input type="checkbox"/> Organigramas típicos	78
<input type="checkbox"/> Descripción de puestos de trabajo en mantenimiento	80
<input type="checkbox"/> El fracaso asegurado de un jefe de mantenimiento	87
<input type="checkbox"/> La motivación	88
<input type="checkbox"/> La formación: planes de formación	91
Gestión económica del mantenimiento: Presupuestos	92
La externalización del mantenimiento	92
<input type="checkbox"/> Ventajas e inconvenientes de la externalización	92
<input type="checkbox"/> Tendencias actuales	92
<input type="checkbox"/> Tipos de Contratos de mantenimiento	93
<input type="checkbox"/> Cláusulas contractuales	93
<input type="checkbox"/> Ejemplos de contrato de mantenimiento	93
<input type="checkbox"/> Fases de un contrato de mantenimiento	94
<input type="checkbox"/> Principales conflictos entre cliente y contratista	95
Errores durante el commissioning de una instalación	96

¿Qué es el mantenimiento industrial?

Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

A partir de la Primera Guerra Mundial, y sobre todo, de la Segunda, aparece el concepto de fiabilidad, y los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan. Esto supone crear una nueva figura en los departamentos de mantenimiento: personal cuya función es estudiar qué tareas de mantenimiento deben realizarse para evitar las fallas. El personal indirecto, que no está involucrado directamente en la realización de las tareas, aumenta, y con él los costes de mantenimiento. Pero se busca aumentar y fiabilizar la producción, evitar las pérdidas por averías y sus costes asociados. Aparece el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, y el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM). El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Podríamos decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.

Paralelamente, sobre todo a partir de los años 80, comienza a introducirse la idea de que puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos. Se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas "transferidas" son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir *Cero Averías*. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.

TPM y RCM no son formas opuestas de dirigir el mantenimiento, sino que ambas conviven en la actualidad en muchas empresas. En algunas de ellas, RCM impulsa el mantenimiento, y con esta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después, algunas de las tareas son transferidas a producción, en el marco de una política de implantación de TPM. En otras plantas, en cambio, es la filosofía TPM la que se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

Por desgracia, en otras muchas empresas ninguna de las dos filosofías triunfa. El porcentaje de empresas que dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo y que no se plantean si esa es la forma en la que se obtiene un máximo beneficio (objetivo último de la actividad empresarial) es muy alto. Son muchos los responsables de mantenimiento, tanto de empresas grandes como pequeñas, que creen que estas técnicas están muy bien en el campo teórico, pero que en su planta no son aplicables: parten de la idea de que la urgencia de las reparaciones es la que marca y marcará siempre las pautas a seguir en el departamento de mantenimiento.

El mantenimiento como cliente interno de producción

Desde que las empresas entendieron que deberían diferenciar la sección de personal dedicada a producción del personal dedicado a al cuidado de los equipos e instalaciones, los departamentos de mantenimiento han estado tradicionalmente subordinados a producción, siempre por debajo en la línea jerárquica de la empresa

El concepto de cliente interno aparece a mediados de los años 80, con la introducción masiva de las formas de gestión de empresas japonesas. Es un concepto muy interesante para cadenas de producción, en las que una fase de la producción proporciona la "materia prima" con la que se elaborará la siguiente. Es necesario, en estos casos, que la fase anterior compruebe que entrega un producto que alcanza perfectamente las especificaciones que necesita la fase siguiente.

Este concepto de cliente interno se aplicó también a otros departamentos, estableciéndose en multitud de empresas que Mantenimiento es el "proveedor" de producción, y éste, por tanto, su cliente. Según esa concepción, otros departamentos, como Ingeniería, Métodos o Compras, también son proveedores de Producción.

Este planteamiento es más evidente aún en entornos no industriales, como un hospital, un aeropuerto, etc. En un hospital, por ejemplo, el personal médico (asimilable con el personal de producción) suele estar muy por encima en la escala jerárquica respecto a los mandos de mantenimiento, a pesar de que es evidente de que la vida de un paciente puede depender del buen funcionamiento de un equipo (incluso del buen funcionamiento del sistema de acondicionamiento de aire).

Esta forma de establecer la relación entre Mantenimiento y Producción tal vez sea válida en entornos en los que no existe Gestión de Mantenimiento, donde Mantenimiento tan solo se ocupa de la reparación de las fallas que comunica Producción. Pero esta situación es muy discutible cuando el mantenimiento se gestiona, entendiéndose por gestionar **tratar de optimizar los recursos que se emplean**. En estos casos, Producción y Mantenimiento son dos elementos igualmente importantes del proceso productivo, dos ruedas del mismo carro. Un carro que, por cierto, tiene más ruedas: Ingeniería, Compras, Calidad, Administración... Para que la organización funcione es necesario que funcionen todos sus departamentos, cada una de sus áreas. Podríamos decir incluso que la eficiencia de una organización está determinada por el departamento que peor funcione. De nada sirve una empresa en la que el departamento de calidad es estupendo si el departamento comercial no consigue colocar en el mercado el producto o servicio; de poco sirve, igualmente que el departamento de mantenimiento sea excelente si la producción está pésimamente organizada, y viceversa.

Por tanto, en entornos en los que el mantenimiento se gestiona, podemos decir que Producción no es el cliente de Mantenimiento.

Tipos y modelos de mantenimiento

Este apartado trata de detallar la tradicional división en tipos de mantenimiento, destacando que esta división, aparte de una simple concepción académica o con fines formativos, no tiene mayor utilidad. No es posible determinar que para una máquina concreta, el tipo de mantenimiento a aplicar es uno de los tradicionales (correctivo, programado, predictivo, etc.). Es más práctico aplicar otro concepto: el modelo de mantenimiento. Los diferentes modelos de mantenimiento se definen como una mezcla de los diferentes tipos de mantenimiento en las proporciones necesarias para cada equipo.

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

• 1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

- **Mantenimiento Correctivo:** Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.
- **Mantenimiento Preventivo:** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema
- **Mantenimiento Predictivo:** Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.
- **Mantenimiento Cero Horas (Overhaul):** Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.
- **Mantenimiento En Uso:** es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

- **2. LA DIFICULTAD PARA ENCONTRAR UNA APLICACIÓN PRÁCTICA A LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO**

Esta división de *Tipos de Mantenimiento* presenta el inconveniente de cada equipo necesita una mezcla de cada uno de esos tipos, de manera que no podemos pensar en aplicar uno solo de ellos a un equipo en particular.

Así, en un motor determinado nos ocuparemos de su lubricación (mantenimiento preventivo periódico), si lo requiere, mediremos sus vibraciones o sus temperaturas (mantenimiento predictivo), quizás le hagamos una puesta a punto anual (puesta a cero) y repararemos las averías que vayan surgiendo (mantenimiento correctivo). La mezcla más idónea de todos estos tipos de mantenimiento nos la dictarán estrictas razones ligadas al coste de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, al coste de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del producto o servicio, entre otras.

El inconveniente, pues, de la división anterior es que no es capaz de dar una respuesta clara a esta pregunta:

¿Cuál es el mantenimiento que debo aplicar a cada uno de los equipos que componen una planta concreta?

Para dar respuesta a esta pregunta, es conveniente definir el concepto de Modelo de Mantenimiento. Un Modelo de Mantenimiento es una mezcla de los anteriores tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto. Podemos pensar que cada equipo necesitará una mezcla distinta de los diferentes tipos de mantenimiento, una mezcla determinada de tareas, de manera que los modelos de mantenimiento posibles serán tantos como equipos puedan existir. Pero esto no es del todo correcto. Pueden identificarse claramente 4 de estas mezclas, complementadas con otros dos tipos de tareas adicionales, según veremos más adelante.

- **3. MODELOS DE MANTENIMIENTO**

Cada uno de los modelos que se exponen a continuación incluyen varios de los tipos anteriores de mantenimiento, en la proporción que se indica. Además, todos ellos incluyen dos actividades: inspecciones visuales y lubricación. Esto es así porque está demostrado que la realización de estas dos tareas en cualquier equipo es rentable. Incluso en el modelo más sencillo (Modelo Correctivo), en el que prácticamente abandonamos el equipo a su suerte y no nos ocupamos de él hasta que nos se produce una avería, es conveniente observarlo al menos una vez al mes, y lubricarlo con productos adecuados a sus características. Las inspecciones visuales prácticamente no cuestan dinero (estas inspecciones estarán incluidas en unas gamas en las que tendremos que observar otros equipos cercanos, por lo que no significará que tengamos que destinar recursos expresamente para esa función). Esta inspección nos permitirá detectar averías de manera precoz, y su resolución generalmente será más barata cuanto antes detectemos el problema. La lubricación siempre es rentable. Aunque sí representa un coste (lubricante y la mano de obra de aplicarlo), en general es tan bajo que está sobradamente justificado, ya que una avería por una falta de lubricación implicará siempre un gasto mayor que la aplicación del lubricante correspondiente.

Hecha esta puntualización, podemos definir ya los diversos modelos de mantenimiento posibles.

A Modelo Correctivo

Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación mencionadas anteriormente, la reparación de averías que surjan. Es aplicable, como veremos, a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos

B Modelo Condicional

Incluye las actividades del modelo anterior, y además, la realización de una serie de pruebas o ensayos, que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas descubrimos una anomalía, programaremos una intervención; si por el contrario, todo es correcto, no actuaremos sobre el equipo.

Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja.

C Modelo Sistemático

Este modelo incluye un conjunto de tareas que realizaremos sin importarnos cual es la condición del equipo; realizaremos, además, algunas mediciones y pruebas para decidir si realizamos otras tareas de mayor envergadura; y por ultimo, resolveremos las averías que surjan. Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja. Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores, en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo.

Un ejemplo de equipo sujeto a este modelo de mantenimiento es un reactor discontinuo, en el que las materias que deben reaccionar se introducen de una sola vez, tiene lugar la reacción, y posteriormente se extrae el producto de la reacción, antes de realizar una nueva carga. Independientemente de que este reactor esté duplicado o no, cuando está en operación debe ser fiable, por lo que se justifica realizar una serie de tareas con independencia de que hayan presentado algún síntoma de fallo.

Otros ejemplos:

- El tren de aterrizaje de un avión
- El motor de un avión

D Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%. La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es en general el alto coste en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta, no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático). Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior. En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año (piezas con una vida inferior a dos años). Estas revisiones se preparan con gran antelación, y no tiene porqué ser exactamente iguales año tras año.

Como quiera que en este modelo no se incluye el mantenimiento correctivo, es decir, el objetivo que se busca en este equipo es CERO AVERÍAS, en general no hay tiempo para subsanar convenientemente las incidencias que ocurren, siendo conveniente en muchos casos realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo en marcha hasta la próxima revisión general. Por tanto, la Puesta a Cero anual debe incluir la resolución de todas aquellas reparaciones provisionales que hayan tenido que efectuarse a lo largo del año.

Algunos ejemplos de este modelo de mantenimiento pueden ser los siguientes:

- Turbinas de producción de energía eléctrica
- Hornos de elevada temperatura, en los que una intervención supone enfriar y volver a calentar el horno, con el consiguiente gasto energético y con las pérdidas de producción que trae asociado
- Equipos rotativos que trabajan de forma continua
- Depósitos reactores o tanques de reacción no duplicados, que sean la base de la producción y que deban mantenerse en funcionamiento el máximo número de horas posible.

• 4. OTRAS CONSIDERACIONES

En el diseño del Plan de Mantenimiento, deben tenerse en cuenta dos consideraciones muy importantes que afectan a algunos equipos en particular. En primer lugar, algunos equipos están sometidos a normativas legales que regulan su mantenimiento, obligando a que se realicen en ellos determinadas actividades con una periodicidad establecida.

En segundo lugar, algunas de las actividades de mantenimiento no podemos realizarlas con el equipo habitual de mantenimiento (sea propio o contratado) pues se requiere de conocimientos y/o medios específicos que solo están en manos del fabricante, distribuidor o de un especialista en el equipo.

Estos dos aspectos deben ser valorados cuando tratamos de determinar el modelo de mantenimiento que debemos aplicar a un equipo.

a. *Mantenimiento Legal*

Algunos equipos están sometidos a normativas o a regulaciones por parte de la Administración. Sobre todo, son equipos que entrañan riesgos para las personas o para el entorno. La Administración exige la realización de una serie de tareas, pruebas e inspecciones, e incluso algunas de ellas deben ser realizadas por empresas debidamente autorizadas para llevarlas a cabo. Estas tareas deben necesariamente incorporarse al Plan de Mantenimiento del equipo, sea cual sea el modelo que se decida aplicarle.

Algunos de los equipos sometidos a este tipo de mantenimiento son los siguientes:

- Equipos y aparatos a presión
- Instalaciones de Alta y Media Tensión
- Torres de Refrigeración
- Determinados medios de elevación, de cargas o de personas
- Vehículos
- Instalaciones contra incendios
- Tanques de almacenamiento de determinados productos químicos

b. *Mantenimiento subcontratado a un especialista*

Cuando hablamos de un especialista, nos referimos a un individuo o empresa especializada en un equipo concreto. El especialista puede ser el fabricante del equipo, el servicio técnico del importador, o una empresa que se ha especializado en un tipo concreto de intervenciones. Como hemos dicho, debemos recurrir al especialista cuando: -No tenemos conocimientos suficientes

- No tenemos los medios necesarios

Si se dan estas circunstancias, algunas o todas las tareas de mantenimiento deberemos subcontratarlas a empresas especializadas.

El mantenimiento subcontratado a un especialista es en general la alternativa más cara, pues la empresa que lo ofrece es consciente de que no compite. Los precios no son precios de mercado, sino precios de monopolio. Debe tratar de evitarse en la medida de lo posible, por el encarecimiento y por la dependencia externa que supone. La forma más razonable de evitarlo consiste en desarrollar un Plan de Formación que incluya entrenamiento específico en aquellos equipos de los que no se poseen conocimientos suficientes, adquiriendo además los medios técnicos necesarios.

Mantenimiento programado

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

EN CONSTRUCCIÓN

Mantenimiento programado:

- El mantenimiento sistemático
- El plan de mantenimiento
 - Plan de mantenimiento basado en instrucciones de los fabricantes

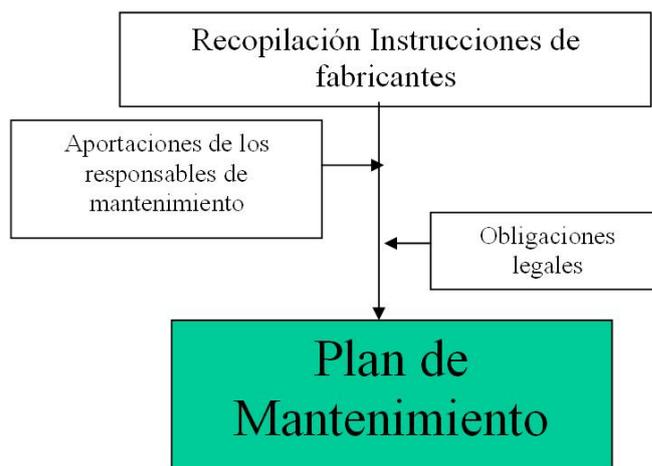
Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

La elaboración de un plan de mantenimiento puede hacerse de tres formas:

- Modo 1: Realizando un plan basado en las instrucciones de los fabricantes de los diferentes equipos que componen la planta.
- Modo 2: Realizando un **Plan de mantenimiento basado en instrucciones genéricas** y en la experiencia de los técnicos que habitualmente trabajan en la planta.
- Modo 3: Realizando un plan basado en un análisis de fallos que pretenden evitarse.

En plantas que no tienen ningún plan de mantenimiento implantado, puede ser conveniente hacer algo sencillo y ponerlo en marcha. Eso se puede hacer siguiendo las recomendaciones de los fabricantes o basándose en la experiencia propia o de otros. Son los modos 1 y 2. Este artículo detalla la forma de actuar en el modo 1, es decir, basar el plan de mantenimiento en los manuales y en las recomendaciones de los fabricantes.

Esta forma de elaborar el plan tiene generalmente 3 fases, como se aprecia en la Fig.ura adjunta:



Fase 1: Recopilación de manuales y de instrucciones de los fabricantes

Realizar un plan de mantenimiento basado en las recomendaciones de los fabricantes de los diferentes equipos que componen la planta no es más que recopilar toda la información existente en los manuales de operación y mantenimiento de estos equipos y darle al conjunto un formato determinado.

Es conveniente hacer una lista previa con todos los equipos significativos de la planta. A continuación, y tras comprobar que la lista contiene todos los equipos, habrá que asegurarse de que se dispone de los manuales de todos esos equipos. El último paso será recopilar toda la información contenida en el apartado "mantenimiento preventivo" que figura en esos manuales, y agruparla de forma operativa.

Si el equipo de mantenimiento está dividido en personal mecánico y personal eléctrico, puede ser conveniente dividir también las tareas de mantenimiento según estas especialidades.

Fase 2: Recopilación de la experiencia de los técnicos

Con esta recopilación, el plan de mantenimiento no está completo. Es conveniente contar con la experiencia de los responsables de mantenimiento y de los propios técnicos, para completar las tareas que pudieran no estar incluidas en la recopilación de recomendaciones de fabricantes. Es posible que algunas tareas que pudieran considerarse convenientes no estén incluidas en las recomendaciones de los fabricantes por varias razones:

- El fabricante no está interesado en la desaparición total de los problemas. Diseñar un equipo con cero averías puede afectar su facturación
- El fabricante no es un especialista en mantenimiento, sino en diseño y montaje.
- Hay instalaciones que se han realizado en obra, y que no responden a la tipología de "equipo", sino más bien son un conjunto de elementos, y no hay un fabricante como tal, sino tan solo un instalador. En el caso de que haya manual de mantenimiento de esa instalación, es dudoso que sea completo. Es el caso, por ejemplo, de un ciclo agua-vapor: es un conjunto de tuberías, soportes y válvulas. Podemos encontrar instrucciones de mantenimiento de válvulas, porque hay un libro de instrucciones para ellas, pero también las tuberías y la sujeción necesitan determinadas inspecciones. Además, el ciclo agua-vapor se comporta como un conjunto: son necesarias determinadas pruebas funcionales del conjunto para determinar su estado.

Hay ocasiones en que el Plan de Mantenimiento que propone el fabricante es tan exhaustivo que contempla la sustitución o revisión de un gran número de elementos que evidentemente no han llegado al máximo de su vida útil, con el consiguiente exceso en el gasto. Cuantas más intervenciones de mantenimiento preventivo sean necesarias, más posibilidades de facturación tiene el fabricante. Además está el problema de la garantía: si un fabricante propone multitud de tareas y estas no se llevan a cabo, el fabricante puede alegar que el mantenimiento preventivo propuesto por él no se ha realizado, y esa es la razón del fallo, no haciéndose pues responsable de su solución en el periodo de garantía (con la consiguiente facturación adicional).

Fase 3: Mantenimiento legal

Por último, no debe olvidarse que es necesario cumplir con las diversas normas reglamentarias vigentes en cada momento. Por ello, el plan debe considerar todas las obligaciones legales relacionadas con el mantenimiento de determinados equipos. Son sobre todo tareas de mantenimiento relacionadas con la seguridad. Algunos de los equipos sujetos a estas normas en una planta de cogeneración son los siguientes:

- ERM
- Sistemas de Alta Tensión
- Torres de Refrigeración
- Puentes grúa
- Vehículos
- Tuberías y Equipos a presión
- Instalaciones de tratamiento y almacenamiento de aire comprimido
- Sistemas de control de emisiones y vertidos
- Sistemas contra incendios
- Sistemas de climatización de edificios
- Intercambiadores de placas
- Almacén de productos químicos
- Etc.

○ Plan de mantenimiento basado en instrucciones genéricas

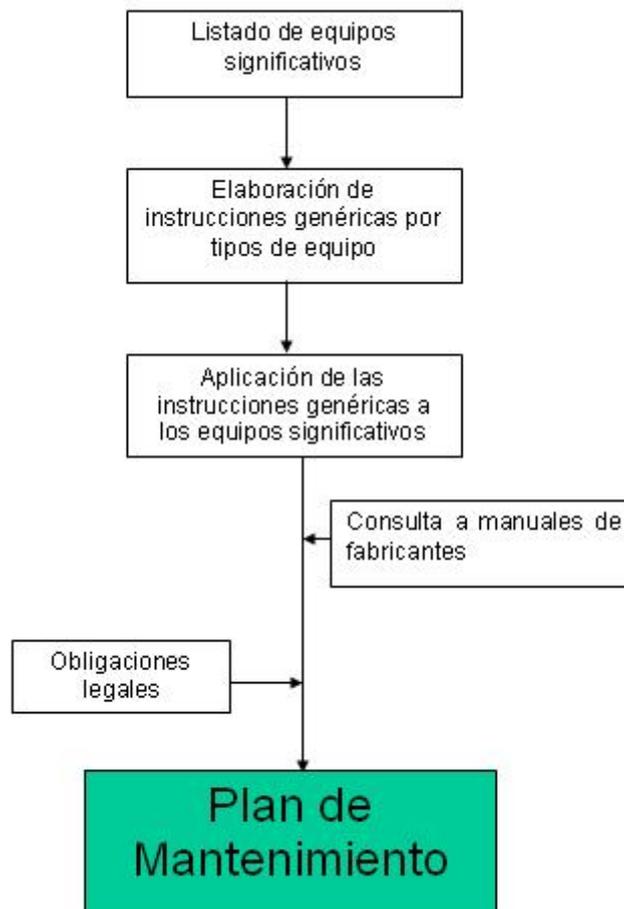
Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

La elaboración de un plan de mantenimiento puede hacerse de tres formas:

- Modo 1: Realizando un plan basado en las instrucciones de los fabricantes de los diferentes equipos que componen la planta
- Modo 2: Realizando un plan basado en instrucciones genéricas y en la experiencia de los técnicos que habitualmente trabajan en la planta
- Modo 3 Realizando un plan basado en un análisis de fallos que pretenden evitarse.

En plantas que no tienen ningún plan de mantenimiento implantado, puede ser conveniente hacer algo sencillo y ponerlo en marcha. Eso se puede hacer siguiendo las recomendaciones de los fabricantes o basándose en la experiencia propia o de otros. Son los modos 1 y 2. Este artículo detalla la forma de actuar en el modo 2.

El esquema para elaborarlo puede verse en la siguiente Fig.ura:



Como puede apreciarse en la Fig.ura, la consulta a los manuales de los fabricantes se hace después de haber elaborado un "borrador" inicial del plan, y con la idea de complementar éste. Esa es la principal diferencia con la elaboración de planes de mantenimiento basados en las instrucciones del fabricante. En la fase final se añaden las obligaciones legales de mantenimiento, como en el caso anterior.

Fase 1: Lista de equipos significativos

Del inventario de equipos de la planta, deben listarse aquellos que tienen una entidad suficiente como para tener tareas de mantenimiento asociadas. Este listado puede incluir motores, bombas, válvulas, determinados instrumentos, filtros, depósitos, etc.

Una vez listados, es conveniente agrupar estos equipos por tipos, de manera que sepamos cuantos tipos de equipos significativos tenemos en el sistema que estamos analizando.

Fase 2: Listado de tareas genéricas para cada tipo de equipo

Para cada uno de los tipos de equipos, debemos preparar un conjunto de tareas genéricas que les serían de aplicación. Así, podemos preparar tareas genéricas de mantenimiento para transformadores, motores, bombas, válvulas, etc.

Nota del autor: Estoy preparando un listado de tareas genéricas para tipos de equipos muy conocidos. Entre ellos estarán: bombas centrífugas, torres de refrigeración, instalaciones neumáticas, equipos hidráulicos, sistemas eléctricos de alta tensión, sistemas eléctricos de máquinas, etc.)

Fase 3: Aplicación de las tareas genéricas

Para cada motor, bomba, trafo, válvula, etc., aplicaremos las tareas genéricas preparadas en el punto anterior, de manera que obtendremos un listado de tareas referidas a cada equipo concreto

Fase 4: Comprobación de las instrucciones de los fabricantes

Es en este punto, y no al principio, donde incluimos las recomendaciones de los fabricantes, tratando de ver que no se ha olvidado nada importante.

Fase 5: Añadir mantenimiento legal

Igual que en caso anterior, es necesario asegurar el cumplimiento de las normas reglamentarias referentes a mantenimiento que puedan ser de aplicación en determinados equipos. Algunos de los equipos sujetos a estas normas en una planta industrial son los siguientes:

- ERM
- Sistemas de Alta Tensión
- Torres de Refrigeración
- Puentes grúa
- Vehículos
- Tuberías y Equipos a presión
- Instalaciones de tratamiento y almacenamiento de aire comprimido
- Sistemas de control de emisiones y vertidos
- Sistemas contra incendios
- Sistemas de climatización de edificios
- Intercambiadores de placas
- Almacén de productos químicos
- Etc.

- Plan de mantenimiento basado en análisis de fallos potenciales
- Mantenimiento instalaciones térmicas
- **Ejemplo de plan de mantenimiento**

Ejemplo de plan de mantenimiento

Un plan de mantenimiento programado no es más que el conjunto de gamas de mantenimiento elaboradas para atender una instalación. Este plan contiene todas las tareas necesarias para prevenir los principales fallos que puede tener la instalación. Es importante entender bien esos dos conceptos: que el plan de mantenimiento es un conjunto de tareas de mantenimiento agrupados en gamas, y que el objetivo de este plan es evitar determinadas averías

Los técnicos que tienen que abordar el trabajo de realizar un plan de mantenimiento en ocasiones se encuentran sin un modelo o una base de referencia. Este artículo trata de ofrecer al lector un modelo posible, que puede ser modificado y mejorado a voluntad de quien realiza el trabajo.

Por: Santiago García Garrido

Información que debe tener una gama de mantenimiento

Una gama de mantenimiento es una lista de tareas a realizar en un equipo, en una instalación, en un sistema o incluso en una planta completa. La información básica que debería tener una gama de mantenimiento es la siguiente:

- Equipo en el que hay que realizar la tarea
- Descripción de la tarea a realizar
- Resultado de la realización
- Valor de referencia, en el caso de que la tarea consista en una lectura de parámetros, una medición o una observación.

Las tareas se agrupan en gamas siguiendo alguna característica común a todas las que la integran. Así, existen gamas por frecuencia (gamas diarias, gamas mensuales, gamas anuales, etc.) o por especialidad (gamas de operación, gamas mecánicas, gamas eléctricas, gamas predictivas, etc.).

•

Gamas diarias

Las gamas o rutas diarias contienen tareas que se realizan fácilmente. La mayor parte de ellas se refieren a controles visuales (ruidos y vibraciones extrañas, control visual de fugas), mediciones (tomas de datos, control de determinados parámetros) y pequeños trabajos de limpieza y/o engrase. En general, todas las tareas pueden hacerse con los equipos en marcha. Son la base de un buen mantenimiento preventivo, y permiten "llevar al día" la planta. Es además, la parte de trabajo de mantenimiento más fácilmente trasladable al personal de producción (o de operación), y que por tanto mejor puede integrarse en un TPM.

Por la gran cantidad de papel que generan (el 90% del total al cabo de un año), no es conveniente que estén en el sistema informático de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador. Es más práctico generar las hojas de ruta manualmente. Si se generaran a partir del sistema informático habría que completar todo el ciclo de una O.T. (apertura, aprobación, carga de datos, cierre, aprobación del cierre, etc.); todo este esfuerzo no está justificado, pues genera demasiado trabajo burocrático que no añade ningún valor.

Tras la realización de todas las rutas diarias es conveniente rellenar un Parte de Incidencias, en el que se reflejen todas las anomalías observadas en la planta. A partir de ese parte, una persona autorizada (un mando intermedio de mantenimiento) o el propio operario encargado de realizar las rutas debe generar tantas Órdenes de Trabajo como anomalías haya encontrado.

Ejemplo 1 gama diaria de la zona 1100 de una planta química



GAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		Frecuencia: Diaria	Código Gama DBTG
INSPECCIÓN GENERAL DIARIA		Edición: 0 Fecha: 10/07/01	Esp: PREV HOJA: 1 / 2
INSTALACIÓN A INSPECCIONAR O REVISAR: AREA 1100			
OPERARIO:		FECHA:	
HORA INICIO:	HORA FINAL:	T. NORMAL: 45 Minutos	
HERRAMIENTAS		Equipo de Protección	
Termómetro infrarrojos		Botas de seguridad Guantes	
RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS			Firma operario:
<p>1.- Productos químicos. Trabajar con guantes. Leer y conocer fichas de seguridad</p> <p>2.- Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes</p> <p>3.- Trabajos con disolventes. Riesgo de incendio y explosión. No fumar en las inmediaciones</p> <p>4.- Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular equipos bajo tensión. Solicitar aislamiento antes de intervenir</p>			
MATERIALES		CODIGO MATERIALES	
EQUIPO	DESCRIPCIÓN	RESULTADO	RANGO NORMAL
REACTOR 11TR01	Inspección visual de conexiones de los dos motores		
	Ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en los 2 motores		Sin ruidos ni vibrac.
	Temperatura del motor del agitador (rodamiento lado agitador)		Inferior a 70°C
	Temperatura del motor del rascador		
	Control visual de fugas en el depósito		
	Inspección visual de conexiones en los controles de caudal (semáforo)		
	Inspección visual de conexiones en sonda de temperatura reactor		
	Inspección visual de conexiones en sonda de temper. Aceite térmico		
	Temperatura del reactor		160-170 °C
	Temperatura del aceite térmico		
	Temperatura de salida del agua en el intercambiador		45-55°C
	Ausencia de fugas en filtros de barniz hacia depósito		
	Ausencia de fugas en filtros de barniz hacia expedición (nuevos)		
	Ausencia de fugas de aire comprimido		
Purgar unidades de mantenimiento neumáticas			
Inspección visual del rotámetro de nitrógeno			
Inspección visual del polipasto			
REACTOR 11TR02	Inspección visual de conexiones de los dos motores		
	Ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en los 2 motores		Sin ruidos ni vibrac.
	Temperatura del motor del agitador (rodamiento lado agitador)		Inferior a 70°C
	Temperatura del motor del rascador		
	Control visual de fugas en el depósito		
	Inspección visual de conexiones en sonda de temperatura reactor		
	Inspección visual de conexiones en sonda de temper. Aceite térmico		
	Temperatura del reactor		160-170 °C
	Temperatura del aceite térmico		
	Temperatura de salida del agua en el intercambiador		45-55°C
	Inspección visual del rotámetro de nitrógeno		
Inspección visual del polipasto			
REACTOR 11TR03	Inspección visual de conexiones del motor		
	Ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en el motor		
	Temperatura del motor (Rodamiento lado agitador)		Inferior a 70°C
	Control visual de fugas en el depósito		
	Inspección visual de conexiones en el medidor de caudal		
	Inspección visual de conexiones en sonda de temperatura		
	Temperatura del reactor		155-170°C
Ausencia de fugas en filtro de barniz			

GAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Frecuencia:
Diaria

Código Gama
DBTG

INSPECCIÓN GENERAL DIARIA

Edición: 0

Esp: PREV

Fecha: 10/07/01

HOJA: 2 / 2

INSTALACIÓN A INSPECCIONAR O REVISAR: AREA 1100

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	RESULTADO	VALOR NORMAL
REACTOR 11TR04	Inspección visual de conexiones del motor		
	Ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en el motor		
	Temperatura del motor (Rodamiento lado agitador)		Inferior a 70°C
	Control visual de fugas en el depósito		
	Inspección visual de conexiones en el medidor de caudal		
	Inspección visual de conexiones en sonda de temperatura		
	Ausencia de fugas en filtro de barniz		
MEZCLADOR 11TR05	Inspección visual de conexiones del motor		
	Ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en el motor		
	Temperatura del motor (Rodamiento lado agitador)		Inferior a 70°C
	Control visual de fugas en el depósito		
	Inspección visual de conexiones en sonda de temperatura		
CIRCUITO 11AC01	Comprobar temperatura de la sala		50-60°C
	Comprobar ausencia de fugas		
	Comprobar ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en bombas sala		
CALDERA 1 11CA01	Verificar ausencia de ruidos, fugas y vibraciones extrañas en bombas		
	Verificar presiones de salida en bombas		
	Verificar temperatura de rodamiento delantero de bomba	A= B=	Inferior a 70 °C
	Comprobar nivel de aceite		Con nivel
	Ausencia de fugas en depósitos		
	Comprobar temperatura de entrada y salida de aceite de la caldera	Ent= Sal=	E= 210-255 S= 210-215
	Comprobar temperatura de humos de salida		Inferior a 200°C
Comprobar presiones de gas antes y despues de válvula reductora	Ent= Sal=	Ent= Sal=	
CALDERA 2 11CA02	Verificar ausencia de ruidos, fugas y vibraciones extrañas en bombas		
	Verificar presiones de salida en bombas		
	Verificar temperatura de rodamiento delantero de bomba	A= B=	Inferior a 70 °C
	Comprobar nivel de aceite		Con nivel
	Ausencia de fugas en depósitos		
	Comprobar temperatura de entrada y salida de aceite de la caldera	Ent= Sal=	E= 210-255 S= 210-215
	Comprobar temperatura de humos de salida		Inferior a 200°C
	Comprobar presiones de gas antes y despues de válvula reductora	Ent= Sal=	E= 1,3 bar S= 16m bar

OBSERVACIONES:

Gamas semanales y mensuales

Las gamas semanales y mensuales contemplan tareas más complicadas, que no está justificado realizar a diario. Implican en algunos casos desmontajes, paradas de equipos o tomas de datos más laboriosas. Es el caso de limpiezas interiores que necesiten del desmontaje de determinados elementos, o medidas del consumo de un motor (medida de intensidad) en cuadros de acceso complicado, etc. También incluyen tareas que no se justifica realizar a diario, como los engrases.

Ejemplo 3.4 gama mensual de la zona 1100 de una planta química

	GAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		Frecuencia: Diaria		Codigo Gama DBTG	
	INSPECCIÓN GENERAL DIARIA		Edición: 0		Esp: PREV	
			Fecha: 10/07/01		HOJA: 2 / 2	
INSTALACIÓN A INSPECCIONAR O REVISAR: AREA 1100						
EQUIPO	DESCRIPCIÓN	RESULTADO		VALOR NORMAL		
REACTOR 11TR04	Inspección visual de conexiones del motor					
	Ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en el motor					
	Temperatura del motor (Rodamiento lado agitador)					Inferior a 70°C
	Control visual de fugas en el depósito					
	Inspección visual de conexiones en el medidor de caudal					
	Inspección visual de conexiones en sonda de temperatura					
	Ausencia de fugas en filtro de barniz					
MEZCLADOR 11TR05	Inspección visual del polipasto					
	Inspección visual de conexiones del motor					
	Ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en el motor					
	Temperatura del motor (Rodamiento lado agitador)					Inferior a 70°C
	Control visual de fugas en el depósito					
CIRCUITO 11AC01	Inspección visual de bombas del filtro (2)					
	Inspección visual de conexiones en sonda de temperatura					
	Comprobar temperatura de la sala					50-60°C
CALDERA 1 11CA01	Comprobar ausencia de fugas					
	Comprobar ausencia de ruidos y vibraciones extrañas en bombas sala					
	Verificar ausencia de ruidos, fugas y vibraciones extrañas en bombas					
	Verificar presiones de salida en bombas					
	Verificar temperatura de rodamiento delantero de bomba	A=	B=			Inferior a 70 °C
	Comprobar nivel de aceite					Con nivel
	Ausencia de fugas en depósitos					
Comprobar temperatura de entrada y salida de aceite de la caldera	Ent=	Sal=			E- 210-255 S-210-215	
Comprobar temperatura de humos de salida					Inferior a 200°C	
CALDERA 2 11CA02	Comprobar presiones de gas antes y despues de válvula reductora	Ent=	Sal=			Ent= Sal=
	Verificar ausencia de ruidos, fugas y vibraciones extrañas en bombas					
	Verificar presiones de salida en bombas					
	Verificar temperatura de rodamiento delantero de bomba	A=	B=			Inferior a 70 °C
	Comprobar nivel de aceite					Con nivel
	Ausencia de fugas en depósitos					
	Comprobar temperatura de entrada y salida de aceite de la caldera	Ent=	Sal=			E- 210-255 S-210-215
	Comprobar temperatura de humos de salida					Inferior a 200°C
Comprobar presiones de gas antes y despues de válvula reductora	Ent=	Sal=			E- 1,3 bar S- 16m bar	
OBSERVACIONES:						

Gamas anuales

Suponen en algunos casos una revisión completa del equipo (*Overhaul*), y en otros, la realización de una serie de tareas que no se justifica realizar con una periodicidad menor. Es el caso de cambios de rodamientos, limpieza interior de una bomba, medición de espesores en depósitos, equilibrado de aspas de un ventilador, por citar algunos ejemplos. Siempre suponen la parada del equipo durante varios días, por lo que es necesario estudiar el momento más adecuado para realizarlo.

Ejemplo 3.5 gama anual de la zona 1100 de una planta química

Anagrama	GAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Frecuencia: Anual	Código Gama AC18TG
	REVISIÓN GENERAL ANUAL	Edición: 0 Fecha: 06/07/01	Esp: HOJA: 1 / 1
INSTALACIÓN A REVISAR: CALDERA 1100A01			
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
OPERARIO:	H. INICIO:	H. FINAL:	FECHA:
HERRAMIENTAS:		Equipos de Protección	
Analizador de Humos de Caldera Analizador de vibraciones Megafonía Rasador para tubo de humos Aspirador		Gafas de seguridad Botas de seguridad Protectores acústicos	
RECOMENDACIONES DEL TALLER (PRELACIONES A TENER EN CUENTA):		Firma Operario:	
<ol style="list-style-type: none"> 1.- Parar la instalación y verificar. Calcular cables y conductos 2.- Parar a presión. Precaución al abrir bombas y calderas (puede haber presión residual). No re-arrancar todos los tornillos hasta no comprobar que no existe presión residual 3.- No comenzar a trabajar hasta que la temperatura del circuito de aceite sea inferior a 30 °C 4.- Precaución con los cables. Trabajar con guantes. Leer y conocer fichas de seguridad 5.- Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular los equipos bajo tensión 			
MATERIALES:		CODIGO MATERIALES	
Aceite 18 mm lts de limpieza Material de limpieza		Grasa para los tornillos de la tapa de la caldera	
Acoplamiento y rodamientos de motor y bomba, si se precisa			
OPERARIO	DESCRIPCIÓN	VALOR NORMAL	RESULTADO
	Comprobar nivel aceite motor y bomba (los días)		
	Limpieza exterior de los dos conjuntos motor-bomba		
	Comprobar estado de los dos acoplamientos		
	Medir nivel de aceite de motor		
	Medir nivel de vibraciones de los dos conjuntos motor-bomba		
	Comprobar ajustes a la base de los dos conjuntos		
	Abrir caldera y limpiar tubos de humos		
	Comprobar el disparo de todas las seguridades:		
	Hombre muerto		
	Encebo de presión		
	Aislamiento de llama		
	Temperatura excesiva		
	Bajo nivel de aceite		
	Revisar estado de elapetate de espasión		
	Verificar que las certificaciones de la caldera están correctas		
	Comprobar estado de soplaite del quemador		
	Ajustar el quemador		
	Comprobar el sistema de seguridad		
	Limpieza de bajías		
	Reapriete de bornas en cuadro eléctrico		
	Ajuste de 18 mm lts		
	Comprobar y ajuste de diferenciales		
	Limpieza interior de armarios		
	Comprobar presión a tierra de depósitos, caldera y motores		

Informes tras la realización de gamas y rutas

La realización de Gamas y Rutas de Mantenimiento debe ser completada con la redacción de un informe en el que se detallen todas las anomalías encontradas y todas las reparaciones que se han efectuado o que son necesarios.

Es conveniente recoger todas las incidencias encontradas en la realización de todas las rutas diarias en un único informe, que puede denominarse Parte de Incidencias. En él se deben detallar todos los parámetros observados fuera de rango, todas las observaciones referentes a fugas, vibraciones y ruidos anómalos, y todas las observaciones que se consideren de interés. Posteriormente, una persona autorizada debe revisar este Parte de Incidencias y emitir tantas Órdenes de Trabajo como anomalías se hayan detectado.

La redacción del informe, la emisión de las Órdenes de Trabajo y su seguimiento son tareas tan importantes que si no se realiza en es inútil poner en marcha estas rutas diarias. Sus principales objetivos son dos: por un lado, detectar anomalías en una fase inicial, cuando todavía no han supuesto un grave problema, y por otro, conocer en todo momento el estado de la planta.

Muchas de las Órdenes que se emitan no estarán resueltas al realizar la siguiente ruta diaria siguiente, por lo que queda la duda de si es necesario consignar en cada ruta diaria todas las anomalías que se encuentren o tan solo las fallas nuevas no detectadas en inspecciones anteriores. Una solución práctica puede ser consignar tan solo las nuevas anomalías, pero un día a la semana consignarlas todas, indicando de cuales se ha emitido ya Orden de Trabajo (y fecha de emisión) y de cuales se emite en ese momento. Por ejemplo, si se toma la decisión de anotar todos los lunes todas las fallas que se encuentren y reflejarlas en el informe de incidencias, si un jueves queremos revisar el estado de la planta bastará con tomar el informe del lunes anterior e incluir las aparecidas en la semana.

- **Errores habituales en la elaboración e implantación de planes de mantenimiento**

Errores habituales en la elaboración e implementación de planes de mantenimiento

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Al elaborar un plan de mantenimiento para una planta nueva o una planta industrial que nunca ha tenido uno, en muchas ocasiones el proyecto fracasa. Es decir: se pretende mejorar los resultados de la producción y del mantenimiento mediante la implantación de un mantenimiento programado que ayude a fiabilizar la planta, y el proyecto termina abandonándose o ejecutándose sin resultados aparentes. Acaba con un jefe de mantenimiento que tira la toalla, con algunas personas reacias a este tipo de actuaciones felicitándose y afirmando ¡¡Ya lo decía yo, en esta empresa eso es imposible!!

Pero muchos de los errores se pueden evitar: el drama de la implantación de un mantenimiento programado en un entorno "hostil" a ese tipo de actuaciones no tiene por qué acabar en desgracia. Algunos de los errores más comunes, y cuyo conocimiento puede ayudar a hacer las cosas bien y a conducir el proyecto hacia una implantación exitosa, son los que se exponen en este artículo.

Error 1: Seguir en exceso las recomendaciones de los fabricantes

El primer error en el que suele caerse a la hora de preparar un plan de mantenimiento de una planta industrial es basar el plan únicamente en las recomendaciones de los fabricantes de los distintos equipos que componen la planta. Es un error por tres razones:

1.- El fabricante no conoce la importancia relativa de cada equipo, por lo que puede excederse o quedarse corto a la hora de proponer tareas de mantenimiento

2.- Su interés se centra sobre todo en que el equipo no falle en el tiempo en que éste está en garantía. El interés del propietario es diferente: necesita que el equipo esté en servicio durante toda la vida útil de la planta

3.- El sistema en su conjunto necesita de la realización de una serie de tareas y pruebas que no están incluidas en ninguno de los equipos por separado. Por ejemplo, si tenemos 2 bombas duplicadas, suele resultar interesante probar periódicamente la bomba que permanece parada. El fabricante de la bomba nunca propondrá esta tarea, entre otras razones porque no sabe cuantas de esas bombas hay en la instalación

Un buen plan de mantenimiento debe tener en cuenta las recomendaciones del fabricante, considerando además que durante un periodo inicial los equipos estarán en garantía. Pero es mucho más útil elaborar el plan basándose en el análisis de los sistemas y sus fallos potenciales, completando ese plan con las recomendaciones del fabricante.

Error 2: Orientar el Plan de Mantenimiento a equipos, en vez de orientarlo a sistemas

Cuando un plan de mantenimiento se enfoca como el mantenimiento de cada uno de los equipos que componen la planta, el resultado suele ser una carga de trabajo burocrática inmensa, además de un plan incompleto.

Imaginemos una planta que tiene, digamos, 5000 referencias o ítem y que referimos el plan de mantenimiento a cada uno de estos ítem (un ítem puede ser un motor, una bomba, una válvula, un instrumento). Eso supone unas 90.000 gamas de mantenimiento (u ordenes de trabajo tipo) que llegarían a generar más de 4.000.000 de órdenes en un solo año (unas 11.000 diarias). El trabajo burocrático y la complicación de manejar tal cantidad de órdenes es implanteable. La elaboración de las gamas de mantenimiento no se acabaría nunca, el plan de mantenimiento siempre estaría incompleto, y actualizarlo será una labor casi imposible.

La solución más interesante consiste en no referir el plan de mantenimiento a cada uno de los ítems que componen la planta, sino dividir la planta en áreas o sistemas, y referir el plan a ellas.

Error 3: No contar con el personal de Operación para el mantenimiento diario

El trabajo diario (gamas diarias), sobre todo el de baja cualificación, debería ser siempre realizado por el personal de operación. Esto ayuda, por un lado, a disminuir la carga de trabajo del personal de mantenimiento, cargando sólo ligeramente al personal de operación. Además, el trabajo de operación en una planta tan automatizada como puede llegar a ser una planta industrial puede resultar aburrido. El hecho de que los técnicos de operaciones realicen el trabajo diario, que suele consistir en inspecciones visuales, limpiezas, lecturas, tomas de datos, etc., ayuda a hacer menos aburrido el puesto de operador, a la vez que le hace tener un conocimiento mayor de lo que ocurre en la planta

Error 4: Creer que el programa informático de mantenimiento (GMAO) mantiene la planta industrial

Un programa de gestión de mantenimiento es una herramienta, como un destornillador o una llave fija. E igualmente que el destornillador y la llave, que no mantienen la planta sino que se utilizan para mantenerla, la implantación de un programa informático por sí mismo no mejora el mantenimiento de la planta. Es más: en muchas ocasiones, la mayoría, lo empeora. Cuando la herramienta informática está mal implantada genera gran cantidad de trabajo burocrático que no aporta ningún valor ni ninguna información útil para la toma de decisiones. Se puede afirmar sin temor al error que en la mayoría de las plantas industriales de tamaño pequeño o mediano un software de mantenimiento se vuelve un estorbo, y que es mucho más práctico realizar la gestión en papel con la ayuda de alguna hoja de cálculo o como mucho una pequeña base de datos desarrollada con conocimientos de usuario.

Error 5: Tratar de registrar informáticamente los resultados de inspecciones diarias y semanales

Registrar los resultados de las gamas diarias no aporta prácticamente ningún valor a la información, y supone un trabajo burocrático inmenso. Todo el proceso de generación y cierre de gamas diarias puede suponer más trabajo que el necesario para realizar la gama. Es mucho más práctico mantener estas gamas al margen del sistema informático, en soporte papel, en que caso de no tener en cuenta la recomendación anterior e implantar un sistema informático.

Error 6: No implicar al personal de mantenimiento en la elaboración del plan de mantenimiento.

Aunque no es absolutamente necesario que el personal de mantenimiento sea el encargado de la elaboración del plan de mantenimiento (es más, a veces es un problema contar con este personal para la elaboración de las gamas, porque suele estar sobrecargado de trabajo correctivo), realizarlo a sus espaldas puede acarrear un rechazo al plan por parte de los técnicos de mantenimiento. Ese rechazo se traducirá en falta de rigor, demora en la realización de las tareas, y finalmente, en el abandono del plan preventivo.

Error 7: Falta de mentalización preventiva del personal de mantenimiento

Si los técnicos de mantenimiento están muy acostumbrados a organizar su trabajo en base al mantenimiento correctivo, no es fácil cambiar esa tendencia. La visión que pueden tener del mantenimiento programado es de "pérdida de tiempo", o al menos, de estar dedicando esfuerzos a tareas de importancia menor que lo realmente importante, esto es, la reparación de averías. Cambiar esta tendencia y esa mentalidad no es nada fácil, y en muchas ocasiones puede ser necesaria la sustitución de ese personal sin orientación al mantenimiento preventivo por otro personal más abierto. Es triste reconocerlo, pero el personal más joven (o el de más reciente incorporación a la empresa) suele ser más proclive a orientar su trabajo hacia el mantenimiento programado que el de más edad y experiencia, lo cual fomenta el relevo generacional y condena al personal más veterano. Pese a haberlo indicado en último lugar, este es un problema más frecuente y más grave de lo que pudiera parecer.

Nota del autor: He recibido algunas críticas por hacer demasiado hincapié en los GMAO y su poca utilidad cuando se está en la primera fase de la implantación de un mantenimiento programado. No es mi intención desacreditar el uso de software de mantenimiento, y creo, además, que cuando se implanta bien es de gran utilidad. El problema es que muchos responsables creen que basta con comprar un GMAO y ya han modernizado su mantenimiento. Lo que sostengo, en realidad, es que creer esto es un grave error: un GMAO no moderniza, ni mantiene ni reduce las averías en una empresa. Es simplemente una herramienta para conseguir todo eso, pero no es suficiente. Es más: en etapas iniciales, se vuelve un estorbo. Por ello, lo que sostengo en mi artículo es que primero hay que diseñarlo, hay que determinar las tareas, ponerlo en práctica y hasta optimizarlo, y después, mucho después, un GMAO puede ser de gran ayuda.

- **El plan de mantenimiento de una planta de cogeneración**
-
- **El plan de mantenimiento de una planta de biomasa**
- **El plan de mantenimiento de una central de ciclo combinado**

Plan de Mantenimiento de Centrales de Ciclo Combinado

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

1. La flexibilidad

La energía eléctrica no se almacena. Aunque hay varias líneas de investigación en marcha para tratar de almacenar energía eléctrica en grandes cantidades hoy por hoy la demanda de energía instantánea debe coincidir con la producción.

Las centrales térmicas convencionales y las nucleares son poco flexibles. Las primeras tienen cierto grado de regulación, pero el largo periodo de arranque que necesitan hace que, aunque puedan variar su carga entre un mínimo técnico y su carga máxima, no es rentable parar durante periodos cortos. Las nucleares son aún menos flexibles: generalmente trabajan a su máxima carga de forma continua.

Frente a ellas, las centrales térmicas de ciclo combinado tienen una mejor adaptación a las necesidades variables del mercado energético. Varían su carga con rapidez, el mínimo técnico al que es posible operar la central de forma estable es bajo y el periodo de arranque y parada es corto (entre 3 y 6 horas para el arranque, y alrededor de una hora para la parada). En esas condiciones, es posible subir carga durante las horas punta, las horas de mayor demanda energética, y bajar carga hasta su mínimo técnico durante las horas valle, incluso parar la central diariamente durante esos periodos con bajas necesidades energéticas en la red.

Pero esta flexibilidad tiene sus consecuencias para la operación y el mantenimiento. Incluso el diseño de estas centrales se ve afectado por la necesidad de variar la carga de forma continua.

2. Operación

2.1. Regímenes de operación

Las posibilidades para determinar el régimen de funcionamiento habitual en una CTCC son muy variadas, pero pueden resumirse en 4:

- Funcionamiento continuo, a plena carga. Es un régimen de funcionamiento muy poco habitual. Sólo se utiliza cuando la demanda energética es especialmente elevada durante largos periodos de tiempo.
- Periodos punta a plena carga y periodos valle a mínimo técnico, durante toda la semana (no hay arranques ni paradas). Habitual con demandas energéticas elevadas.
- Arranques y paradas semanales: Cargas altas durante los periodos punta, de lunes a viernes. Mínimo técnico durante las noches. Fines de semana parado.
- Arranques y paradas diarios. Habitual cuando la demanda de energía es especialmente baja.

2.2. Arranques y variaciones de carga: incidencia en el estado técnico de la planta

Una ventaja indudable de operar la central a plena carga es la desaparición de fuerzas cíclicas responsables de la fatiga de materiales. Por desgracia, no es habitual en este tipo de centrales operarlas de forma continua a plena carga, sino que sufren constantemente variaciones en su potencia para ajustarse al programa de carga negociado con los responsables de la Red.

Las variaciones de carga en una central de ciclo combinado son constantes. Por tanto se producen tensiones cíclicas provocadas por las dilataciones y contracciones de los metales a diferentes temperaturas y presiones, que afectan negativamente a la vida de los materiales. No obstante, es impensable operar una central de ciclo combinado a un régimen de carga estable. Aunque técnicamente sea lo idóneo, sería económicamente ruinoso. Por ello, estas centrales deben estar diseñadas para soportar estos constantes cambios de carga.

Dado el grado de automatización de una central actual, para el operador de la central es muy sencillo variar la carga: tan solo debe introducir el valor de potencia deseado, y el sistema de control de la central se encargará de realizar todas las maniobras necesarias (en la admisión de gas y en la admisión de aire fundamentalmente) para alcanzar esa consigna. Las pequeñas variaciones de carga no requieren grandes atenciones. Sin embargo, los cambios significativos de carga requieren mucha más atención, pues al afectar al caudal de los gases de escape provocan variaciones de temperatura, presión y niveles de agua en la caldera y en el ciclo agua-vapor. El operador debe estar muy atento durante las transiciones de carga a estos parámetros, por si fuera necesaria una intervención manual para solucionar cualquier situación anómala.

2.3. Organización del personal de operaciones

El grado de automatización de estas centrales hace que sea muy poco el personal habitual. Cuando la central está en marcha, el personal necesario para operarla es realmente bajo (2-3 personas por turno).

Pero debe ser personal con una preparación excelente. Si bien la cantidad de personal necesaria no es alta, la cualificación exigible a cada uno de los miembros de la plantilla es alta. No es extraño que en algunas centrales casi todo el personal habitual tenga titulación universitaria (ingenieros o licenciados).

La formación continua es otro de los pilares importantes de la gestión del personal en una CTCC. La tecnología punta que se emplea, la imposibilidad de encontrar en el mercado laboral personal ya formado, y la necesidad de polivalencia hacen que todos los puestos necesiten un reciclaje y un aumento de conocimientos continuo. A la hora de diseñar la organización del personal de operaciones deben tenerse en cuenta una serie de aspectos principales:

- Debe asegurarse que se dispondrá de personal suficiente y adecuadamente formado para afrontar situaciones de funcionamiento normal y situaciones anormales (aunque previsibles: arranques, paradas)
- Debe prever una forma rápida de sustituir a un operador en caso necesario (un accidente, una baja imprevista, etc.), o de aumentar la plantilla de forma rápida ante un evento anormal y poco previsible.
- Debe respetar la legalidad vigente en materia de horarios, jornadas máximas y horas extraordinarias

La estructura del personal de operaciones, con todo lo comentado hasta ahora, podría describirse, pues, así:

La plantilla total de operaciones suele estar formada por entre 10 y 19 personas, siendo lo más habitual 16 (un Jefe de Operaciones, 5 Jefes de Turno y 10 operadores)

3. Mantenimiento

3.1. El plan de mantenimiento

Cuando se piensa en el Plan de Mantenimiento de una central de ciclo combinado, inmediatamente se piensa en el tren de potencia (turbina de gas, caldera, turbina de vapor y generador), y en las diferentes revisiones programadas de estos equipos.

Pero una central de ciclo combinado tiene muchos más equipos y sistemas que los anteriormente mencionados, y además, pueden dar problemas tan significativos como los que puede dar el tren de potencia. Por desgracia, es habitual considerar todos esos equipos que no forman parte del tren de potencia como equipos secundarios, y su mantenimiento se aborda desde una perspectiva más relajada.

El plan de mantenimiento puede tener 3 enfoques diferentes:

1. Puede ser un plan de mantenimiento basado casi exclusivamente en las instrucciones de los fabricantes. Es el más fácil de realizar, pues no es más que una recopilación de toda la información contenida en los diferentes manuales de los equipos que componen la planta. De esta forma, se cubren muy bien las garantías de los equipos, y además, puede resultar muy adecuado para equipos de los que se tiene un conocimiento bajo. Pero se olvida que el fabricante de un equipo no suele ser un buen mantenedor. A veces, los planes que proponen son absolutamente exhaustivos y otras, no son más que unas instrucciones redactadas por personal de bajo nivel técnico, con las que se busca cubrir una obligación (la de suministrar información técnica).
2. Puede elaborarse a partir de la experiencia de los propios técnicos de mantenimiento. Solo puede realizarse si el personal de mantenimiento tiene una gran experiencia. Si es así, puede resultar un plan mucho más adecuado pues estará mucho más adaptado a las necesidades de la planta. Aún así, habrá equipos (sobre todo el tren de potencia) que habitualmente suelen seguir sujetos a las instrucciones de los fabricantes, por la importancia que tienen.
3. Por último, puede ser un plan basado en el análisis de fallos potenciales de la planta. Es mucho más lento de realizar, pero sus resultados son excelentes. Se requieren buenos conocimientos de los equipos y, sobre todo, de los procesos. Es la base del RCM (Reliability Centered Maintenance)

3.2. Política de repuestos

Hay cuatro aspectos que debemos tener en cuenta a la hora de seleccionar el stock de repuesto: la criticidad del fallo, la frecuencia de consumo, el plazo de aprovisionamiento y el coste de la pieza. Veamos con detenimiento cada uno de estos aspectos.

Fallo

Los sistemas críticos son, como hemos visto, aquellos cuyo fallo afecta a la seguridad, al medioambiente o a la producción de energía. Por tanto, las piezas necesarias para subsanar un fallo que afecte de manera inadmisiblemente a cualquiera de esos tres aspectos deben ser tenidas en cuenta como piezas que deben integrar el stock de repuesto

Tras el análisis del histórico de averías, o de la lista de elementos adquiridos en periodos anteriores (uno o dos años), puede determinarse que elementos se consumen habitualmente. Todos aquellos elementos que se consuman habitualmente y que sean de bajo coste deben considerarse como firmes candidatos a pertenecer a la lista de repuesto mínimo. Así, los elementos de bombas que no son críticas pero que frecuentemente se averían, deberían estar en stock (retenes, rodetes, cierres, etc.). También, aquellos consumibles de cambio frecuente (aceites, filtros) deberían considerarse.

Algunas piezas se encuentran en stock permanente en proveedores cercanos a la planta. Otras, en cambio, se fabrican bajo pedido, por lo que su disponibilidad no es inmediata, e incluso, su entrega puede demorarse meses.

Aquellas piezas que pertenezcan a equipos críticos cuya entrega no sea inmediata, deberían integrar el almacén de repuesto. Aquellas piezas que aún no pertenecientes a equipos A o críticos, puedan suponer que un equipo B permanezca largo tiempo fuera de servicio deben considerarse igualmente en esa lista.

Puesto que se trata de tener un almacén con el menor capital inmovilizado posible, el precio de las piezas formará parte de la decisión sobre el stock de las mismas. Aquellas piezas de gran precio

(grandes ejes, coronas de gran tamaño, equipos muy especiales) no deberían mantenerse en stock en la planta, y en cambio, deberían estar sujetas a un sistema de mantenimiento predictivo eficaz. Para estas piezas también debe preverse la posibilidad de compartirse entre varias plantas. Algunos fabricantes de turbinas, por ejemplo, ofrecen este tipo de servicio.

3.3. El mantenimiento correctivo

No es posible gestionar adecuadamente un departamento de mantenimiento si no se establece un sistema que permita atender las necesidades de mantenimiento correctivo (la reparación de averías) de forma eficiente. De poco sirven nuestros esfuerzos para tratar de evitar averías si, cuando estas se producen, no somos capaces de proporcionar una respuesta adecuada. Debemos recordar, además, que un alto porcentaje de las horas-hombre dedicadas a mantenimiento se emplean en la solución de fallos en los equipos que no han sido detectados por mantenimiento, sino comunicados por el personal de producción. En la industria en general, este porcentaje varía mucho entre empresas: desde aquellas en las que el 100% del mantenimiento es correctivo, no existiendo ni tan siquiera un Plan de Lubricación, hasta aquellas, muy pocas, en las que todas las intervenciones son programadas.

Gestionar con eficacia el mantenimiento correctivo significa:

- Realizar intervenciones con rapidez, que permitan la puesta en marcha del equipo en el menor tiempo posible (MTTR, tiempo medio de reparación, bajo)
- Realizar intervenciones fiables, y adoptar medidas para que no se vuelvan a producir estas en un periodo de tiempo suficientemente largo (MTBF, tiempo medio entre fallos, grande)
- Consumir la menor cantidad posible de recursos (tanto mano de obra como materiales)

3.4. Organización del personal de mantenimiento

Hay seis factores que es necesario considerar a la hora de elaborar el organigrama de mantenimiento:

- Tiempo hasta la intervención Es el tiempo que transcurre desde que se produce un fallo imprevisto hasta que se comienza la intervención.
- Resolución rápida de fallos. Es el tiempo que transcurre desde que se comienza la intervención en un fallo hasta que el problema está solucionado.
- Dependencia de personas concretas (“imprescindibilidad”). El concepto de “imprescindibilidad” hace referencia a la dependencia de determinadas personas dentro de la organización de mantenimiento para resolver problemas concretos.
- Recursos para mantenimiento programado. Al ser las averías urgentes son prioritarias frente a cualquier otro trabajo, el mantenimiento programado puede verse afectado ante una carga mayor de mantenimiento correctivo. Esto puede hacer que se caiga en una espiral de difícil retorno. Un buen organigrama debería tener separadas estas dos funciones, para asegurar que sean cuales sean los fallos que se produzcan no afectarán a la realización de mantenimiento preventivo
- Coste de personal (habitual + contratados). Un buen organigrama supone no tener más personal del estrictamente necesario.
- Horas extras generadas. Un buen organigrama no necesita de horas extraordinarias para atender cualquier contingencia.

Teniendo en cuenta estos factores, son posibles al menos tres tipos de organigrama:

Organigrama por oficios

Es el más tradicional y paradójicamente, el que peor responde a los 6 factores mencionados. El personal se distribuye en dos subáreas: personal mecánico y personal eléctrico, con un responsable al frente de cada uno. El horario es habitualmente de lunes a viernes, en turno central.

Organigrama por tipo de mantenimiento

Bastante menos habitual es organizar el personal por tipos de mantenimiento. Se trata del organigrama que mejor cumple cada uno de los 6 factores importantes en mantenimiento.

Supone organizar al personal en las siguientes subáreas:

- Personal para mto. Correctivo (personal a turnos)
- Personal para mto. Programado (turno central)
- Personal para mto. Predictivo (turno central)
- Personal para mejoras y modificaciones (normalmente, subcontratado)

“Pool” de personal de mantenimiento

Supone no tener ninguna especialización, y ningún horario preestablecido. Todo el personal es polivalente, y su horario está en función de las necesidades de cada momento.

4. Conclusiones

La gestión de una central de ciclo combinado supone tener en cuenta muchos aspectos que en otras instalaciones industriales pueden tener una importancia diferente. La altísima disponibilidad, las continuas variaciones de carga, las implicaciones económicas de una avería fortuita, etc., hacen que además de la gestión técnica de los propios equipos no deba descuidarse la forma en que se organiza la operación y el mantenimiento. Sólo desde un análisis de las necesidades de estas plantas, y sólo contando con personal suficientemente preparado y con experiencia puede abordarse la gestión de la explotación de una central de estas características con garantía de éxito

- **El plan de mantenimiento de una central termo solar**

RCM: análisis de fallos potenciales

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

El RCM o **Reliability Centered Maintenance** es una metodología para el desarrollo de un plan de mantenimiento basada en el análisis de fallos de la instalación. De las tres metodologías propuestas en esta serie de artículos dedicados a la elaboración de planes de mantenimiento, basar este plan de mantenimiento en un exhaustivo análisis de fallos es sin duda la que mejores resultados puede dar, pues estará orientado a evitar los fallos que pueda tener la instalación.

Cuando se habla de RCM o de la implementación de RCM se tiende a pensar en una metodología compleja, farragosa y de difícil aplicación. Nada más lejos de la realidad: con pocos recursos pero con un buen conocimiento de la instalación y algo de tiempo se puede desarrollar esta metodología y beneficiarse de sus excelentes resultados, espectaculares en algunos casos. En el mundo de la aviación, por ejemplo, el plan de mantenimiento se diseña aplicando RCM, y a nadie se le escapa que para el número de horas de vuelo que acumula la aviación mundial se reportan muy pocos accidentes.

Que nadie pretenda leerse esta serie de artículos dedicados a RCM de una sola vez: no le resultará provechoso. Animo al lector a que dedique algo de su tiempo libre a leer, pensar y digerir cada una de las partes en que se ha dividido este trabajo sin prisa, dedicando no más de media hora o una hora cada vez que se siente frente al ordenador.

Me doy por satisfecho si al menos se consigue que tú, lector, tengas una idea aproximada acerca de qué va esto del RCM del que algunos hablan, si hay posibilidades reales de que lo implantes en tu empresa, con ayuda o sin ayuda, y que te aporte algunas ideas útiles para tu trabajo. Realmente hay poca gente en el mercado que conozca en profundidad esta técnica del Mantenimiento Basado en Confiabilidad, es mucha la demanda en la industria de técnicos especializados y de gente capaz de dirigir un proceso de RCM y, ya verás, en realidad es todo muy lógico e intuitivo.

Puedo decir que esta metodología, tal y como se ha descrito en estos artículos, se ha aplicado con éxito en entornos industriales reales, en centrales eléctricas de diverso tamaño y en plantas petroquímicas; que el proceso se empezó y se logró acabar e implementar; y que los resultados fueron excelentes.

- **Que es RCM**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

RCM o *Reliability Centred Maintenance*, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos clave del proceso original. Sin embargo el uso extendido del nombre "RCM" ha llevado al surgimiento de un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman "RCM". Muchos de estos otros procesos fallan en alcanzar los objetivos de Nowlan y Heap, y algunos son incluso contraproducentes. En general tratan de abreviar y resumir el proceso, lo que lleva en algunos casos a desnaturalizarlo completamente

Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado "RCM" surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen, como se ha dicho, unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM. Ambas normas se pueden conseguir en la dirección www.sae.org

La metodología descrita en estos artículos de adapta a esta normas.

- **El objetivo de RCM y las fases del proceso**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento. El análisis de una planta industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Las acciones de tipo preventivo que evitan fallos y que por tanto incrementan la disponibilidad de la planta son de varios tipos:

- Tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento de una planta industrial o una instalación
- Procedimientos operativos, tanto de Producción como de Mantenimiento
- Modificaciones o mejoras posibles
- Definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables para la empresa
- Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en Planta

El mantenimiento centrado en fiabilidad se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves. Durante ese análisis de fallos debemos contestar a seis preguntas claves:

- 1º. ¿Cuales son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
- 2º. ¿Cómo falla cada equipo?
- 3º. ¿Cual es la causa de cada fallo?
- 4º. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
- 5º. ¿Como puede evitarse cada fallo?
- 6º. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber:

Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas. Equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.

Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos

Fase 3: Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior

Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.

Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas

- **Un problema de enfoque. ¿RCM aplicado a equipos críticos o a toda planta?**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Como se ha dicho, RCM es una técnica que originalmente nació en el sector de la aviación. El principal objetivo era asegurar que un avión no va a fallar en pleno vuelo, pues no hay posibilidad de efectuar una reparación si se produce un fallo a, por ejemplo, 10.000 metros de altura. El segundo objetivo, casi tan importante como el primero, fue asegurar esa fiabilidad al mínimo coste posible, en la seguridad de que resultaba económicamente inviable un mantenimiento que basaba la fiabilidad de la instalación (el avión) en la sustitución periódica de todos sus componentes.

Es importante recordar que esta técnica se aplica a todo el avión, no sólo a un equipo en particular. Es el conjunto el que no debe fallar, y no alguno de sus elementos individuales, por muy importantes que sean. RCM se aplica a los motores, pero también se aplica al tren de aterrizaje, a las alas, a la instrumentación, al fuselaje, etc.

La mayor parte de las industrias que aplican RCM, sin embargo, no lo aplican a toda la instalación. En general, seleccionan una serie de equipos, denominados “equipos críticos”, y tratan de asegurar que esos equipos no fallen.

El estudio de fallos de cada uno de estos equipos se hace con un grado de profundidad tan elevado que por cada equipo se identifican cientos (sino miles) de modos de fallo potenciales, y para el estudio de cada equipo crítico se emplean meses, incluso años.

Pero, ¿qué ocurre con el resto de los equipos? El mantenimiento del resto de los equipos se elabora atendiendo a las recomendaciones de los fabricantes y a la experiencia de los técnicos y responsables de mantenimiento. En el mejor de los casos, sólo se estudian sus fallos y sus formas de prevenirlos después de que éstos se produzcan, cuando se analizan las averías sufridas en la instalación, y se hace poca cosa por adelantarse a ellas.

Cuando tras meses o años de implantación de RCM se observan los logros obtenidos y la cantidad de dinero y recursos empleados para conseguirlos, el resultado suele ser desalentador: un avance muy pequeño, los problemas reales de la planta no se han identificado, RCM no ha contribuido a aumentar la fiabilidad o la disponibilidad de la planta, y los costes de mantenimiento, teniendo en cuenta la cantidad de dinero invertida en estudio de fallos, han aumentado. Pasarán muchos años antes de obtener algún resultado positivo. Lo más probable es que se abandone el proyecto mucho antes, ante la ausencia de resultados.

Es posible que esa forma de plantear el trabajo, dirigir el RCM a los equipos críticos, pudiera ser correcta en determinadas circunstancias, pero es dudosamente viable cuando se busca mejorar la disponibilidad y los costes de mantenimiento en una planta industrial. La instalación puede pararse, incluso por periodos prolongados de tiempo, por equipos o elementos que no suelen pertenecer a esa categoría de equipos críticos. Es el caso de una tubería, o de una válvula sencilla, o un instrumento. Estamos acostumbrados a pensar en equipos críticos como equipos grandes, significativos, y a veces olvidamos que un simple tornillo puede parar una planta, con la consiguiente pérdida de producción y los costes de arranque asociados.

Porque no son los equipos los que son críticos, sino los fallos. Un equipo no es crítico en sí mismo, sino que su posible criticidad está en función de los fallos que pueda tener. Considerar un equipo crítico no aporta, además, ninguna información que condicione un planteamiento acerca de su mantenimiento. Si por ser crítico debemos realizar un mantenimiento muy exhaustivo, puede resultar que estemos malgastando esfuerzo y dinero en prevenir fallos de un presunto equipo crítico que sean perfectamente asumibles. Repetimos, pues, que es la clasificación de los fallos en críticos o no-críticos lo que nos aporta información útil para tomar decisiones, y no la clasificación de los equipos en sí mismos.

Por tanto, ¿debemos dirigir el Mantenimiento Centrado en Fiabilidad a un conjunto reducido de equipos o a toda la planta? La respuesta, después de todo lo comentado, es obvia: debemos dirigirlo a toda la planta. Debemos identificar los posibles fallos en toda la planta, clasificar estos fallos según su criticidad, y adoptar medidas preventivas que los eviten o minimicen sus efectos, y cuyo coste sea proporcional a su importancia y al coste de su resolución (coste global, no sólo coste de reparación).

De esta forma, antes de comenzar el trabajo, es necesario planificarlo de forma que se asegure que el estudio de fallos va a abarcar la totalidad de la instalación.

Una buena idea es dividir la planta en los sistemas principales que la componen, y estudiar cada uno de ellos con el nivel de profundidad adecuado. Estudiar cada sistema con una profundidad excesiva acabará sobrecargando de trabajo a los responsables del estudio, por lo que los resultados visibles se retrasarán, y se corre el riesgo nuevamente de hacerlo inviable. Y estudiarlo con un nivel de profundidad mínimo será sencillo y simplificará el proceso, pero no conseguirá ningún resultado realmente útil.

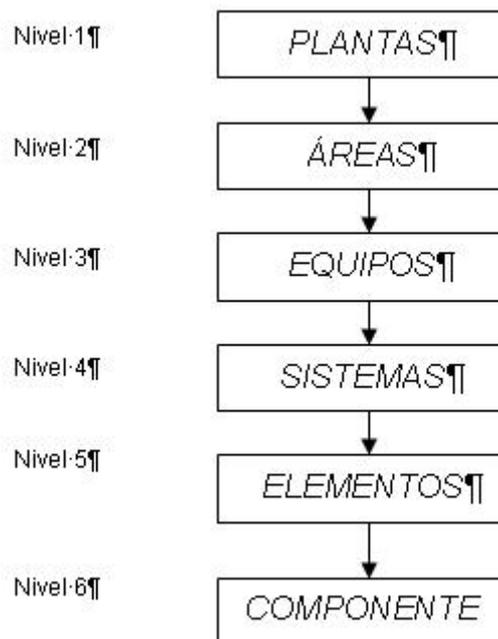
- **Fase 0: listado y codificación de equipos**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de fallos según la metodología de I RCM es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Realizar un inventario de los activos de la planta es algo más complejo de lo que pueda parecer en un primer momento.

Una simple lista de todos los motores, bombas, sensores, etc. de la planta no es útil ni práctica. Una lista de estas características no es más que una lista de datos, no es una información (hay una diferencia importante entre datos e información). Si queremos elaborar una lista de equipos realmente útil, debemos expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes.

En una planta industrial podemos distinguir los siguientes niveles, a la hora de elaborar esta estructura arbórea:



Una empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de las cuales puede estar dividida en diferentes zonas o áreas funcionales. Estas áreas pueden tener en común la similitud de sus equipos, una línea de producto determinada o una función. Cada una de estas áreas estará formada por un conjunto de equipos, iguales o diferentes, que tienen una entidad propia. Cada equipo, a su vez, está dividido en una serie de sistemas funcionales, que se ocupan de una misión dentro de él. Los sistemas a su vez se descomponen en elementos (el motor de una bomba de lubricación será un elemento). Los componentes son partes más pequeñas de los elementos, y son las partes que habitualmente se sustituyen en una reparación.

Definamos en primer lugar qué entendemos por cada uno de estos términos:

Planta: Centro de trabajo. Ej.: Empresa X, Planta de Barcelona

Área: Zona de la planta que tiene una característica común (centro de coste, similitud de equipos, línea de producto, función). Ej.: Area Servicios Generales, Área hornos, Área Línea 1.

Equipo: Cada uno de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único.

Sistema: Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo

Elemento: cada uno de las partes que integran un sistema. Ej.: el motor de la bomba de lubricación de un compresor. Es importante diferenciar elemento y equipo. Un equipo puede estar conectado o dar servicio a más de un equipo. Un elemento, en cambio, solo puede pertenecer a un equipo. Si el ítem que tratamos de identificar puede estar conectado o dar servicio simultáneamente a más de un equipo, será un equipo, y no un elemento. Así, si una bomba de lubricación sólo lubrica un compresor, se tratará de un elemento del compresor. Si en cambio, se trata de una bomba que envía aceite de lubricación a varios compresores (sistema de lubricación centralizado), se tratará en realidad de otro equipo, y no de un elemento de alguno de ellos.

Componentes: partes en que puede subdividirse un elemento. Ej.: Rodamiento de un motor, junta rascadora de un cilindro neumático.

Existe un problema al determinar como clasificar las redes de distribución de determinados fluidos, como el agua de refrigeración, el aire comprimido, el agua contra-incendios, la red de vacío, etc. Una posible alternativa es considerar toda la red como un Equipo, y cada una de las válvulas y tuberías como elementos de ese equipo. Es una solución discutible, pero muy práctica

• Fase 1: listado de funciones y sus especificaciones

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Completar esta fase significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función (especificación a alcanzar por el sistema).

Por ejemplo, si analizamos una caldera, su función es producir vapor en unas condiciones de presión, temperatura y composición determinadas, y con un caudal dentro de un rango concreto. Si no se alcanzan los valores correctos, entenderemos que el sistema no está cumpliendo su función, no está funcionando correctamente, y diremos que tiene un “fallo”

Para que el sistema cumpla su función cada uno de los subsistemas en que se subdivide deben cumplir la suya. Para ello, será necesario listar también las funciones de cada uno de los subsistemas.

Por último, cada uno de los subsistemas está compuesto por una serie de equipos. Posiblemente fuera conveniente detallar la función de cada uno de estos equipos y elementos, por muy pequeño que fuera, pero esto haría que el trabajo fuera interminable, y que los recursos que deberíamos asignar para la realización de este estudio fueran tan grandes que lo harían inviable. Por ello, nos conformaremos con detallar las funciones de unos pocos equipos, que denominaremos “equipos significativos”.

Tendremos, pues, tres listados de funciones:

- Las funciones del sistema en su conjunto
- Las funciones de cada uno de los subsistemas que lo componen
- Las funciones de cada uno de los equipos significativos de cada subsistema accidentes.

• Fase 2: determinación de fallos funcionales y fallos técnicos

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello decíamos en el apartado anterior que si realizamos correctamente el listado de funciones, es muy fácil determinar los fallos: tendremos un posible fallo por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo) y no se cumpla

Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallos funcionales y fallos técnicos. Definiremos como fallo funcional aquel fallo que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal. Naturalmente, son los más importantes. Veamos un ejemplo.

Un sistema de refrigeración, para cumplir su función, necesita cumplir una serie de especificaciones. Las más importantes son: caudal de agua de refrigeración, temperatura, presión y composición química.

Un fallo funcional del sistema de refrigeración puede ser:

Caudal insuficiente de agua de refrigeración

Será un fallo funcional porque con caudal insuficiente es imposible que el sistema de refrigeración pueda cumplir su función, que es refrigerar. La planta probablemente parará o verá disminuida su capacidad por este motivo.

Los fallos técnicos afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos. Un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de éste.

Estos fallos, aunque de una importancia menor que los fallos funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales del sistema.

Las fuentes de información para determinar los fallos (y los modos de fallo que veremos en el apartado siguiente) son muy diversas. Entre las principales podemos citar las siguientes: consulta al histórico de averías, consultas al personal de mantenimiento y de producción y estudio de los diagramas lógicos y funcionales de la planta.

Histórico de averías

El histórico de averías es una fuente de información valiosísima a la hora de determinar los fallos potenciales de una instalación. El estudio del comportamiento de una instalación, equipo o sistema a través de los documentos en los que se registran las averías e incidencias que pueda haber sufrido en el pasado nos aporta una información esencial para la identificación de fallos.

En algunas plantas no existe un archivo histórico de averías suficientemente fiable, un archivo en el que se hayan registrado de forma sistemática cada una de las averías que haya tenido cada equipo en un periodo determinado. Pero con algo de imaginación, siempre es posible buscar una fuente que nos permita estudiar el historial del equipo:

- Estudio de los partes de trabajo, de averías, etc. Agrupando los partes de trabajo por equipos es posible deducir las incidencias que han afectado a la máquina en un periodo determinado
- Facturas de repuesto. Es laborioso, pero en caso de necesitarse, puede recurrirse al departamento de contabilidad para que facilite las facturas del material consumido en mantenimiento en un periodo determinado (preferiblemente largo, 5 años por ejemplo). De esta información es posible deducir las incidencias que han podido afectar al equipo que se estudia
- Diarios de incidencias. El personal a turnos utiliza en ocasiones diarios en los que refleja los incidentes sufridos, como medio para comunicárselos al turno siguiente. Del estudio de estos diarios también es posible obtener información sobre averías e incidentes en los equipos.

En otras plantas, la experiencia acumulada todavía es pequeña. Hay que recordar que las plantas industrial suponen el empleo de una tecnología relativamente nueva, y es posible que la planta objeto de estudio lleve poco tiempo en servicio.

Personal de mantenimiento

Siempre es conveniente conversar con cada uno de los miembros que componen la plantilla, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales y las formas de evitarlos. Esta consulta ayudará, además, a que el personal de mantenimiento se implique en el RCM. Como veremos en el apartado correspondiente, la falta de implicación del personal de mantenimiento será una dificultad para su puesta en marcha del plan de mantenimiento resultante.

Personal de producción

Igual que en el apartado anterior, la consulta al personal de producción nos ayudará a identificar los fallos que más interfieren con la operación de la planta.

Diagramas lógicos y diagramas funcionales

Estos diagramas suelen contener información valiosa, incluso fundamental, para determinar las causas que pueden hacer que un equipo o un sistema se detengan o se disparen sus alarmas. Los equipos suelen estar protegidos contra determinados fallos, bien mostrando una alarma como aviso del funcionamiento incorrecto, bien deteniéndolos o impidiendo que se pongan en marcha si no se cumplen determinadas condiciones. El estudio de la lógica implementada en el sistema de control puede indicarnos posibles problemas que pudiera tener la instalación.

• Fase 3: determinación de los modos de fallos

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Una vez determinados todos los fallos que pueden presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Podríamos definir “modo de fallo” como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

Cada fallo, funcional o técnico, puede presentar, como vemos, múltiples modos de fallo. Cada modo de fallo puede tener a su vez múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se denomina “causas raíces”.

No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos necesarios son excesivos. El análisis termina abandonándose con pocos avances, se bloquea.

Por tanto, es importante definir con qué grado de profundidad se van a estudiar los modos de fallo, de forma que el estudio sea abordable, sea técnicamente factible.

Es aconsejable estudiar modos de fallo y causas primarias de estos fallos, y no seguir profundizando. De esta forma, perderemos una parte de la información valiosa, pero a cambio, lograremos realizar el análisis de fallos de toda la instalación con unos recursos razonables y en un tiempo también razonable. Recordemos que, según Pareto, el 20% de las causas son responsables del 80% de los problemas.

Un ejemplo sencillo: Modos de fallo en el nivel de un tanque de agua

Como ejemplo, pensemos en una caldera que produce vapor para ser consumido en una turbina de vapor con la que generar energía eléctrica. Supongamos el sistema “Circuito agua-vapor” y el subsistema “Agua de alimentación”. Uno de los fallos que puede presentar es el siguiente:

El nivel del tanque de agua de alimentación es bajo

Los modos de fallo, o causas que pueden hacer que ese nivel sea bajo pueden ser las siguientes:

- ▶ Las bombas de condensado no impulsan agua desde el condensador
- ▶ La tubería que conduce el agua desde las bombas de condensado está obstruida
- ▶ La tubería que conduce el agua desde las bombas de condensado tiene una rotura
- ▶ Válvula de recirculación de las bombas de condensador está totalmente abierta
- ▶ Fuga importante en la caldera, en alguno de los circuitos (alta, media o baja presión)
- ▶ Fuga o rotura en el cuerpo del tanque de agua de alimentación
- ▶ Fuga o rotura en la tubería de salida del tanque hacia las bombas de alta, media o baja presión
- ▶ Válvula de Drenaje abierta o en mal estado
- ▶ Sistema de control de nivel no funciona correctamente

Más ejemplos: Fallos y modos de fallo en el motor eléctrico de una bomba

En el estudio del motor de una bomba centrífuga de gran tamaño utilizada para la impulsión de un circuito de agua de refrigeración, se identificaron 6 fallos. A continuación se muestran esos fallos con todos los modos de fallo identificados

Fallo A: El motor no gira

Modos de fallo:

- Bobinado roto o quemado
- Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso
- Fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica)
- Eje bloqueado por rodamientos dañados

Fallo B: Altas vibraciones

Modos de fallo:

- Eje doblado
- Rodamientos en mal estado
- Desalineación con el elemento que mueve
- Desequilibrio en rotor de la bomba o del motor
- Acoplamiento dañado
- Resonancias magnéticas debidas a excentricidades
- Uno de los apoyos del motor no asienta correctamente

Fallo C: La protección por exceso de consumo (el "térmico") salta

Modos de fallo:

- Térmico mal calibrado
- Bobinado roto o quemado
- Rodamientos en mal estado
- Desequilibrios entre las fases
- El motor se calienta porque el ventilador se ha roto

Fallo D: La protección por cortocircuito salta

Modos de fallo:

- Bobinado roto o quemado
- Terminal defectuoso
- Elemento de protección en mal estado

Fallo E: La protección por derivación salta

Modos de fallo:

- Fallo en el aislamiento (fase en contacto con la carcasa)
- La puesta a tierra está en mal estado
- Una de las fases está en contacto con tierra

Fallo F: Ruido excesivo

Modos de fallo:

- Eje doblado
- Rodamientos en mal estado
- Rozamientos entre rotor y estator
- Rozamientos en el ventilador
- Mala lubricación de rodamientos (rodamientos "secos")

Fallo G: Alta temperatura de la carcasa externa

Modos de fallo:

- Rodamientos en mal estado
- Suciedad excesiva en la carcasa
- Ventilador roto
- Lubricación defectuosa en rodamientos

Con la lista de los posibles modos de fallo de cada una de los identificados anteriormente, estaremos en disposición de abordar el siguiente punto: el estudio de la criticidad de cada fallo.

- **Fase 4: estudio de las consecuencias de los fallos. Criticidad**

Por: Santiago García Garrido
 Director Técnico de RENOVETEC

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, pues: ¿qué pasa si ocurre? Una sencilla explicación lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, estaremos en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento.

Consideraremos tres posibles casos: que el fallo sea *crítico*, que el fallo sea *importante* o que sea *tolerable*.

En lo referente a la seguridad y al impacto medioambiental del fallo, consideraremos que el fallo es *crítico* si existen ciertas posibilidades de que pueda ocurrir, y ocasionaría un accidente grave, bien para la seguridad de las personas o bien para el medioambiente. Consideraremos que es *importante* si, aunque las consecuencias para la seguridad y el medioambiente fueran graves, la probabilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, consideraremos que el fallo es *tolerable* si el fallo tiene poca influencia en estos dos aspectos.

En cuanto a la producción, podemos decir que un fallo es *crítico* si el fallo supone una parada de planta, una disminución del rendimiento o de la capacidad productiva, y además, existe cierta probabilidad de que el fallo pudiera ocurrir. Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento, el fallo debe ser considerado como *importante*. Y por último, el fallo será tolerable si no afecta a la producción, o lo hace de modo despreciable.

Desde el punto de vista del mantenimiento, si el coste de la reparación (de la suma del fallo más otros fallos que pudiera ocasionar ese) supera una cantidad determinada (por ejemplo, 10.000 Euros), el fallo será crítico. Será importante si está en un rango inferior (por ejemplo, entre 1000 y 10.000 Euros) y será tolerable por debajo de cierta cantidad (por ejemplo, 1000 Euros). Las cantidades indicadas son meras referencias, aunque pueden considerarse aplicables en muchos casos.

En resumen, para que un fallo sea crítico, debe cumplir alguna de estas condiciones:

- Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra
- Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción
- Que la reparación del fallo más los fallos que provoque este (fallos secundarios) sea superior a cierta cantidad

CRÍTICO

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS		
SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO
Accidente grave probable	Supone parada o afecta a potencia o rendimiento	Alto coste de reparación (>10.000 Eur)
Accidente grave, pero muy poco probable	Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable	Coste medio de reparación (1.000-10.000 Eur)
Poca influencia en seguridad y medioambiente	No afecta a la producción	Bajo coste de reparación (<1.000 Eur)

Fig. 1 Análisis de criticidad de fallo. Fallo Crítico

Para que un fallo sea *importante*:

- No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico
- Debe cumplir alguna de estas condiciones:
- Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja
- Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que probabilidad de que ocurra sea baja
- Que el coste de reparación sea medio

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS				
SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE		PRODUCCIÓN		MANTENIMIENTO
Accidente grave probable		Supone parada o afecta a potencia o rendimiento		Alto coste de reparación (>10.000 Eur)
Accidente grave, pero muy poco probable		Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable		Coste medio de reparación (1.000-10.000 Eur)
Poca influencia en seguridad y medioambiente		No afecta a la producción		Bajo coste de reparación (<1.000 Eur)

IMPORTANTE

Fig. 2 Análisis de criticidad de fallo. Fallo Importante

Para que un fallo pueda ser considerado tolerable, no debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente, no afecte a la producción de la planta y tenga un coste de reparación bajo.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS				
SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE		PRODUCCIÓN		MANTENIMIENTO
Accidente grave probable		Supone parada o afecta a potencia o rendimiento		Alto coste de reparación (>10.000 Eur)
Accidente grave, pero muy poco probable		Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable		Coste medio de reparación (1.000-10.000 Eur)
Poca influencia en seguridad		No afecta a la producción		Bajo coste de reparación (<1.000 Eur)

TOLERABLE

Fig. 3 Análisis de criticidad de fallo. Fallo tolerable

- **Fase 5: determinación de las medidas preventivas**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Determinados los modos de fallo del sistema que se analiza y clasificados estos modos de fallo según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo bien minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio RCM.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cinco tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. Es aquí donde se ve la enorme potencia del análisis de fallos: no sólo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitarán estos fallos, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios. Y todo ello, con la garantía de que tendrán un efecto muy importante en la mejora de resultados de una instalación.

TAREAS DE MANTENIMIENTO

Son los trabajos que podemos realizar para cumplir el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden, a su vez, ser de los siguientes tipos:

Tipo 1: Inspecciones visuales. Veíamos que las inspecciones visuales siempre son rentables. Sea cual sea el modelo de mantenimiento aplicable, las inspecciones visuales suponen un coste muy bajo, por lo que parece interesante echar un vistazo a todos los equipos de la planta en alguna ocasión.

Tipo 2: Lubricación. Igual que en el caso anterior, las tareas de lubricación, por su bajo coste, siempre son rentables

Tipo 3: Verificaciones del correcto funcionamiento realizados **con instrumentos propios** del equipo (verificaciones on-line). Este tipo de tareas consiste en la toma de datos de una serie de parámetros de funcionamiento utilizando los propios medios de los que dispone el equipo. Son, por ejemplo, la verificación de alarmas, la toma de datos de presión, temperatura, vibraciones, etc. Si en esta verificación se detecta alguna anomalía, se debe proceder en consecuencia. Por ello es necesario, en primer lugar, fijar con exactitud los rangos que entenderemos como normales para cada una de las puntos que se trata de verificar, fuera de los cuales se precisará una intervención en el equipo. También será necesario detallar como se debe actuar en caso de que la medida en cuestión esté fuera del rango normal.

Tipo 4: Verificaciones del correcto funcionamiento realizado **con instrumentos externos** del equipo. Se pretende, con este tipo de tareas, determinar si el equipo cumple con unas especificaciones prefijadas, pero para cuya determinación es necesario desplazar determinados instrumentos o herramientas especiales, que pueden ser usadas por varios equipos simultáneamente, y que por tanto, no están permanentemente conectadas a un equipo, como en el caso anterior.

Podemos dividir estas verificaciones en dos categorías:

- A) Las realizadas con instrumentos sencillos, como pinzas amperimétricas, termómetros por infrarrojos, tacómetros, vibrómetros, etc.
- B) Las realizadas con instrumentos complejos, como analizadores de vibraciones, detección de fugas por ultrasonidos, termografías, análisis de la curva de arranque de motores, etc.

Tipo 5: Tareas condicionales. Se realizan dependiendo del estado en que se encuentre el equipo. No es necesario realizarlas si el equipo no da síntomas de encontrarse en mal estado.

Estas tareas pueden ser:

- Limpiezas condicionales, si el equipo da muestras de encontrarse sucio
- Ajustes condicionales, si el comportamiento del equipo refleja un desajuste en alguno de sus parámetros
- Cambio de piezas, si tras una inspección o verificación se observa que es necesario realizar la sustitución de algún elemento

Tipo 6: Tareas sistemáticas, realizadas cada ciertas horas de funcionamiento, o cada cierto tiempo, sin importar como se encuentre el equipo. Estas tareas pueden ser:

- Limpiezas
- Ajustes
- Sustitución de piezas

Tipo 7: Grandes revisiones, también llamados *Mantenimiento Cero Horas, Overhaul o Hard Time*, que tienen como objetivo dejar el equipo como si tuviera cero horas de funcionamiento.

Una vez determinado los modos de fallo posibles en un ítem, es necesario determinar qué tareas de mantenimiento podrían evitar o minimizar los efectos de un fallo. Pero lógicamente, no es posible realizar cualquier tarea que se nos ocurra que pueda evitar un fallo. Cuanto mayor sea la gravedad de un fallo, mayores recursos podremos destinar a su mantenimiento, y por ello, más complejas y costosas podrán ser las tareas de mantenimiento que tratan de evitarlo.

Por ello, el punto anterior se explicaba la necesidad de clasificar los fallos según sus consecuencias. Si el fallo ha resultado ser crítico, casi cualquier tarea que se nos ocurra podría ser de aplicación. Si el fallo es importante, tendremos algunas limitaciones, y si por último, el fallo es tolerable, solo serán posibles acciones sencillas que prácticamente no supongan ningún coste.

En este último caso, el caso de fallos tolerables, las únicas tareas sin apenas coste son las de tipo 1, 2 y 3. Es decir, para fallos tolerables podemos pensar en inspecciones visuales, lubricación y lectura de instrumentos propios del equipo. Apenas tienen coste, y se justifica tan poca actividad por que el daño que puede producir el fallo es perfectamente asumible.

En caso de fallos importantes, a los dos tipos anteriores podemos añadirle ciertas verificaciones con instrumentos externos al equipo y tareas de tipo condicional; estas tareas sólo se llevan a cabo si el equipo en cuestión da signos de tener algún problema. Es el caso de las limpiezas, los ajustes y la sustitución de determinados elementos. Todas ellas son tareas de los tipos 4 y 5. En el caso anterior, se puede permitir el fallo, y solucionarlo si se produce. En el caso de fallos importantes, tratamos de buscar síntomas de fallo antes de actuar.

Si un fallo resulta crítico, y por tanto tiene graves consecuencias, se justifica casi cualquier actividad para evitarlo. Tratamos de evitarlo o de minimizar sus efectos limpiando, ajustando, sustituyendo piezas o haciéndole una gran revisión sin esperar a que dé ningún síntoma de fallo

La siguiente tabla trata de aclarar qué tipos de tareas de mantenimiento podemos aplicar dependiendo de la criticidad del fallo determinado en el punto anterior.

TIPOS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	<i>Tipos de fallo a los que puede aplicarse</i>
1. Inspecciones visuales	Todos los fallos
2. Tareas de lubricación	Todos los fallos
3. Verificaciones ON-LINE	Todos los fallos
4. Verificaciones OFF-LINE: ⇒ Verificaciones sencillas - Mediciones de temperatura - Mediciones de vibración (con vibrómetro) - Mediciones de consumo de corriente - Etc... ⇒ Verificaciones con instrumentos complejos - Análisis de vibraciones (con analizador) - Termografías - Detección de fugas por ultrasonidos - Análisis de la curva de arranque de motores - Comprobaciones de alineación por láser - Etc...	Fallos importantes y críticos
5. Tareas Condicionales (según los resultados de las verificaciones anteriores): ⇒ Limpiezas según condición ⇒ Ajustes según condición ⇒ Sustitución de piezas según su estado	Fallos importantes y críticos
6. Tareas sistemáticas (haya o no haya síntomas de fallo): ⇒ Limpiezas sistemáticas ⇒ Ajustes sistemáticos ⇒ Sustitución sistemática de piezas de desgaste	Sólo fallos críticos
7. Mantenimiento Cero Horas (sustitución de todos los elementos sometidos a desgaste)	Sólo fallos críticos

LA DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Una vez determinadas las tareas, es necesario determinar con qué frecuencia es necesario realizarlas. Existen tres posibilidades para determinar esta frecuencia:

- 1.) Si tenemos datos históricos que nos permitan conocer la frecuencia con la que se produce el fallo, podemos utilizar cualquier técnica estadística (las técnicas estadísticas aplicables son diversas, pero exceden los objetivos de este texto) que nos permita determinar cada cuanto tiempo se produce el fallo si no actuamos sobre el equipo. Deberemos contar con un número mínimo de valores (recomendable más de 10, aunque cuanto mayor sea la población más exactos serán los resultados). La frecuencia estará en función del coste del fallo y del coste de la tarea de mantenimiento (mano de obra + materiales + pérdida de producción durante la intervención).
- 2.) Si disponemos de una función matemática que permitan predecir la vida útil de una pieza, podemos estimar la frecuencia de intervención a partir de dicha función. Suele ser aplicable para estimar la vida de determinados elementos, como los álabes de una turbina de gas, los cojinetes o rodamientos de un equipo rotativo o la vida de una herramienta de corte
- 3.) Si no disponemos de las informaciones anteriores, la determinación de la frecuencia con la que deben realizarse las tareas de mantenimiento propuestas debe hacerse en base a la opinión de expertos. Es la más subjetiva, la menos precisa de las formas de determinar la frecuencia de intervención, y sin embargo, la más utilizada. No siempre es posible disponer de información histórica o de modelos matemáticos que nos permitan predecir el comportamiento de una pieza.

Si no se dispone de datos históricos ni de fórmulas matemáticas, podemos seguir estos consejos:

- Es conveniente fijar una frecuencia diaria para tareas de muy bajo coste, como las inspecciones visuales o las lecturas de parámetros
- La frecuencia mensual es aconsejable para tareas que supongan montajes o desmontajes complejos, y no esté justificado hacer a diario
- La frecuencia anual se reserva para tareas que necesitan que la planta esté parada, y que no se justifica realizarlas con frecuencia mensual

Estas frecuencias indicativas no son sino meras guías de referencia. Para cada caso, es conveniente comprobar si la frecuencia propuesta es la más indicada.

Por último, y con el fin de facilitar la elaboración del plan de mantenimiento, es conveniente especificar la especialidad de la tarea (mecánica, eléctrica, predictiva, de operación, de lubricación, etc.)

MEJORAS Y MODIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN

Determinados fallos pueden prevenirse más fácilmente modificando la instalación, o introduciendo mejoras. Las mejoras pueden ser, entre otras, de los siguientes tipos:

- Cambios en los materiales. Manteniendo el diseño de las piezas, el único cambio que se realiza es en la calidad de los materiales que se emplean. Algunos ejemplos: cambios en la composición química del acero con el que está fabricada la pieza, en el tratamiento superficial que recibe esta para mejorar las características de la capa más externa, en el tipo de aceite con el que lubricamos dos piezas metálicas que mantienen entre sí contacto en movimiento, etc.
- Cambios en el diseño de una pieza. La geometría de algunas piezas hace que en determinados puntos acumulen tensiones que facilitan su falla. Un simple cambio en el diseño de estas piezas puede hacer que cumplan su función perfectamente y que su probabilidad de rotura disminuya sensiblemente.
- Instalación de sistemas de detección, bien de aviso o bien para evitar que el equipo funcione en condiciones que puedan ser perjudiciales
- Cambios en el diseño de una instalación. En ocasiones no es una pieza, sino todo un conjunto el que debe ser rediseñado, para evitar determinados modos de fallo. Es el caso, por ejemplo, de fallas producidas por golpes de ariete: no suele ser una pieza la que es necesario cambiar, sino todo un conjunto, añadiendo elementos (como tuberías flexibles o acumuladores de presión) y modificando trazados.
- Cambios en las condiciones de trabajo del ítem. Por último, en ocasiones la forma de evitar la falla de una pieza o un equipo no es actuar sobre éstos, sino sobre el medio que los rodea. Imaginemos el caso de un fallo en un intercambiador de calor producido por incrustaciones en el haz tubular que conduce el líquido de refrigeración. Este fallo puede evitarse tratando químicamente este líquido con un producto anti-incrustante: no estaríamos actuando sobre el intercambiador, sino sobre un componente externo (las características físico-químicas del líquido refrigerante)

CAMBIOS EN LOS PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN

El personal que opera suele tener una alta incidencia en los problemas que presenta un equipo. Podemos decir, sin lugar a dudas, que esta es la medida más barata y más eficaz en la lucha contra las averías. En general, las tareas de mantenimiento tienen un coste, tanto en mano de obra como en materiales. Las mejoras tienen un coste añadido, relacionado con el diseño y con las pruebas. Pero un cambio en un procedimiento de operación tiene en general un coste muy bajo, y un beneficio potencial altísimo. Como inconveniente, todos los cambios suelen tener una inercia alta para llevarlos a cabo, por lo que es necesario prestar la debida atención al proceso de implantación de cualquier cambio en un procedimiento.

En ocasiones, para minimizar los efectos de un fallo es necesario adoptar una serie de medidas provisionales si este llegara a ocurrir. Dentro de los cambios en procedimientos de operación, un caso particular es este: instrucciones de operación para el caso de que llegue a ocurrir un fallo en concreto.

CAMBIOS EN PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

Algunas averías se producen porque determinadas intervenciones del personal de mantenimiento no se hacen correctamente. La redacción de procedimientos en los que se indique claramente como deben realizarse determinadas tareas, y en los que Figuren determinados datos (tolerancias, ajustes, pares de apriete, etc.) es de gran utilidad.

FORMACIÓN

Bien para evitar que determinados fallos ocurran, o bien para resolverlos rápidamente en caso de que sucedan, en ocasiones es necesario prever acciones formativas, tanto para el personal de operación como para el de mantenimiento. La formación en determinados procedimientos, la formación en un riesgo en particular o el repaso de un diagrama unifilar, o el estudio de una avería sucedida en una instalación similar son ejemplos de este tipo de acción.

- **Fase 6: agrupación de las medidas preventivas**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que luego nos facilitará su implementación.

El resultado de esta agrupación será:

- **Plan de Mantenimiento.** Era inicialmente el principal objetivo buscado. El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos. Puede verse que aunque era el objetivo inicial de este análisis, no es el único resultado útil.
- **Lista de mejoras técnicas a implementar.** Tras el estudio, tendremos una lista de mejoras y modificaciones que es conveniente realizar en la instalación. Es conveniente depurar estas mejoras, pues habrá que justificar económicamente ante la Dirección de la planta y los gestores económicos la necesidad de estos cambios
- **Actividades de formación.** Las actividades de formación determinadas estarán divididas normalmente en formación para personal de mantenimiento y formación para personal de operación. En algunos casos, es posible que se sugiera formación para contratistas, en tareas en que éstos estén involucrados.
- **Lista de Procedimientos de operación y mantenimiento a modificar.** Habremos generado una lista de procedimientos a elaborar o a modificar que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos. Como ya se ha comentado, habrá un tipo especial de procedimientos, que serán los que hagan referencia a medidas provisionales en caso de fallo.

- **Fase 7: puesta en marcha de las medidas preventivas**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Ya hemos visto que tras el estudio de RCM se obtienen una serie de medidas preventivas, entre las que destaca el Plan de Mantenimiento a desarrollar en la instalación. Pero una vez obtenidas todas estas medidas y agrupadas de forma operativa, es necesario implementarlas.

Puesta en marcha del plan de mantenimiento

Determinado el nuevo plan de mantenimiento, hay que sustituir el plan anterior por el resultante del estudio realizado. Es conveniente repasarlo una vez más, por si se hubieran olvidado tareas. Sobre todo, es necesario comprobar que las tareas recomendadas por los fabricantes han sido tenidas en cuenta, para asegurar que no se olvida en el nuevo plan ninguna tarea importante. Pero una vez revisado, hay que tratar de que la implementación sea lo más rápida posible.

Para alguna de las tareas que se detallen en el nuevo plan es posible que no se disponga en planta de los medios necesarios. Por ello, es necesario que los responsables del mantenimiento se aseguren de que se dispone de los medios técnicos o de los materiales necesarios.

También es imprescindible formar al personal de mantenimiento en el nuevo plan, explicando en qué consiste, cuales son las diferencias con el anterior, y que fallos se pretenden evitar con estos cambios

Implementación de mejoras técnicas

La lista de mejoras obtenida y depurada hay que presentarla a la Dirección de la planta para su realización. Habrá que calcular el coste que supone, solicitar algunos presupuestos y preseleccionar posibles contratistas (en el caso de que no puedan implementarse con personal de la planta). También habrá que exponer y calcular los beneficios que se obtienen que la implementación de cada una de ellas.

Puesta en marcha de las acciones formativas

Para implementar las acciones formativas determinadas en el análisis, no hay más que incluirlas en el Plan de Formación de la planta. La gran diferencia entre las acciones formativas propuestas por el RCM y la mayoría de las que suelen formar parte de los planes de formación suele ser que los propuestos por el RCM tienen como objetivo la solución a problemas tangibles, y por tanto, se traducen rápidamente en una mejora de los resultados.

Puesta en marcha de cambios en procedimientos de operación y mantenimiento

Para la implementación de estos cambios en procedimientos de operación y mantenimiento es necesario asegurar que todos los implicados conocen y comprenden los cambios. Para ellos es necesario organizar sesiones formativas en los que se explique a todo el personal que tiene que llevarlos a cabo cada uno de los puntos detallados en los nuevos procedimientos, verificando que se han entendido perfectamente. Este aspecto formativo es el más importante para asegurar la implementación efectiva de los cambios en procedimientos

- **Diferencias entre un plan de mantenimiento inicial y uno obtenido mediante RCM**

Por: Santiago García Garrido
 Director Técnico de RENOVETEC

Comparando el plan inicial, basado sobre todo en las recomendaciones de los fabricantes, con el nuevo, basado en el análisis de fallos, habrá diferencias notables:

- En algunos casos, habrá nuevas tareas de mantenimiento, allí donde el fabricante no consideró necesaria ninguna tarea
- En otros casos, se habrán eliminado algunas de las tareas por considerarse que los fallos que trataban de evitar son perfectamente asumibles (es más económico esperar el fallo y solucionarlo cuando se produzca que realizar determinadas tareas para evitarlo).

El plan de mantenimiento inicial está basado en las recomendaciones de los fabricantes, más aportaciones puntuales de tareas propuestas por los responsables de mantenimiento en base a su experiencia, completadas con las exigencias legales de mantenimiento de determinados equipos:



Fig. 1 Diagrama de flujo para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en las recomendaciones de los fabricantes



El Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM va más allá. Tras el estudio de fallos, no sólo obtenemos un plan de mantenimiento que trata de evitar los fallos potenciales y previsibles, sino que además aporta información valiosa para elaborar o modificar el plan de formación, el manual de operación y el manual de mantenimiento:

Fig. 2 Diagrama de flujo de la elaboración del plan de mantenimiento basado en el análisis de fallos

Obsérvese dónde se consideran las recomendaciones de los fabricantes en uno y otro caso: si en el plan inicial eran la base, en RCM no son más que una mera consulta final para asegurar que no se ha olvidado nada importante.

Implantación de TPM (Total Productive Maintenance)

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

• 1 Que es TPM

El TPM (Mantenimiento Productivo Total) surgió en Japón gracias a los esfuerzos del *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) como un sistema destinado a lograr la eliminación de las llamadas <seis grandes pérdidas> del proceso productivo, y con el objetivo de facilitar la implantación de la forma de trabajo “Just in Time” o “justo a tiempo”. TPM es una filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, o en otras palabras, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. Esto supone:

- ▶ Cero averías
- ▶ Cero tiempos muertos
- ▶ Cero defectos achacables a un mal estado de los equipos
- ▶ Sin pérdidas de rendimiento o de capacidad productiva debidos al estado de los equipos

Se entiende entonces perfectamente el nombre: mantenimiento productivo total, o mantenimiento que aporta una productividad máxima o total.

El mantenimiento ha sido visto tradicionalmente con una parte separada y externa al proceso productivo. TPM emergió como una necesidad de integrar el departamento de mantenimiento y el de operación o producción para mejorar la productividad y la disponibilidad. En una empresa en la que TPM se ha implantado toda la organización trabaja en el mantenimiento y en la mejora de los equipos. Se basa en cinco principios fundamentales:

- ▶ Participación de todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo.
- ▶ Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias. Se busca la <eficacia global>.
- ▶ Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan.
- ▶ Implantación del mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el mantenimiento autónomo.
- ▶ Aplicación de los sistemas de gestión de todos los aspectos de la producción, incluyendo diseño y desarrollo, ventas y dirección.

Desde la filosofía del TPM se considera que una máquina parada para efectuar un cambio, una máquina averiada, una máquina que no trabaja al 100% de su capacidad o que fabrica productos defectuosos está en una situación intolerable que produce pérdidas a la empresa. La máquina debe considerarse improductiva en todos esos casos, y deben tomarse las acciones correspondientes tendientes a evitarlos en el futuro. TPM identifica seis fuentes de pérdidas (denominadas las <seis grandes pérdidas>) que reducen la efectividad por interferir con la producción:

- 1°. **Fallos del equipo**, que producen pérdidas de tiempo inesperadas.
- 2°. **Puesta a punto y ajustes de las máquinas (o tiempos muertos)** que producen pérdidas de tiempo al iniciar una nueva operación u otra etapa de ella. Por ejemplo, al inicio en la mañana, al cambiar de lugar de trabajo, al cambiar una matriz o molde, o al hacer un ajuste.
- 3°. **Marchas en vacío, esperas y detenciones menores (averías menores)** durante la operación normal que producen pérdidas de tiempo, ya sea por problemas en la instrumentación, pequeñas obstrucciones, etc.
- 4°. **Velocidad de operación reducida (el equipo no funciona a su capacidad máxima)**, que produce pérdidas productivas al no obtenerse la velocidad de diseño del proceso.
- 5°. **Defectos en el proceso**, que producen pérdidas productivas al tener que rehacer partes de él, reprocesar productos defectuosos o completar actividades no terminadas.
- 6°. **Pérdidas de tiempo propias de la puesta en marcha de un proceso nuevo**, marcha en vacío, periodo de prueba, etc.

El análisis cuidadoso de cada una de estas causas de baja productividad conduce a estudiar propuestas para eliminar esas causas. Es fundamental que el análisis sea realizado en conjunto por el personal de producción y el de mantenimiento, porque los problemas que causan la baja productividad son de ambos tipos y las soluciones deben ser adoptadas en forma integral para que tengan éxito.

• 2 La implantación de TPM

Desde un punto de vista práctico, implantar TPM en una organización significa que el mantenimiento está perfectamente integrado en la producción. Así, determinados trabajos de mantenimiento se han transferido al personal de producción, que ya no siente el equipo como algo que reparan y atienden otros, sino como algo propio que tienen que cuidar y mimar: el operador siente el equipo como suyo.

Supone diferenciar el mantenimiento en tres niveles:

- i. El nivel de operador, que se ocupará de tareas de mantenimiento operativo muy sencillas, como limpiezas, ajustes, vigilancia de parámetros y la reparación de pequeñas averías
- ii. Nivel de técnico integrado. Dentro del equipo de producción hay al menos una persona de mantenimiento que trabaja conjuntamente con el personal de producción, es uno más de ellos. Esta persona resuelve problemas de más calado, para el que se necesitan mayores conocimientos. Pero está allí, cercano, no es necesario avisar a nadie o esperar. El repuesto también está descentralizado: cada línea productiva, incluso cada máquina, tiene cerca lo que requiere.
- iii. Para intervenciones de mayor nivel, como revisiones programadas que impliquen desmontajes complejos, ajustes delicados, etc., se cuenta con un departamento de mantenimiento no integrado en la estructura de producción.

La implicación del operador en tareas de mantenimiento logra que éste comprenda mejor la máquina e instalaciones que opera, sus características y capacidades, su criticidad; ayuda al trabajo en grupo, y facilita compartir experiencias y aprendizajes mutuos; y con todo esto, se mejora la motivación del personal.

Existe una diferencia fundamental entre la filosofía del TPM y la del RCM: mientras que en la primera son las personas y la organización el centro del proceso, y es en estos dos factores en los que está basado, en el RCM el mantenimiento se basa en el análisis de fallos, y en las medidas preventivas que se adoptarán para evitarlos, y no tanto en las personas.

El *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) desarrolló un método en siete pasos cuyo objetivo es lograr el cambio de actitud indispensable para el éxito del programa. Los pasos para desarrollar es cambio de actitud son los siguientes:

- **Fase 1. Aseo inicial.**

En esta fase se busca limpiar la máquina de polvo y suciedad, a fin de dejar todas sus partes perfectamente visibles. Se implementa además un programa de lubricación, se ajustan sus componentes y se realiza una puesta a punto del equipo (se reparan todos los defectos conocidos)

- **Fase 2. Medidas para descubrir las causas de la suciedad, el polvo y las fallas.**

Una vez limpia la máquina es indispensable que no vuelva a ensuciarse y a caer en el mismo estado. Se deben evitar las causas de la suciedad, el polvo y el funcionamiento irregular (fugas de aceite, por ejemplo), se mejora el acceso a los lugares difíciles de limpiar y de lubricar y se busca reducir el tiempo que se necesita para estas dos funciones básicas (limpiar y lubricar).

- **Fase 3. Preparación de procedimientos de limpieza y lubricación.**

En esta fase aparecen de nuevo las dos funciones de mantenimiento primario o de primer nivel asignadas al personal de producción: Se preparan en esta fase procedimientos estándar con el objeto que las actividades de limpieza, lubricación y ajustes menores de los componentes se puedan realizar en tiempos cortos.

- **Fase 4. Inspecciones generales.**

Conseguido que el personal se responsabilice de la limpieza, la lubricación y los ajustes menores, se entrena al personal de producción para que pueda inspeccionar y chequear el equipo en busca de fallos menores y fallos en fase de gestación, y por supuesto, solucionarlos.

- **Fase 5. Inspecciones autónomas.**

En esta quinta fase se preparan las gamas de mantenimiento autónomo, o mantenimiento operativo. Se preparan listas de chequeo (*check list*) de las máquinas realizadas por los propios operarios, y se ponen en práctica. Es en esta fase donde se produce la verdadera implantación del mantenimiento preventivo periódico realizado por el personal que opera la máquina.

- **Fase 6. Orden y Armonía en la distribución.**

La estandarización y la procedimentación de actividades es una de las esencias de la Gestión de la Calidad Total (*Total Quality Management*, TQM), que es la filosofía que inspira tanto el TPM como el JIT (*Just in time*, justo a tiempo). Se busca crear procedimientos y estándares para la limpieza, la inspección, la lubricación, el mantenimiento de registros en los que se reflejarán todas las actividades de mantenimiento y producción, la gestión de la herramienta y del repuesto, etc.

- **Fase 7. Optimización y autonomía en la actividad.**

La última fase tiene como objetivo desarrollar una cultura hacia la mejora continua en toda la empresa: se registra sistemáticamente el tiempo entre fallos, se analizan éstos y se proponen soluciones. Y todo ello, promovido y liderado por el propio equipo de producción.

El tiempo necesario para completar el programa varía de 2 a 3 años, y suele desarrollarse de la siguiente manera:

- 1º. La Gerencia da a conocer a toda la empresa su decisión de poner en práctica TPM. El éxito del programa depende del énfasis que ponga la Gerencia General en su anuncio a todo el personal.
- 2º. Se realiza una campaña masiva de información y entrenamiento a todos los niveles de la empresa de tal manera que todo el mundo entienda claramente los conceptos de TPM. Se utilizan todos los medios posibles como charlas, pósters, diario mural, etc., de tal manera que se cree una atmósfera favorable al inicio del programa.
- 3º. Se crean organizaciones para promover TPM, como ser un Comité de Gerencia, Comités departamentales y Grupos de Tarea para analizar cada tema.
- 4º. Se definen y emiten las políticas básicas y las metas que se fijarán al programa TPM. Con este objeto se realiza una encuesta a todas las operaciones de la empresa a fin de medir la efectividad real del equipo operativo y conocer la situación existente con relación a las "6 Grandes Pérdidas". Como conclusión se fijan metas y se propone un programa para cumplirlas.
- 5º. Se define un plan maestro de desarrollo de TPM que se traduce en un programa de todas las actividades y etapas.
- 6º. Una vez terminada la etapa preparatoria anterior se da la "partida oficial" al programa TPM con una ceremonia inicial con participación de las más altas autoridades de la empresa y con invitados de todas las áreas.
- 7º. Se inicia el análisis y mejora de la efectividad de cada uno de los equipos de la planta. Se define y establece un sistema de información para registrar y analizar sus datos de fiabilidad y mantenibilidad.
- 8º. Se define el sistema y se forman grupos autónomos de mantenimiento que inician sus actividades inmediatamente después de la "partida oficial". En este momento el departamento de mantenimiento verá aumentar su trabajo en forma considerable debido a los requerimientos generados por los grupos desde las áreas de producción.
- 9º. Se implementa un sistema de mantenimiento programado en el departamento de mantenimiento.
- 10º. Se inicia el entrenamiento a operadores y mantenedores a fin de mejorar sus conocimientos y habilidades.
- 11º. Se proponen mejoras en los equipos productivos.
- 12º. Se consolida por último la implantación total de TPM y se estudia la efectividad de la implantación.

• 3 La contratación externa de la implantación de TPM

Contratar con una empresa externa la implementación de TPM significa contratar un servicio de consultoría especializado encargado de ir implantando en fases sucesivas el mantenimiento productivo total. En general, un único asesor suele ser suficiente. A veces se ocupa del asesoramiento a tiempo completo, pero esto solo es rentable si la empresa tiene muchas líneas productivas. Lo habitual es que el asesoramiento y el tutelaje del proceso lo pueda hacer a tiempo parcial, dedicando más tiempo al principio y dejando poco a poco en manos del personal de producción el liderazgo del proyecto de implantación

Mantenimiento predictivo

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

• INTRODUCCIÓN.

Sin dudas, el desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado sensiblemente la actualidad industrial mundial. En los últimos años, la industria mecánica se ha visto bajo la influencia determinante de la electrónica, la automática y las telecomunicaciones, exigiendo mayor preparación en el personal, no sólo desde el punto de vista de la operación de la maquinaria, sino desde el punto de vista del mantenimiento industrial.

La realidad industrial, matizada por la enorme necesidad de explotar eficaz y eficientemente la maquinaria instalada y elevar a niveles superiores la actividad del mantenimiento. No remediamos nada con grandes soluciones que presuponen diseños, innovaciones, y tecnologías de recuperación, si no mantenemos con una alta disponibilidad nuestra industria.

Es decir, la Industria tiene que distinguirse por una correcta explotación y un mantenimiento eficaz. En otras palabras, la operación correcta y el mantenimiento oportuno constituyen vías decisivas para cuidar lo que se tiene.

• Qué es el mantenimiento predictivo

○ DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

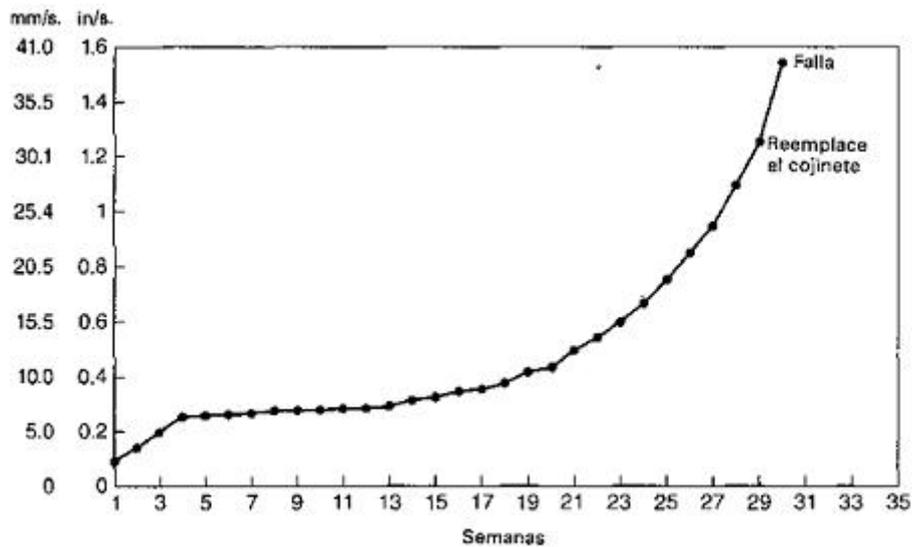
El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una maquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

○ ORGANIZACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes:

- ▶ Vibración de cojinetes
- ▶ Temperatura de las conexiones eléctricas
- ▶ Resistencia del aislamiento de la bobina de un motor

El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, en primer lugar, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas (por ejemplo la vibración de un cojinete) en intervalos periódicos hasta que el componente falle. La Figura muestra una curva típica que resulta de graficar la variable (vibración) contra el tiempo. Como la curva lo sugiere, deberán reemplazarse los cojinetes subsecuentes cuando la vibración alcance 1,25 in/seg (31,75 mm/seg). Los fabricantes de instrumentos y software para el mantenimiento predictivo pueden recomendar rangos y valores para reemplazar los componentes de la mayoría de los equipos, esto hace que el análisis histórico sea innecesario en la mayoría de las aplicaciones.



○ METODOLOGÍA DE LAS INSPECCIONES.

Una vez determinada la factibilidad y conveniencia de realizar un mantenimiento predictivo a una máquina o unidad, el paso siguiente es determinar la o las variables físicas a controlar que sean indicativas de la condición de la máquina. El objetivo de esta parte es revisar en forma detallada las técnicas comúnmente usadas en el monitoreo según condición, de manera que sirvan de guía para su selección general. La finalidad del monitoreo es obtener una indicación de la condición (mecánica) o estado de salud de la máquina, de manera que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía.

Por monitoreo, se entendió en sus inicios, como la medición de una variable física que se considera representativa de la condición de la máquina y su comparación con valores que indican si la máquina está en buen estado o deteriorada. Con la actual automatización de estas técnicas, se ha extendido la acepción de la palabra monitoreo también a la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos. De acuerdo a los objetivos que se pretende alcanzar con el monitoreo de la condición de una máquina debe distinguirse entre vigilancia, protección, diagnóstico y pronóstico.

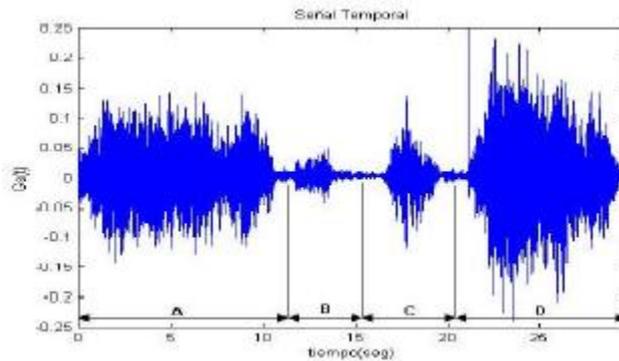
- ▶ Vigilancia de máquinas. Su objetivo es indicar cuándo existe un problema. Debe distinguir entre condición buena y mala, y si es mala indicar cuán mala es.
- ▶ Protección de máquinas. Su objetivo es evitar fallas catastróficas. Una máquina está protegida, si cuando los valores que indican su condición llegan a valores considerados peligrosos, la máquina se detiene automáticamente.
- ▶ Diagnóstico de fallas. Su objetivo es definir cuál es el problema específico. Pronóstico de vida la esperanza a. Su objetivo es estimar cuánto tiempo más Podría funcionar la máquina sin riesgo de una falla catastrófica.

En el último tiempo se ha dado la tendencia a aplicar mantenimiento predictivo o sintomático, sea, esto mediante vibro análisis, análisis de aceite usado, control de desgastes, etc.

- **Análisis de vibraciones**

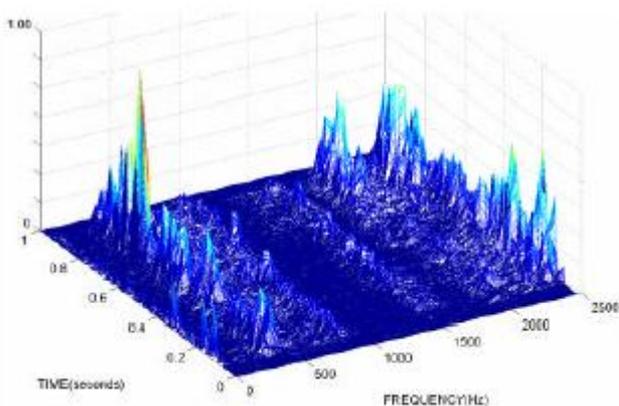
Por: Santiago García Garrido
 Director Técnico de RENOVETEC

El interés de de las Vibraciones Mecánicas llega al Mantenimiento Industrial de la mano del Mantenimiento Preventivo y Predictivo, con el interés de alerta que significa un elemento vibrante en una Máquina, y la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones a medio plazo.



Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo de la pala

Transformada Tiempo-Frecuencia.



El interés principal para el mantenimiento deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de las vibraciones detectadas en el elemento o máquina, la determinación de las causas de la vibración, y la corrección del problema que ellas representan. Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral, etc.

Parámetros de las vibraciones.

- ▶ **Frecuencia:** Es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. En los estudios de Vibración se usan los CPM (ciclos por segundo) o HZ (hertzios).
- ▶ **Desplazamiento:** Es la distancia total que describe el elemento vibrante, desde un extremo al otro de su movimiento.
- ▶ **Velocidad y Aceleración:** Como valor relacional de los anteriores.
- ▶ **Dirección:** Las vibraciones pueden producirse en 3 direcciones lineales y 3 rotacionales

Tipos de vibraciones.

Vibración libre: causada por un sistema vibra debido a una excitación instantánea.

Vibración forzada: causada por un sistema vibra debida a una excitación constante las causas de las vibraciones mecánicas

A continuación detallamos las razones más habituales por las que una máquina o elemento de la misma puede llegar a vibrar.

Vibración debida al Desequilibrado (maquinaria rotativa).

Vibración debida a la Falta de Alineamiento (maquinaria rotativa)

Vibración debida a la Excentricidad (maquinaria rotativa).

Vibración debida a la Falla de Rodamientos y cojinetes.

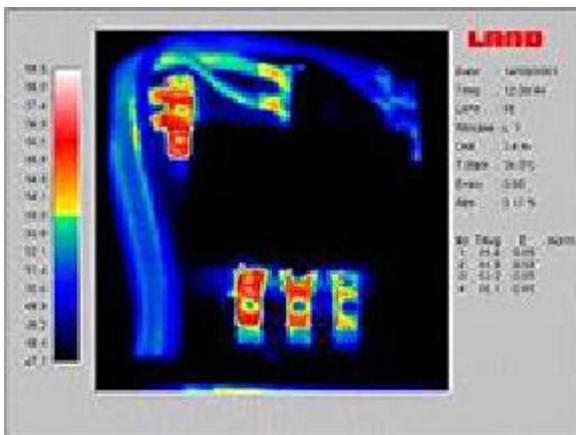
Vibración debida a problemas de engranajes y correas de Transmisión (holguras, falta de lubricación, roces, etc.)

• Termografía

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termo visión, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.



La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial - ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación - están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termo visión por Infrarrojos. Con la implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc. es posible minimizar el riesgo de una falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

El análisis mediante Termografía infrarroja debe complementarse con otras técnicas y sistemas de ensayo conocidos, como pueden ser el análisis de aceites lubricantes, el análisis de vibraciones, los ultrasonidos pasivos y el análisis predictivo en motores eléctricos. Pueden añadirse los ensayos no destructivos clásicos: ensayos, radiográfico, el ultrasonido activo, partículas magnéticas, etc.



El análisis mediante Cámaras Termográficas Infrarrojas, está recomendado para:

- ▶ Instalaciones y líneas eléctricas de Alta y Baja Tensión.
- ▶ Cuadros, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos.
- ▶ Motores eléctricos, generadores, bobinados, etc.
- ▶ Reductores, frenos, rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos.
- ▶ Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- ▶ Instalaciones de climatización.
- ▶ Líneas de producción, corte, prensado, forja, tratamientos térmicos.

Las ventajas que ofrece el Mantenimiento Preventivo por Termo visión son:

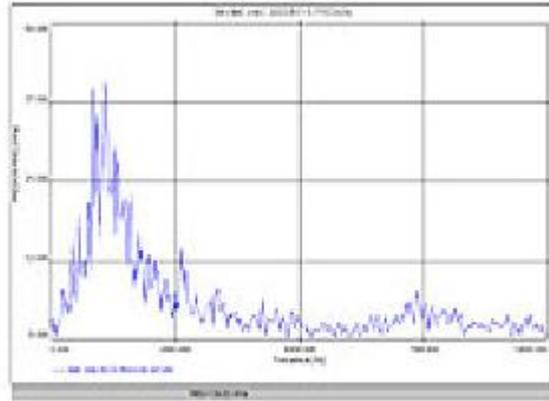
- ▶ Método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.
- ▶ Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- ▶ Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- ▶ Reduce el tiempo de reparación por la localización precisa de la Falla.
- ▶ Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- ▶ Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.

• Análisis boroscópico en turbinas de gas

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Este método estudia las ondas de sonido de baja frecuencia producidas por los equipos que no son perceptibles por el oído humano.

Ultrasonido pasivo: Es producido por mecanismos rotantes, fugas de fluido, pérdidas de vacío, y arcos eléctricos. Pudiéndose detectarlo mediante la tecnología apropiada.



El Ultrasonido permite:

- Detección de fricción en maquinas rotativas.
- Detección de fallas y/o fugas en válvulas.
- Detección de fugas de fluidos.
- Pérdidas de vacío.
- Detección de "arco eléctrico".
- Verificación de la integridad de juntas de recintos estancos.
- Erosión.
- Corrosión.
- Pérdida de material cerámico en álabes o en placas aislantes.
- Roces entre álabes fijos y móviles.
- Decoloraciones en álabes del compresor, por alta temperatura.
- Pérdidas de material de los álabes del compresor que se depositan en los álabes de turbina o en la cámara.
- Deformaciones.
- Piezas sueltas o mal fijadas, sobre todo de material aislante.
- Fracturas y agrietamiento en álabes, sobre todo en la parte inferior que los fija al rotor.
- Marcas de sobre temperatura en álabes.
- Obstrucción de orificios de refrigeración.
- Daños por impactos provocados por objetos extraños (FOD, Foreign object damages).

Se denomina *Ultrasonido Pasivo* a la tecnología que permite captar el ultrasonido producido por diversas fuentes.

El sonido cuya frecuencia está por encima del rango de captación del oído humano (20-a-20.000 Hertz) se considera ultrasonido. Casi todas las fricciones mecánicas, arcos eléctricos y fugas de presión o vacío producen ultrasonido en un rango aproximado a los 40 Khz Frecuencia con características muy aprovechables en el Mantenimiento Predictivo, puesto que las ondas sonoras son de corta longitud atenuándose rápidamente sin producir rebotes. Por esta razón, el ruido ambiental por más intenso que sea, no interfiere en la detección del ultrasonido. Además, la alta direccionalidad del ultrasonido en 40 Khz. permite con rapidez y precisión la ubicación de la falla.



La aplicación del análisis por ultrasonido se hace indispensable especialmente en la detección de fallas existentes en equipos rotantes que giran a velocidades inferiores a las 300 RPM, donde la técnica de medición de vibraciones se transforma en un procedimiento ineficiente.

De modo que la medición de ultrasonido es en ocasiones complementaria con la medición de vibraciones, que se utiliza eficientemente sobre equipos rotantes que giran a velocidades superiores a las 300 RPM.

Al igual que en el resto del mundo industrializado, la actividad industrial en nuestro País tiene la imperiosa necesidad de lograr el perfil competitivo que le permita insertarse en la economía globalizada. En consecuencia, toda tecnología orientada al ahorro de energía y/o mano de obra es de especial interés para cualquier Empresa.

- **Detección de fugas por ultrasonidos**

• Análisis de aceites

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Estos se ejecutan dependiendo de la necesidad, según:

Análisis Iniciales: se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del Estudio de Lubricación y permiten correcciones en la selección del producto, motivadas a cambios en condiciones de operación.

Análisis Rutinarios: aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otro

Análisis de Emergencia: se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o Lubricante, según:

- Contaminación con agua
- Sólidos (filtros y sellos defectuosos).
- Uso de un producto inadecuado

Equipos

- Bombas de extracción
- Envases para muestras
- Etiquetas de identificación
- Formatos



Este método asegura que tendremos:

- a) Máxima reducción de los costos operativos.
- b) Máxima vida útil de los componentes con mínimo desgaste.
- c) Máximo aprovechamiento del lubricante utilizado.
- d) Mínima generación de efluentes.

En cada muestra podemos conseguir o estudiar los siguientes factores que afectan a nuestra maquina:

- **Elementos de desgaste:** Hierro, Cromo, Molibdeno, Aluminio, Cobre, Estaño, Plomo.
- **Conteo de partículas:** Determinación de la limpieza, ferrografía.
- **Contaminantes:** Silicio, Sodio, Agua, Combustible, Hollín, Oxidación, Nitración, Sulfatos, Nitratos.
- **Aditivos y condiciones del lubricante:** Magnesio, Calcio, Zinc, Fósforo, Boro, Azufre, Viscosidad.
- **Gráficos e historial:** Para la evaluación de las tendencias a lo largo del tiempo.

De este modo, mediante la implementación de técnicas ampliamente investigadas y experimentadas, y con la utilización de equipos de la más avanzada tecnología, se logrará disminuir drásticamente:

- i. Tiempo perdido en producción en razón de desperfectos mecánicos.
- ii. Desgaste de las máquinas y sus componentes.
- iii. Horas hombre dedicadas al mantenimiento.
- iv. Consumo general de lubricantes

Mantenimiento correctivo

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

No es posible gestionar adecuadamente un departamento de mantenimiento si no se establece un sistema que permita atender las necesidades de mantenimiento correctivo (la reparación de averías) de forma eficiente. De poco sirven nuestros esfuerzos para tratar de evitar averías si, cuando estas se producen, no somos capaces de proporcionar una respuesta adecuada. Debemos recordar, además, que un alto porcentaje de las horas-hombre dedicadas a mantenimiento se emplea en la solución de fallos en los equipos que no han sido detectados por mantenimiento, sino comunicados por el personal de producción. Este porcentaje varía mucho entre empresas: desde aquellas en las que el 100% del mantenimiento es correctivo, no existiendo ni tan siquiera un Plan de Lubricación, hasta aquellas, muy pocas, en las que todas las intervenciones son programadas. De forma estimativa, podríamos considerar que, en promedio, más del 70% del tiempo total dedicado a mantenimiento se utiliza para solución de fallas no programadas.

Gestionar con eficacia el mantenimiento correctivo significa:

- ▶ Realizar intervenciones con rapidez, que permitan la puesta en marcha del equipo en el menor tiempo posible (MTTR[1], tiempo medio de reparación, bajo)
- ▶ Realizar intervenciones fiables, y adoptar medidas para que no se vuelvan a producir estas en un periodo de tiempo suficientemente largo (MTBF[2], tiempo medio entre fallos, grande)
- ▶ Consumir la menor cantidad posible de recursos (tanto mano de obra como materiales)

El tiempo necesario para la puesta a punto de un equipo tras una avería se distribuye de la siguiente manera:

- 1.) **Tiempo de detección.** Es el tiempo que transcurre entre el origen del problema y su detección. Hay una relación entre el tiempo de detección y el tiempo de resolución total: cuanto antes se detecte la avería, en general, habrá causado menos daño y será más fácil y más económica su reparación. Es posible reducir este tiempo si se desarrollan sistemas que permitan detectar fallos en su fase inicial, como inspecciones rutinarias diarias, comprobación de parámetros de funcionamiento, y formación adecuada del personal de producción.
- 2.) **Tiempo de comunicación.** Es el tiempo que transcurre entre la detección del problema y localización del equipo de mantenimiento. Este periodo se ve muy afectado por los sistemas de información y de comunicación con el personal de mantenimiento y con sus responsables. Una buena organización de Mantenimiento hará que este tiempo sea muy corto, incluso despreciable en el total de tiempo transcurrido. Para reducir este tiempo, debe existir un sistema de comunicación ágil, que implique al menor número de personas posible, y debe disponerse de medios que permitan comunicarse con el personal de mantenimiento sin necesidad de buscarlo físicamente (teléfonos móviles, walki-talkies, mensáfonos o buscapersonas, etc.)
- 3.) **Tiempo de espera.** Es el tiempo que transcurre desde la comunicación de la avería hasta el inicio de la reparación. Incluye el tiempo de espera hasta disponer de operarios que puedan atender la incidencia, los tramites burocráticos necesarios para poder intervenir (parada de los equipos, solicitud de órdenes de trabajo, obtención del Permiso de Trabajo, aislamiento del equipo, etc.) y el traslado del personal desde donde se encuentre hasta el lugar donde se ha producido el incidente. Este tiempo se ve afectado por varios factores: nº de operarios de mantenimiento de que se disponga, complicación o simplicidad del sistema de gestión de órdenes de trabajo, medidas de seguridad que sea necesario adoptar, y distancia del taller de mantenimiento a la planta, entre otras. Es posible reducir este tiempo si se dispone de una plantilla adecuadamente dimensionada, si se dispone de un sistema ágil de gestión de órdenes y de obtención de permisos de trabajo, y si la distancia del taller hasta los equipos es mínima (la ubicación óptima del taller de mantenimiento es, por ello, el centro de la planta)

- 4.) **Diagnóstico de la avería.** Es el tiempo necesario para que el operario de mantenimiento determine que está ocurriendo en el equipo y como solucionarlo. Este tiempo se ve afectado por varios factores: formación y experiencia del personal, y por la calidad de la documentación técnica disponible (planos, históricos de averías, listas de averías y soluciones, etc.). Es posible reducir este tiempo si se dispone de planos y manuales en las proximidades de los equipos (no siempre es posible) y si se elaboran listas de averías en las que se detallan síntoma, causa y solución de las averías que se han producido en el pasado o que puedan producirse.
- 5.) **Acopio de herramientas y medios técnicos necesarios.** Una vez determinado que hay que hacer, el personal encargado de la reparación puede necesitar un tiempo para situar en el lugar de intervención los medios que necesite. Este tiempo suele verse afectado por la distancia del los talleres o lugares de almacenamiento de la herramienta al lugar de intervención, por la previsión de los operarios a la hora de llevar consigo el herramental que creen puedan necesitar cuando se les comunica la necesidad de intervención y por la cantidad de medios disponibles en planta. Para reducir este tiempo, es conveniente situar adecuadamente los talleres (ver punto anterior), adquirir costumbres “saludables”, como acudir a las averías portando un caja de herramientas estándar, y dotando el taller con los medios que puedan ser necesarias a tenor del tipo de equipos que tenga la planta.
- 6.) **Acopio de repuestos y materiales.** Es el tiempo que transcurre hasta la llegada del material que se necesita para realizar la intervención. Incluye el tiempo necesario para localizar el repuesto en el almacén (en el caso de tenerlo en stock), realizar los pedidos pertinentes (en caso de no tenerlo), para que el proveedor los sitúe en la planta, para acondicionarlos (en caso de que haya que realizar algún trabajo previo), para verificar que alcanzan sus especificaciones y para situarlos en el lugar de utilización. Este tiempo se ve afectado por la cantidad de material que haya en stock, por la organización del almacén, por la agilidad del departamento de compras, y por la calidad de los proveedores. Para optimizar este tiempo, se debe tener un almacén adecuadamente dimensionado con una organización eficiente, un servicio de compras rápido, y contar con unos proveedores de calidad y vocación de servicio.
- 7.) **Reparación de la avería.** Es el tiempo necesario para solucionar el problema surgido, de manera que el equipo quede en disposición para producir. Se ve muy afectado por el alcance del problema y por los conocimientos y habilidad del personal encargado de su resolución. Para optimizar este tiempo es necesario disponer de un sistema de mantenimiento preventivo que evite averías de gran alcance, y disponer de un personal eficaz, motivado y muy bien formado.
- 8.) **Pruebas funcionales.** Es el tiempo necesario para comprobar que el equipo ha quedado adecuadamente reparado. El tiempo empleado en realizar pruebas funcionales suele ser una buena inversión: si un equipo no entra en servicio hasta que no se ha comprobado que alcanza todas sus especificaciones, el número de órdenes de trabajo disminuye, y con él, todos los tiempos detallados en los puntos 1 al 6. Depende fundamentalmente de las pruebas que se determine que deben realizarse. Para optimizar este tiempo es conveniente determinar cuales son las mínimas pruebas que se deben realizar para comprobar que el equipo ha quedado en perfectas condiciones, y redactar protocolos o procedimientos en que se detalle claramente que pruebas es necesario realizar y como llevarlas a cabo.
- 9.) **Puesta en servicio.** Es el tiempo que transcurre entre la solución completa de la avería y la puesta en servicio del equipo. Está afectado por la rapidez y agilidad de las comunicaciones. Para optimizarlo, igual que en el punto 2, es necesario disponer de sistemas de comunicación eficaces y de sistemas burocráticos ágiles que no supongan un obstáculo a la puesta en marcha de los equipos.
- 10.) **Redacción de informes.** El sistema documental de mantenimiento debe recoger al menos los incidentes más importantes de la planta, con un análisis en el que se detallan los síntomas, la causa, la solución y las medidas preventivas adoptadas. En el apartado 4.5 Análisis de Fallos se estudia con detalle como deben ser estos informes.

Es fácil entender que en el tiempo total hasta la resolución del incidente o avería, el tiempo de reparación puede ser muy pequeño en comparación con el tiempo total. También es fácil entender que la Gestión de Mantenimiento influye decisivamente en este tiempo: al menos 7 de los 10 tiempos anteriores se ven afectados por la organización del departamento.

Muy pocas empresas recogen y analizan los tiempos transcurridos en cada una de estas fases, por la complicación que supone diferenciar cada uno de estos tiempos. Aunque realizar estas tomas de tiempos en todas las intervenciones correctivas puede ser tedioso y poco rentable (tendría un coste económico elevado que no estaría justificado con los ahorros que se pueden obtener con su estudio), es importante realizar muestreos ocasionales para conocer como se distribuye el tiempo de no-disponibilidad de los equipos productivos. Las conclusiones pueden ser muy valiosas para decidir que acciones de bajo coste pueden tomarse para reducir el tiempo medio de reparación de los equipos (MTTR).

[1] El MTTR o tiempo medio de reparación se trata con más detalle en el apartado 9.2, Indicadores de Gestión

[2] El MTBF o tiempo medio entre fallos se trata con más detalle en el apartado 9.2, Indicadores de Gestión

- **Asignación de prioridades**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Uno de los problemas a plantearse a la hora de gestionar adecuadamente las órdenes de trabajo correctivas es asignar prioridades a las diferentes órdenes que se generan. Las plantillas de mantenimiento son cada vez más reducidas, buscando un lógico ahorro en costes. Por ello, no es posible tener personal esperando en el taller de mantenimiento a que llegue una orden de trabajo para intervenir. Cuando se produce una avería, el personal generalmente está trabajando en otras, y tiene una cierta carga de trabajo acumulada. Se hace pues necesario crear un sistema que permita identificar qué averías son más urgentes y deben ser atendidas de forma prioritaria.

Los niveles de prioridad pueden ser muchos y muy variados, pero en casi todas las empresas que poseen un sistema de asignación de prioridades se establecen al menos estos tres niveles:

- **Averías urgentes:** son aquellas que deben resolverse inmediatamente, sin esperas, pues causan un grave perjuicio a las empresas.
- **Averías importantes,** que aunque causan un trastorno al normal funcionamiento de la planta pueden esperar a que todas las averías urgentes estén resueltas
- **Averías cuya solución puede programarse.** Puede que sea conveniente esperar a una parada del equipo, o simplemente que el trastorno que causan es pequeño, y es más interesante acumular otras órdenes sobre el mismo equipo.

Estos niveles se suelen subdividir en tantos como pueda ser más aconsejable para una buena gestión del mantenimiento correctivo

Una vez definidos los niveles de prioridad, es necesario definir un sistema para asignar prioridades a cada avería. Muchas empresas no definen con claridad este sistema, dejándolo al juicio subjetivo de alguien (programador, jefe de mantenimiento, encargado, etc.). La consecuencia en muchos casos es que la mayor parte de las averías que se comunican tienen la prioridad máxima [1].

El sistema de asignación de prioridades debe ser diseñado al establecer los niveles, pero al menos debería tener en cuenta los siguientes puntos:

- Una avería que afecte a la seguridad de las personas y/o al medio ambiente debe ser considerada **urgente**. Así, si se detecta que una seta de emergencia ha dejado de funcionar, o el soporte de un elemento que puede caer ofrece dudas sobre su resistencia, su prioridad debería ser máxima
- Las averías que suponen la parada de equipos críticos por producción deben ser consideradas **urgentes**. En aquellos equipos que sean cuellos de botella o de los que dependa la cantidad producida total, una parada debe ser atendida de forma preferente.
- En aquellos equipos críticos por producción en los que se detecte un problema cuya resolución implique la parada del equipo, pero que puedan seguir funcionando correctamente, la reparación del problema debe esperar a una parada del equipo por otra razón.

- En equipos redundantes, en caso de sufrir una avería el equipo duplicado se pasa a una situación de criticidad temporal del equipo que presta servicio. Es el caso de las bombas de alimentación de una caldera. Normalmente, estas bombas están duplicadas, manteniéndose una de ellas en servicio y la otra parada por si se produce un fallo de la bomba en servicio. En estos casos, la bomba que queda en funcionamiento pasa a ser crítica. La reparación de la bomba averiada no tiene la máxima criticidad, pero debe ser reparada en cuanto se acabe con las averías urgentes

En la Figura adjunta se detalla un diagrama de flujo para la asignación de prioridades, en un sistema con cuatro niveles de prioridad:

- **Nivel 1: Averías urgentes.** Reparación inmediata. Es prioritaria frente a cualquier otra avería, a excepción de otras urgentes
- **Nivel 2: Averías importantes:** No es necesario que la reparación sea inmediata, pero debe realizarse cuanto antes.
- **Nivel 3: Averías a programar con fecha determinada.**
- **Nivel 4: Averías a programar con fecha no determinada.** Son averías cuya reparación debe esperar a que se produzca una parada del equipo.

[1] Una conocida empresa del sector auxiliar del automóvil definió 5 niveles de prioridad, en caso de avería. La asignación de prioridades era realizada por el personal de producción. Al cabo de unos meses comprobó como algunos de los niveles nunca fueron usados, y en cambio, más del 80% de las averías tenían la máxima prioridad, ya que pocos se atrevían a calificar un fallo como no urgente. Los responsables de mantenimiento decidieron reducir los niveles de prioridad a tres: *Urgentes*, *Muy Urgentes* y *Urgentísimas*, que condujo a una distribución de averías entre los tres niveles más razonable: tan solo el 30% de las averías fueron calificadas como *Urgentísimas*.

• Análisis de averías

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

○ El objetivo del análisis de fallos

El análisis de averías tiene como objetivo determinar las causas que han provocado determinadas averías (sobre todo las averías repetitivas y aquellas con un alto coste) para adoptar medidas preventivas que las eviten. Es importante destacar esa doble función del análisis de averías:

- Determinar las causas de una avería
- Proponer medidas que las eviten, una vez determinadas estas causas

La mejora de los resultados de mantenimiento pasa, necesariamente, por estudiar los incidentes que ocurren en la planta y aportar soluciones para que no ocurran. Si cuando se rompe una pieza simplemente se cambia por una similar, sin más, probablemente se esté actuando sobre la causa que produjo la avería, sino tan solo sobre el síntoma. Los analgésicos no actúan sobre las enfermedades, sino sobre sus síntomas. Evidentemente, si una pieza se rompe es necesario sustituirla: pero si se pretende retardar o evitar el fallo es necesario estudiar la causa y actuar sobre ella.

○ Datos que deben recopilarse al estudiar un fallo

Cuando se estudia una avería es importante recopilar todos los datos posibles disponibles. Entre ellos, siempre deben recopilarse los siguientes:

- Relato pormenorizado en el que se cuente qué se hizo antes, durante y después de la avería. Es importante detallar la hora en que se produjo, el turno que estaba presente (incluso los operarios que manejaban el equipo) y las actuaciones que se llevaron a cabo en todo momento.
- Detalle de todas las condiciones ambientales y externas a la máquina: temperatura exterior, humedad (si se dispone de ella), condiciones de limpieza del equipo, temperatura del agua de refrigeración, humedad del aire comprimido, estabilidad de la energía eléctrica (si hubo cortes, micro cortes, o cualquier incidencia detectable en el suministro de energía), temperatura del vapor (si el equipo necesita de este fluido), y en general, las condiciones de cualquier suministro externo que el equipo necesite para funcionar.
- Últimos mantenimientos preventivos realizados en el equipo, detallando cualquier anomalía encontrada.
- Otros fallos que ha tenido el equipo en un periodo determinado. En equipos de alta fiabilidad, con un $MTBF_{[1]}$ alto, será necesario remontarse a varios años atrás. En equipos con un MTBF bajo, que presentan bastantes incidencias, bastará con detallar los fallos ocurridos el último año. Por supuesto, será importante destacar aquellos fallos iguales al que se estudia, a fin de poder analizar la frecuencia con la que ocurre.
- Condiciones internas en que trabajaba el equipo. Será importante destacar datos como la temperatura y presión a que trabajaba el equipo, caudal que suministraba, y en general, el valor de cualquier variable que podamos medir. Es importante centrarse en la zona que ha fallado, tratando de determinar las condiciones en ese punto, pero también en todo el equipo, pues algunos fallos tienen su origen en puntos alejados de la pieza que ha fallado. En ocasiones, cuando el fallo es grave y repetitivo, será necesario montar una serie de sensores y registradores que nos indiquen determinadas variables en todo momento, ya que en muchos casos los instrumentos de medida que se encuentra instalados en el equipo no son representativos de lo que está ocurriendo en un punto determinado. El registro de valores a veces se convierte en una herramienta muy útil, pues determinadas condiciones que provocan un fallo no se dan en todo momento sino en periodos muy cortos (fracciones de segundo por ejemplo). Es el caso de los golpes de ariete: provocan aumentos de presión durante periodos muy cortos que llegan incluso a superar en 1000 veces la presión habitual.

Una vez recopilados todos los datos descritos, se puede estar en disposición de determinar la causa que produjo el fallo.

○ Causas de los fallos

Las causas habituales de los fallos son generalmente una o varias de estas cuatro:

- Por un fallo en el material
- Por un error humano del personal de producción
- Por un error humano del personal de mantenimiento
- Condiciones externas anómalas

En ocasiones, confluyen en una avería más de una de estas causas, lo que complica en cierto modo el estudio del fallo, pues a veces es complicado determinar cuál fue la causa principal y cuales tuvieron una influencia menor en el desarrollo de la avería.

○ Fallos en el material

Se considera que se ha producido un fallo en el material cuando, trabajando en condiciones adecuadas una determinada pieza queda imposibilitada para prestar su servicio. Un material puede fallar de múltiples formas:

- **Por desgaste.** Se da en piezas que pierden sus cualidades con el uso, pues cada vez que entran en servicio pierden una pequeña porción de material. Es el caso, por ejemplo, de los cojinetes antifricción.
- **Por rotura.** Se produce cuando aplicamos fuerzas de compresión o de estiramiento a una pieza sobrepasando su límite elástico. Es el caso del hundimiento de un puente por sobrepeso, por ejemplo. Las roturas a su vez pueden ser dúctiles o frágiles, dependiendo de que exista o no-deformación durante el proceso de rotura. Así, las cerámicas, en condiciones normales presentan roturas frágiles (las piezas pueden encajarse perfectamente tras la rotura), mientras que el aluminio presenta una rotura dúctil, con importantes deformaciones en el proceso que impedirían recomponer la pieza rota por simple encaje de los restos.
- **Por fatiga.** Determinadas piezas se encuentran sometidas a esfuerzos cíclicos de presión y/o estiramiento, en el que la fuerza aplicada no es constante, sino que cambia con el tiempo. La diferencia importante con el caso anterior (fallo por rotura) es que estas fuerzas cíclicas están por debajo del límite elástico, por lo que en principio no tendrían por qué provocar roturas. Pero provocan el desarrollo de defectos del material, generalmente desde la superficie hacia el interior de la pieza. De forma teórica es posible estimar la cantidad de ciclos que puede resistir una pieza antes de su rotura por fatiga, en función del tipo de material y de la amplitud de la tensión cíclica, aunque el margen de error es grande. Determinados fenómenos como la corrosión o las dilataciones del material por temperatura afectan a los procesos de fatiga del material.

Los errores de diseño están normalmente detrás de un fallo en el material. El infradimensionamiento de piezas por error en cálculos, no considerar situaciones puntuales y transitorias en las que las piezas estarán sometidas a unas condiciones más exigentes que las de operación normal y la mala elección de materiales por razones económicas, desconocimiento de las condiciones de trabajo o de los productos existentes en el mercado para una determinada aplicación son las causas más habituales de fallo de piezas por fallo del material.

○ Error humano del personal de producción

Otra de las causas por las que una avería puede producirse es por un error del personal de producción. Este error a su vez, puede tener su origen en:

- Error de interpretación de un indicador durante la operación normal del equipo, que hace al operador o conductor de la instalación tomar una decisión equivocada
- Actuación incorrecta ante un fallo de la máquina. Por ejemplo, introducir agua en una caldera caliente en la que se ha perdido en nivel visual de agua; al no conocerse qué cantidad de agua hay en su interior, es posible que esté vacía y caliente, por lo que al introducir agua en ella se producirá la vaporización instantánea, con el consiguiente aumento de presión que puede provocar incluso la explosión de la caldera.
- Factores físicos del operador: este puede no encontrarse en perfectas condiciones para realizar su trabajo, por mareos, sueño, cansancio acumulado por jornada laboral extensa, enfermedad, etc.
- Factores psicológicos, como la desmotivación, los problemas externos al trabajo, etc., influyen enormemente en la proliferación de errores de operación
- Falta de instrucciones sistemáticas claras, como procedimientos, instrucciones técnicas, etc., o deficiente implantación de éstas
- Falta de formación

○ Errores del personal de mantenimiento

El personal de mantenimiento también comete errores que desembocan en una avería, una parada de producción, una disminución en el rendimiento de los equipos, etc. Una parte importante de las averías que se producen en una instalación está causado por el propio personal de mantenimiento. Entre los fallos más habituales provocados o agravados por el propio personal de mantenimiento están las siguientes:

- Observaciones erróneas de los parámetros inspeccionados. En ocasiones se dan por buenos valores alarmantes de determinados parámetros, que aconsejarían
- Realización de montajes y desmontajes sin observar las mejores prácticas del sector
- No respetar o no comprobar tolerancias de ajuste
- No respetar o no controlar pares de apriete
- La reutilización de materiales que deben desecharse. Es el caso, por ejemplo, de la reutilización de elementos de estanqueidad
- Por el uso de repuestos no adecuados: repuesto no original, que no cumple las especificaciones necesarias, repuesto que no ha sido comprobado antes de ser montado
- Por el uso de herramienta inadecuada. El caso más habitual es el empleo de llaves ajustables que provocan en muchos casos el redondeo de cabezas de tornillos

Como en el caso anterior, los errores del personal de mantenimiento también se ven afectados por factores físicos, psicológicos, por la falta de implantación de procedimientos y por la falta de formación.

○ Condiciones externas anómalas

Cuando las condiciones externas son diferentes a las condiciones en que se ha diseñado el equipo o instalación pueden sobrevenir fallos favorecidos por esas condiciones anormales. Es el caso de equipos que funcionan en condiciones de temperatura, humedad ambiental o suciedad diferentes de aquellas para las que fueron diseñados. También es el caso de equipos que funcionan con determinados suministros (electricidad, agua de refrigeración, agua de alimentación, aire comprimido) que no cumplen unas especificaciones determinadas, especificaciones en las que se ha basado el fabricante a la hora de diseñar sus equipos.

En ocasiones, en una misma avería confluyen varias causas simultáneamente, lo que complica enormemente el estudio del problema y la aportación de soluciones. Es importante tener en cuenta esto, pues con determinar una única causa en muchas ocasiones no se consigue evitar el problema, y hasta que no se resuelven todas las causas que la provocan no se obtienen resultados significativos.

○ **Medidas preventivas a adoptar en caso de fallo**

Dependiendo de la causa que provoca el fallo, las medidas preventivas a adoptar pueden ser las siguientes:

○ **Fallos en el material**

Si se ha producido un fallo en el material, las soluciones a proponer son variadas. Entre ellas estarían:

- Si el fallo se ha producido por desgaste, habrá que estudiar formas de reducir el desgaste de la pieza, con una lubricación mayor, por ejemplo. Si no es posible reducir el desgaste, será necesario estudiar la vida útil de la pieza y cambiarla con antelación al fallo. Estas dos acciones corresponden a mantenimiento. También puede rediseñarse la pieza o una parte de la máquina para disminuir este desgaste, o utilizar materiales diferentes
- Si el fallo se produce por corrosión, la solución será aplicar capas protectoras o dispositivos que la reducen (protecciones catódicas o anódicas). También, hacer lo posible para evitar los medios corrosivos (evitar la humedad, corregir el pH o las características redox del medio, etc.)
- Si el fallo se produce por fatiga, entre las soluciones a aportar estarán:
 - Reducir la energía y/o la frecuencia de las tensiones cíclicas a las que esté sometida la pieza
 - Cambiar el material, por otro con menor número de defectos (grietas, fisuras. Hay que recordar que la fatiga, en general, es el progreso de una grieta ya existente)
 - Pulir la superficie de la pieza, para evitarlas grietas y fisuras provocadas en el proceso de mecanización
 - Realizar tratamientos superficiales, como la nitruración o el granallado, que endurecen la capa superficial
 - Modificar el diseño de la pieza, de manera que se reduzcan los puntos de concentración de tensiones, suavizando curvas, evitando aristas, etc.
- Si el fallo se produce por dilatación, modificar la instalación de manera que se permita la libre dilatación y contracción del material por efecto térmico, bien modificando soportes, bien incorporando elementos que absorban las dilataciones y contracciones del material
- Si se determina que no es posible corregir las causas que provocan el fallo del material, lo correcto será cambiar el material, el diseño de la pieza o las características de la pieza que falla por otra que pueda funcionar correctamente en las condiciones reales de trabajo (tanto normales como esporádicas). Es posible que el cambio en una pieza lleve aparejados otros cambios (reforma para adaptar la nueva pieza, cambios en otros equipos, etc.).

○ **Error humano del personal de producción**

Para evitar fallos en el personal de producción, la primera solución preventiva que se debe adoptar es trabajar sólo con personal motivado. Eso quiere decir que la empresa debe hacer los esfuerzos necesarios para motivar al personal, y apartar de determinados puestos en los que la calidad del trabajo depende de la habilidad del operario a aquel personal desmotivado y de difícil reconducción.

La segunda solución a adoptar es la formación del personal. Cuando se detecta que determinados fallos se deben a una falta de conocimientos de determinado personal, debe organizarse una rápida acción formativa que acabe con este problema. La formación debe ser específica: un plan de formación[2] basado en cursos de procesadores de texto para personal que trabaja en una máquina de rectificado no parece que acabe con problemas relacionados con averías repetitivas en este tipo de equipos[3].

En tercer lugar es posible introducir modificaciones en las máquinas que eviten los errores. Son los llamados *Poka-Yoke* o sistemas anti error. En general consisten en mecanismos sencillos que reducen a cero la posibilidad de cometer un error. Un ejemplo para evitar los errores de conexionado en máquinas es colocar conectores distintos y de una sola posición para cada grupo de cableado; de esta manera es físicamente imposible conectar de manera inadecuada, ya que los conectores son incompatibles entre sí.

- **Error humano del personal de mantenimiento.**

Para evitar fallos del personal de mantenimiento, en primer lugar (igual que en el caso anterior) el personal debe estar motivado y adecuadamente formado. Si no es así, deben tomarse las medidas que corresponda, que serán las mismas que en el caso anterior (la empresa debe hacer todos los esfuerzos necesarios para motivar al personal y si realizado todos los esfuerzos posibles la desmotivación del trabajador supone un riesgo para sí mismo, para otros o para las instalaciones el trabajador debe ser apartado de su responsabilidad).

La manera más eficaz de luchar contra los errores cometidos por el personal de mantenimiento es la utilización de procedimientos de trabajo. Los procedimientos contienen información detallada de cada una de las tareas necesarias para la realización de un trabajo. Contienen también todas las medidas y reglajes necesarios a realizar en el equipo. Por último, en estos procedimientos se detalla qué comprobaciones deben realizarse para asegurarse de que el trabajo ha quedado bien hecho.

Si se detecta en el análisis del fallo que éste ha sido debido a un error del personal de mantenimiento, la solución a adoptar será generalmente la redacción de un procedimiento en el que se detalle la forma idónea de realización de la tarea que ha sido mal realizada, y que ha tenido como consecuencia el fallo que se estudia.

- **Condiciones externas anómalas.**

Si se determina que un fallo ha sido provocado por unas condiciones externas anómalas, la solución a adoptar será simple: corregir dichas condiciones externas, de manera que se adapten a los requerimientos del equipo.

En ocasiones esta solución es imposible. En estos casos, la solución a adoptar es minimizar los efectos nocivos de las condiciones que no se cumplen. Es el caso, por ejemplo, de turbinas de gas que operan en el desierto. Las condiciones de polvo ambiental superan con mucho las especificaciones que recomiendan los fabricantes de turbinas para el aire de admisión. En este caso, y ya que no es posible modificar las condiciones ambientales, es posible utilizar filtros más exigentes (filtros absolutos, por ejemplo) para este aire de admisión.

- **El stock de repuestos**

Si un fallo ha provocado que los resultados económicos de la empresa se hayan resentido, no sólo será necesario tomar medidas preventivas acordes con la importancia del fallo, sino minimizar los efectos de éste en caso de que vuelva a producirse. Así, una de las medidas que puede hacer que el impacto económico sea menor es reducir el tiempo de reparación, teniendo a disposición inmediata el material que pueda ser necesario para acometerla.

De hecho, al dimensionar un stock de repuestos de una u otra forma se tiene en cuenta lo que ya ha fallado o lo que tiene posibilidades de fallar. Los técnicos más experimentados normalmente recurren no a complejos análisis, sino a su memoria, para determinar todo aquello que desean tener en stock en su almacén de repuesto; y normalmente seleccionan todas aquellas piezas que en el pasado han necesitado.

Cuando se dimensiona el stock para hacer frente a averías pasadas o probables hay que tener en cuenta no sólo las piezas principales, sino también las accesorias. A menudo no se tienen en cuenta racores, juntas, tornillería, elementos de fijación y en general, los accesorios que suelen acompañar a la pieza principal. Sin estos elementos adicionales y de bajo coste resulta inútil contar con los principales, pues la reparación no se podrá completar.

○ El análisis metalográfico

Un caso muy especial de análisis de fallo lo constituye el análisis metalográfico de piezas que han fallado. El análisis metalográfico, que se realiza en laboratorios especializados, aporta información muy precisa sobre la forma de rotura de una pieza, la zona de inicio del problema, la evolución, y la composición del material que ha fallado.

Las técnicas más usuales son las siguientes, aunque hay otras técnicas que pueden emplearse:

- **Microscopia electrónica de barrido:** con esta técnica se llevan a cabo análisis microestructurales, estudios de superficies de fractura, microanálisis químico de EDS (*Electron Dispersive Spectroscopy*), y estudios de porosidad, entre otros.
- **Microscopia óptica:** con ayuda del microscopio óptico se realizan análisis microestructurales y estudios de metalografía cuantitativa: (determinación de tamaño de grano austenítico, cantidad de fases, clasificación de inclusiones y cantidad de porosidad).
- **Metalografía cuantitativa:** análisis metalográficos de determinación de tamaño de grano, cantidad de fases, inclusiones a través de metodologías como el intercepto lineal y conteo de puntos.

La conclusión más interesante que aporta el estudio metalográfico es la determinación de las causas que pueden haber provocado el fallo en materiales cerámicos y metálicos, siempre muy conceptuales, pues habitualmente el analista no conoce con detalle el equipo en que está instalada la pieza que ha fallado; y a partir de la determinación del origen del fallo, el analista puede realizar sugerencias sobre el material que podría utilizarse en la pieza que ha fallado para evitar su fallo en las condiciones de uso.

○ La contratación de asistencia para el análisis de averías

Cuando se produce un fallo que afecta de forma apreciable a la producción, a la calidad de los productos, a la seguridad de las personas o puede provocar un grave impacto ambiental, es conveniente, casi imprescindible, realizar un análisis de averías. Si no se tienen los conocimientos, el personal o el tiempo necesario para realizar este análisis, puede recurrirse a una empresa especializada.

Lo habitual es que en primer lugar se recurra al personal de planta, si se confía en su criterio. En segundo lugar, la opinión y el análisis de la situación que puede hacer el fabricante del equipo pueden resultar de mucha ayuda, por el conocimiento que se supone que el fabricante tiene de sus equipos. Hay que tener en cuenta que en muchos casos realizará este análisis de forma gratuita, porque es el primer interesado en conocer cómo y cuando fallan sus equipos.

Si se tiene contratado el mantenimiento con una empresa externa y el contrato es de gran alcance, el propietario debe exigir a la empresa contratista no sólo la solución a los problemas que surgen, sino información detallada de los incidentes que ocurren. Muchas empresas contratistas “escatiman” esta información al propietario, pensando que no es bueno que el cliente lo sepa todo. Sólo las empresas más serias son conscientes de que la ocultación de información y la no realización de análisis detallados de los principales incidentes ocurridos y/o la ocultación de los resultados de estos análisis merman la confianza del cliente y favorecen que se vuelvan a repetir una y otra vez los mismos fallos.

Por último, puede contarse con una empresa especializada este tipo de análisis, siempre considerando que debe ser imparcial y sin intereses en el esclarecimiento de las causas de una avería, y que debe tener los conocimientos adecuados para abordar las causas que han provocado el fallo.

[1] MTBF: Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos. Cuanto más alto es este valor, más fiable es el equipo. Este indicador se trata más extensamente en el capítulo 9 Gestión de la Información

[2] Estos Planes se tratan en detalle en el apartado 6.11 Planes de Formación

[3] Aunque el comentario pueda parecer irónico, esta situación se da más de lo que parece. Cuando se analiza el Plan de Formación preparado para los operarios de muchas empresas, sorprende la cantidad de cursos que no tienen nada que ver con el trabajo que desarrollan, y la cantidad extraordinariamente baja de cursos de formación específicos para el desempeño de su trabajo. La razón, en muchas ocasiones, es bien simple: es fácil, para el departamento de Recursos Humanos, buscar monitores, aulas y medios para organizar un curso de procesadores de texto, pero encontrar un monitor para un equipo específico, para una tarea concreta, a veces no es tan fácil. Incluso, el departamento de Recursos Humanos, en el que suele recaer la preparación de estos Planes de Formación no conoce a veces las necesidades reales de formación del personal de una planta.

La información en mantenimiento

- **Gmao-Programa de la Gestión de la Información del Mantenimiento**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

La tendencia general de los departamentos de mantenimiento de las grandes industrias es hacia la informatización. Esta informatización, no obstante, presenta ventajas e inconvenientes, que hacen que sea necesario analizar cuando es interesante esta informatización y cuando la herramienta informática se convierte en un obstáculo que ralentiza y encarece la función mantenimiento.

Entre las ventajas más sobresalientes de un sistema informático cabría citar las siguientes:

- Control sobre la actividad de mantenimiento
- Control sobre el gasto
- Facilidad para la consulta de históricos
- Facilidad para la obtención de ratios e indicadores
- Entre los inconvenientes, claramente estarían:
- Alta inversión inicial, tanto en equipos como en programas y en mano de obra para la implantación
- Burocratización del sistema
- En muchos casos, aumento del personal indirecto dedicado a tareas improductivas
- La información facilitada a menudo no es suficientemente fiable

- **Programas de gestión de mantenimiento: GMAO**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Algo que se olvida a menudo cuando se estudia la implantación de un programa informático de gestión de mantenimiento es que este programa no se ocupa del mantenimiento de la empresa, no mantiene la empresa ni desde el punto de vista correctivo ni desde el punto de vista preventivo.

El sistema informático es tan solo una herramienta, que en algunos casos puede convertirse más en un obstáculo que una ayuda. Como todo sistema de gestión de información, su función es, exclusivamente, tratar los datos que se introducen para convertirlos en información útil para la toma de decisiones. Por tanto, es necesario definir cuando el sistema informático supondrá una mejora para el departamento, y cuando en cambio, se convertirá en una pesada carga.

Como norma muy genérica, es posible afirmar que aquellos entornos que manejan poco personal, pocas órdenes de trabajo y un número reducido de equipos no es necesario informatizarlos.

La razón es que se maneja pocos datos, y no es necesario tener un sistema poderoso para tratarla y obtener a cambio información. Es más sencillo manejarse con soporte papel y con archivos formados por carpetas. Como mucho, será interesante desarrollar pequeñas aplicaciones con una hoja de cálculo o con una base de datos, que se pueden crear con conocimientos informáticos a nivel usuario.

De manera algo más explícita, puede decirse que en una empresa con un equipo de mantenimiento inferior a diez personas difícilmente las ventajas que se detallaban en el apartado anterior superarán a las desventajas de la informatización.

Con un equipo de mantenimiento superior a 25 personas, la informatización y del uso de GMAO realizado de la manera adecuada traería beneficios indudables a la empresa. En el margen comprendido entre 10 y 25 personas cada caso particular tendrá una respuesta diferente. Hay que tener en cuenta en estos casos el número de equipos que posee la planta, la información que deseamos obtener y la cantidad de datos que se generan.

Objetivos que se pretenden con la informatización

Hay que recordar que cuando se adquiere un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador se adquiere un programa vacío que hay que configurar, o utilizando la jerga informática, habrá que parametrizar. Habrá que cargar los equipos y activos de que dispone la planta, habrá que diseñar un esquema de generación y cierre de órdenes de trabajo, habrá que cargar el mantenimiento preventivo diseñado para la instalación, la forma en que se gestionará la entrada y salida de materiales de repuesto del almacén de repuestos, la forma en que se solicitarán los materiales que se necesite y la gestión de compras, etc. Es muy normal acometer el proceso de implantación sin tener una idea clara de lo que se quiere, sin tener experiencia en este tipo de trabajo, y comenzar a introducir datos en el ordenador con una estructura que después será muy difícil cambiar.

Para que el proceso de implantación sea el correcto y se obtenga el máximo partido del sistema es conveniente definir en primer lugar qué objetivos se pretende alcanzar, definir de manera precisa qué es lo que se quiere conseguir con la implantación.

Los objetivos principales que deben buscarse en la implantación de un programa informático de mantenimiento son dos y sólo dos:

- Ahorrar dinero
- Poder disponer de información de manera rápida que ayude a los responsables de mantenimiento y de producción a tomar decisiones.
- Puede haber otros, pero seguro que son menos importantes que los dos indicados

- **Indicadores en mantenimiento**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Un sistema de procesamiento de la información/ es aquel que convierte datos en información útil para tomar decisiones. Para conocer la marcha del departamento de mantenimiento, decidir si debemos realizar cambios o determinar algún aspecto concreto, debemos definir una serie de parámetros que nos permitan evaluar los resultados que se están obteniendo en el área de mantenimiento. Es decir: a partir de una serie de datos, nuestro sistema de procesamiento debe devolvernos una información, una serie de indicadores en los que nos basaremos para tomar decisiones sobre la evolución del mantenimiento.

Una de las cosas que debemos definir es, pues, cuales serán esos indicadores. Hay que tener cuidado en la elección, pues corremos el riesgo de utilizar como tales una serie de números que no nos aporten ninguna información útil. Corremos el riesgo de tomar datos, procesarlos y obtener a cambio otros datos.

Imaginemos el caso de elegir la disponibilidad de equipos como un indicador. Si listamos todas las paradas de cada uno de los equipos de la planta, la fecha y hora en que han ocurrido y su duración, la lista resultante serán datos, pues tal y como se nos presenta no podemos tomar decisiones basándonos en ella.

Si ahora procesamos esta lista, sumando los tiempos de parada de cada equipo y calculando el tiempo que han estado en disposición de producir, obtenemos una lista con la disponibilidad de cada equipo. En una planta industrial con, por ejemplo, 500 equipos, esta lista contendrá de nuevo datos, no información. Como mucho, contendrá algo de información mezclada con muchos datos.

Si en esa lista agrupamos los equipos por líneas, áreas, zonas, etc., y procesamos los datos de manera que obtengamos la disponibilidad de una de las líneas, áreas o zonas en su conjunto, el nuevo listado ahora sí contendrá información. Esta información nos permitirá, tras un análisis más o menos rápido, tomar decisiones acertadas sobre las actuaciones que debemos realizar para mejorar los resultados.

A continuación describiremos los indicadores más usuales que se emplean en un departamento de mantenimiento. Insistimos en el hecho de que no todos son necesarios: entre todos ellos habrá que elegir aquellos que sean realmente útiles, aquellos que aporten información, para evitar convertirlos en una larga lista de datos.

Cuando se dispone de un sistema GMAO, el cálculo de estos indicadores suele ser bastante más rápido. Debemos tener la precaución de automatizar su cálculo, generando un informe que los contenga todos. Una ventaja adicional es que, una vez automatizado, podemos generar informes con la periodicidad que queramos, con un esfuerzo mínimo.

En caso de que el Sistema de Información sea el soporte papel, para el cálculo de estos indicadores es conveniente desarrollar pequeñas aplicaciones (una hoja de cálculo puede ser suficiente) para obtener estos índices. En este caso hay que seleccionar mucho más cuidadosamente los indicadores, pues es más costoso calcularlos. Además la frecuencia con que los obtengamos deberá ser menor.

Es importante tener en cuenta que no sólo es valioso conocer el valor de un indicador o índice, sino también su evolución. Por ello, en el documento en el que expongamos los valores obtenidos en cada uno de los índices que se elijan deberíamos reflejar su evolución, mostrando junto al valor actual los valores de periodos anteriores (meses o años anteriores) para conocer si la situación mejora o empeora. También es importante fijar un objetivo para cada uno de estos índices, de manera que la persona que lea el documento donde se exponen los valores alcanzados en el periodo que se analiza comprenda fácilmente si el resultado obtenido es bueno o malo. En resumen, junto al valor del índice, deberían figurar dos informaciones más:

- Valor de índice en periodos anteriores
- Objetivo marcado

Índices de Disponibilidad

1º. Disponibilidad total

Es uno de los indicadores más importantes de la planta. Es el cociente de dividir el nº de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el nº de horas totales de un periodo:

En plantas que estén dispuestas por líneas de producción en las que la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea, es interesante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética.

En plantas en las que los equipos no estén dispuestos por líneas, es interesante definir una serie de equipos significativos, pues es seguro que calcular la disponibilidad de absolutamente todos los equipos será largo, laborioso y no nos aportará ninguna información valiosa. Del total de equipos de la planta, debemos seleccionar aquellos que tengan alguna entidad o importancia dentro del sistema productivo.

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética, para obtener la disponibilidad total de la planta.

2º. Disponibilidad por averías

Es el mismo índice anterior pero teniendo en cuenta tan solo las paradas por averías, las intervenciones no programadas:

La disponibilidad por avería no tiene en cuenta, pues, las paradas programadas de los equipos.

Igual que en el caso anterior, es conveniente calcular la media aritmética de la disponibilidad por avería, para poder ofrecer un dato único.

3º. MTBF (Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos)

Nos permite conocer la frecuencia con que suceden las averías:

4º. MTTR (Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación)

Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución:

Por simple cálculo matemático es sencillo deducir que:

Indicadores de Gestión de Órdenes de Trabajo

1º. Nº de Órdenes de trabajo generadas en un periodo determinado

Es discutible si el número de órdenes de trabajo es un indicador muy fiable sobre la carga de trabajo en un periodo, ya que 100 órdenes de trabajo de una hora pueden agruparse en una sola orden de trabajo con un concepto más amplio. No obstante, dada la sencillez con que se obtiene este dato, suele ser un indicador muy usado. La información que facilita este indicador es más representativa cuanto mayor sea la cantidad media de O.T que genera la planta. Así, es fácil que en una planta que genera menos de 100 O.T. de mantenimiento mensuales la validez de este indicador sea menor que una planta que genera 1000 O.T.

Además, y como se ha visto en el capítulo 7.9 Auditorías de Calidad, es posible estimar el rendimiento de la plantilla a partir del número de órdenes de trabajo.

2º. Nº de Órdenes de trabajo generadas por sectores o zonas

Igual que en el caso anterior, solo la sencillez de su cálculo justifica emplear esta indicador.

3º. Nº de Órdenes de trabajo acabadas

Suele ser útil conocer cuál es el número de Ordenes de trabajo acabadas, sobre todo en relación al número de órdenes generadas. Es muy importante, como siempre, seguir la evolución en el tiempo de este indicador.

4º. Nº de Órdenes de trabajo pendientes

Este indicador nos da una idea de la eficacia en la resolución de problemas. Es conveniente distinguir entre las O.T que están pendientes por causas ajenas a mantenimiento (pendientes por la recepción de un repuesto, pendientes porque producción no da su autorización para intervenir en el equipo, etc.) de las debidas a la acumulación de tareas o a la mala organización de mantenimiento.

Por ello, es conveniente dividir este indicador en otros tres:

- 8.1. Pendientes de repuesto
- 8.2. Pendientes de parada de un equipo
- 8.3. Pendientes por otras causas

5º. Nº de Órdenes de trabajo de Emergencia (prioridad máxima)

Una referencia muy importante del estado de la planta es el número de O.T de emergencia que se han generado en un periodo determinado. Si ha habido pocas o ninguna, tendremos la seguridad de que el estado de la planta es fiable. Si por el contrario, las ordenes de prioridad máxima que se generan son muchas, se podrá pensar que el estado de la planta es malo. Como siempre, es igualmente importante observar la evolución de este indicador respecto a periodos anteriores.

6º. Horas estimadas de trabajo pendiente

Es la suma de las horas estimadas en cada uno de los trabajos pendientes de realización. Es un parámetro más importante que el nº de órdenes pendientes, pues nos permite conocer la carga de trabajo estimada por realizar.

Índice de cumplimiento de la planificación

Es la proporción de órdenes que se acabaron en la fecha programada o con anterioridad, sobre el total de órdenes totales. Mide el grado de acierto de la planificación.

1º. Desviación media del tiempo planificado

Es el cociente de dividir la suma de horas de desviación sobre el tiempo planificado entre el nº total de órdenes de trabajo

Puede haber dos versiones:

- a) Desviación media sobre el momento de finalización. Cociente de dividir la suma del nº de horas en que se ha rebasado cada una de las órdenes sobre el momento estimado de finalización:
- b) Desviación media de las horas/hombre empleadas en un O.T. sobre las horas/hombre previstas:

2º. Tiempo medio de resolución de una O.T.

Es el cociente de dividir el nº de O.T. resueltas entre el nº de horas que se han dedicado a mantenimiento:

Índices de coste

La cantidad de índices que hacen referencia a los costes del departamento de mantenimiento es inmensa. Aquí se exponen algunos que pueden resultar prácticos.

1º. Coste de la Mano de Obra por secciones

Si la empresa se divide en zonas o secciones, es conveniente desglosar este coste para cada una de las zonas o secciones. Si éstas tienen personal de mantenimiento permanente, el coste será el del personal adscrito a cada una de ellas. Si se trata de un departamento central, el coste por secciones se calculará a partir de las horas empleadas en cada una de las intervenciones.

2º. Proporción de coste de la Mano de Obra de Mantenimiento

Es el cociente de dividir el nº total de horas empleadas en mantenimiento entre el coste total de la mano de obra:

3º. Coste de materiales.

Se pueden hacer tantas subdivisiones como se crea conveniente: por secciones, por tipo (eléctrico, mecánico, consumibles, repuestos genéricos, repuestos específicos, etc.)

4º. Coste de subcontratos

También pueden hacerse las subdivisiones que se considere oportunas. Algunas subdivisiones comunes suelen ser:

- Subcontratos a fabricantes y especialistas
- Subcontratos de inspecciones de carácter legal
- Subcontratos a empresas de mantenimiento genéricas

5º. Coste de medios auxiliares

Es la suma de todos los medios auxiliares que ha sido necesario alquilar o contratar: grúas, carretillas elevadoras, alquiler de herramientas especiales, etc.

Con todos los índices referentes a costes puede prepararse una Tabla de Costes, como la que se muestra en la Figura adjunta. En ella pueden visualizarse con rapidez todos gastos de mantenimiento de la planta, divididos en conceptos y en secciones. Presentarlos de esta manera facilitará su lectura y la toma de decisiones consecuente.

Índices de proporción de tipo de mantenimiento

1º. Índice de Mantenimiento Programado

Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Programado sobre horas totales.

2º. Índice de Correctivo

Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Correctivo sobre horas totales

3º. Índice de Emergencias

Porcentaje de horas invertidas en realización de O.T. de prioridad máxima

Índices de Gestión de Almacenes y Compras

1º. Consumo de materiales en actividades propias de mantenimiento en relación con el consumo total de materiales. Este dato puede ser importante cuando la planta tiene consumo de materiales del almacén de repuesto adicionales a la actividad de mantenimiento (mejoras, nuevas instalaciones, etc.)

Es un índice relativamente poco usual. Es útil cuando se está tratando de optimizar el coste de materiales y se desea identificar claramente las partidas referentes a mantenimiento, a modificaciones y a nuevas instalaciones.

2º. Rotación del Almacén

Es el cociente de dividir el valor de los repuestos consumidos totales y el valor del material que se mantiene en stock (valor del inventario de repuestos)

Hay una variación interesante de este índice, cuando se pretende determinar si el stock de repuestos y consumibles está bien elegido. Si es así, la mayor parte del material que consume mantenimiento lo toma del almacén, y solo una pequeña parte de lo comprado es de uso inmediato. Para determinarlo, es más útil dividir este índice en dos:

Otra forma de conocer si el almacén de mantenimiento está bien dimensionado es determinando la proporción de piezas con movimientos de entradas y salidas. Una utilidad de este índice es determinar qué porcentaje de piezas tienen escaso movimiento, para tratar de eliminarlas, desclasificarlas, destruirlas, venderlas, etc.:

3º. Eficiencia en la cumplimentación de pedidos

Proporción entre las peticiones de materiales a compras no atendidas con una antigüedad superior a 3 meses y el total de pedidos cursados a compras

4º. Tiempo medio de recepción de pedidos

Es la media de demora desde que se efectúa un pedido hasta que se recibe. Este índice se puede calcular por muestreo (tomar al azar un número determinado de pedidos cursados y realizar la media aritmética del tiempo transcurrido desde su petición hasta su recepción en cada uno de ellos) o a partir del total de pedidos realizados.

Índices de Seguridad y Medio Ambiente

1º. Índice de frecuencia de accidentes

Proporción entre el número de accidentes con baja y el total de horas trabajadas

2º. Índice de jornadas perdidas

Proporción entre las horas pérdidas por bajas laborales y las horas trabajadas

3º. Índice de tiempo medio de permanencia de residuos en planta

Es el tiempo medio que transcurre desde que se genera un residuo hasta que lo retira de la planta un gestor de residuos autorizado.

4º. Índice de frecuencia de incidentes ambientales

Es el cociente entre en nº de incidentes ambientales graves y el número de horas trabajadas:

Índices de formación

1º. Proporción de horas dedicadas a formación

Porcentaje de horas anuales dedicadas a formación, sobre el número de horas de trabajo total

2º. Proporción de desarrollo del programa

Porcentaje de horas de formación realizadas, sobre el total de horas de formación programadas

- **Informes periódicos de mantenimiento y contratista**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

El segundo gran objetivo que debe marcarse una empresa que implanta un GMAO es el de disponer de información de manera rápida y sencilla que permita una más acertada toma de decisiones.

Es muy importante definir qué información es valiosa, que informaciones deben estar disponibles en todo momento con facilidad.

Una lista de las informaciones que debe proporcionar un buen sistema informático bien implantado puede ser la siguiente:

- Planificación del mantenimiento. Todas las órdenes de trabajo periódicas deben generarse, además, automáticamente. Debe ser posible consultar la carga de trabajo programado en un periodo determinado
- Histórico de averías de todos los equipos. Este histórico puede estar dividido por sistemas, áreas, equipos individuales, etc.
- Órdenes de trabajo pendientes, tanto de mantenimiento correctivo como de mantenimiento programado.
- Medida de los diferentes indicadores de gestión
- Stock de repuestos
- Valor del stock de repuesto, tanto de almacenes centrales como de almacenes de zona
- Pedidos de material pendiente de recibir
- Coste total de mantenimiento, que incluya las partidas de Mano de Obra, Materiales, Subcontratos y reparaciones efectuadas en talleres exteriores
- Coste de una O.T.
- Coste del mantenimiento de un equipo, un área determinada, una factoría, etc. en un periodo de tiempo concreto
- Repuesto consumido en una O.T.
- Repuesto consumido en un equipo, un área, etc., en un periodo de tiempo
- Trabajos realizados por cada operario en un periodo de tiempo determinado
- Trabajos realizados por un equipo de operarios determinados (por ejemplo un turno, una especialidad –mecánicos, eléctricos, etc.)

○ Principales conflictos entre cliente y contratista

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

En la mayoría de las empresas de mantenimiento la principal limitación para crecer, aumentar su facturación, su beneficio y expandirse no está en el mercado. Tampoco es la financiera su principal limitación: la gran mayoría de empresas de mantenimiento pueden captar con facilidad más clientes y mayor volumen de trabajo con la misma estructura organizativa y financiera. La limitación que impide crecer a la gran mayoría de las empresas de mantenimiento es la escasez de trabajadores cualificados: podrían captar mayor volumen de trabajo, sobre todo trabajo especializado, pero después no podrían realizarlo o no podrían dar un buen servicio por falta de personal técnico cualificado.

¿El problema es nuevo? ¿Por qué hace 20 años no se detectaba con tanta intensidad? La razón hay que buscarla en el sistema de formación de profesionales. Hace años, desde la Edad Media, ha existido uno, con graves defectos, pero existía uno capaz de proporcionar a la sociedad profesionales cualificados. Actualmente el sistema de formación de técnicos de mantenimiento ha perdido eficacia.

Y es que la principal razón estriba en que la formación de un buen profesional de mantenimiento requiere tiempo, ese preciado bien tan escaso en la sociedad actual. Hace unos años, cada vez más lejanos, el profesional de mantenimiento entraba en una empresa como aprendiz. Y como tal pasaba mucho tiempo, al lado de oficiales de diferentes categorías. Aprendía lo que veía, realizando trabajos de baja cualificación al lado de profesionales muy experimentados.

Aprendía por “ósmosis” es decir, al cabo de unos años y a fuerza de ver una y otra vez las mismas intervenciones, el conocimiento penetraba por su piel y acababa aprendiendo a hacerlas. El oficial iba descargando en el peón tareas cada vez más complejas, supervisándolo constantemente. Cuando alcanzaba la categoría de oficial de 1ª tenía a sus espaldas una gran experiencia práctica. Si destacaba podía tener a su cargo un pequeño grupo de oficiales, y pasaba a ser jefe de equipo, encargado o contra maestro. Si un oficial tenía dificultades en su trabajo acudía a él, que como persona muy experimentada solía resolver de manera magistral las tareas más complejas.

El panorama actual es bastante diferente. Es evidente que ese sistema tiene grandes carencias y defectos y que requiere de demasiado tiempo. Pero el cambio sufrido en los últimos años no permite ser optimista. El tiempo que pasa un peón como tal adquiriendo experiencia es muy bajo. Tanto él, como la empresa y el mercado laboral le urgen a que se presente como oficial sin tener conocimientos ni experiencia suficiente. Así, la empresa ya no valora el trabajo ni la importancia que para el futuro tenía el peón; un mercado laboral escaso acepta como oficial de primera a un peón aventajado; y el propio técnico, busca ganar más dinero cuanto antes. Todo ello hace que el profesional de mantenimiento haya ido perdiendo calidad.

Hoy en día no es fácil ir al mercado laboral, sobre todo en España y en Europa, y encontrar profesionales del mantenimiento industrial con una base de conocimientos y un mínimo de experiencia que aseguren que puede asumir su trabajo con garantías.

Siendo pues la principal limitación la dificultad para contar con profesionales preparados, sorprende que muchas empresas de mantenimiento no gestionen de forma adecuada sus recursos humanos. Es decir, no tienen como prioridad estratégica la captación de buenos profesionales, su formación inicial y continua, y su fidelización. Quien tiene un buen profesional desde luego tiene un tesoro, pero es curioso que la mayoría de las empresas no traten a los profesionales con los cuidados que debe prodigarse a lo valioso y a lo casi insustituible.

Así, la rotación elevadísima de personal, el bajo tiempo de permanencia de los mejores profesionales y a la escasez de recursos que las empresas dedican a la formación son una constante en los departamentos de mantenimiento y en las empresas especializadas.

Los Recursos Humanos en mantenimiento

- **Organigramas típicos**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Trataremos ahora cómo se organiza la plantilla de mantenimiento, cual es su estructura jerárquica. Definamos, pues, algunos organigramas típicos en departamentos de mantenimiento.

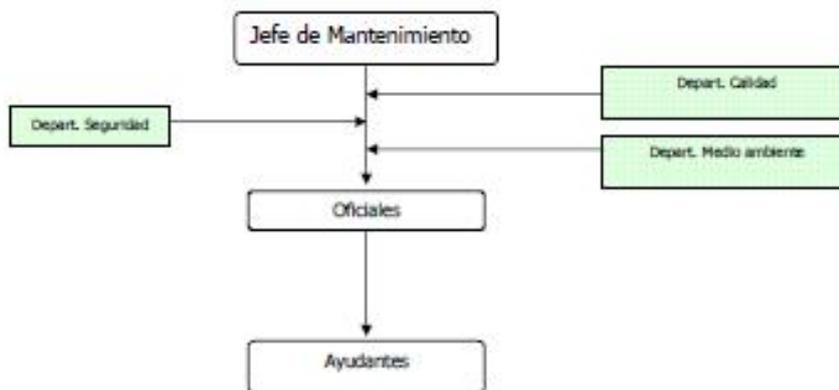
i. Organigrama básico

La situación más sencilla puede ser aquella de una empresa mediana, con una plantilla de menos de 15 personas.

Estaría constituida por un Jefe de Mantenimiento, como responsable máximo del departamento.

De él dependería el personal directo, agrupados en dos categorías: oficiales y ayudantes. Los departamentos centrales de calidad, seguridad y medioambiente darían apoyo al Jefe de Mantenimiento, pero sin depender de éste, ni jerárquica ni funcionalmente.

El Organigrama el que se recoge en la siguiente Figura:

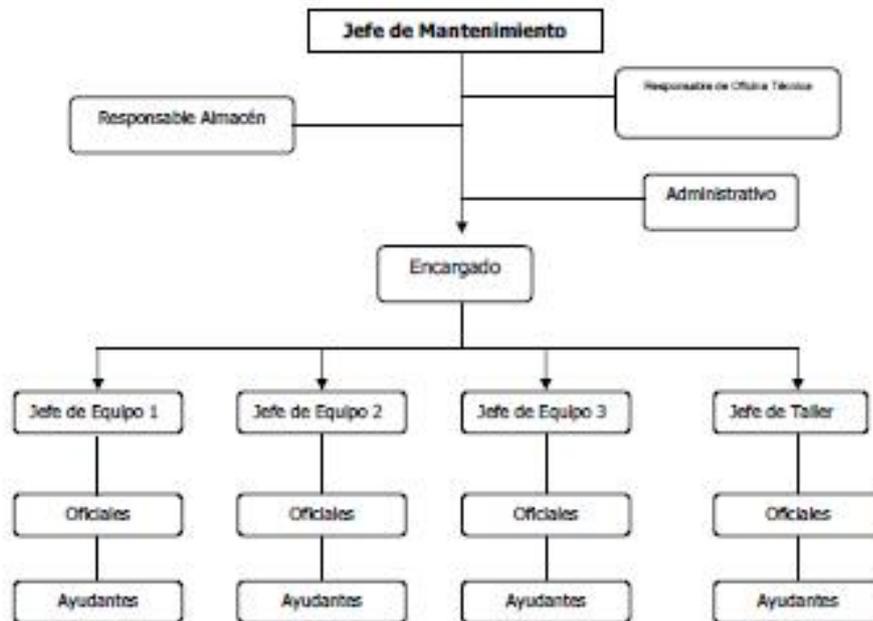


Los cuadros sombreados corresponderían a personal de apoyo que no pertenece específicamente al Departamento de Mantenimiento

ii. Estructura avanzada

Cuando el número de operarios crece, es necesario prever una organización más completa, que contemple la creación de una serie de puestos específicos, como apoyo al personal directo y como ayuda para facilitar la gestión del departamento. Algunos de estos puestos están relacionados con labores de control del personal directo (Encargado, Jefes de Equipo, etc.). Otros, en cambio, se ocupan de labores de gestión y apoyo, tratando que el personal directo no tenga que preocuparse de una serie de trabajos, para los que además no tiene por qué estar especialmente preparado.

Un Organigrama en el que se contemple esta estructura avanzada puede ser el siguiente:



Organigrama de una estructura avanzada

iii. Organigrama complejo

Cada una de las áreas puede tener a su vez varios Jefes de Equipo, que se encargarán del control de un turno (Jefes de Turno), de una especialidad (Jefe Eléctrico, Jefe Mecánico del área, etc.) o de una subzona (Jefes de zona), de los que dependerán a su vez un número determinado de operarios (oficiales y ayudantes).

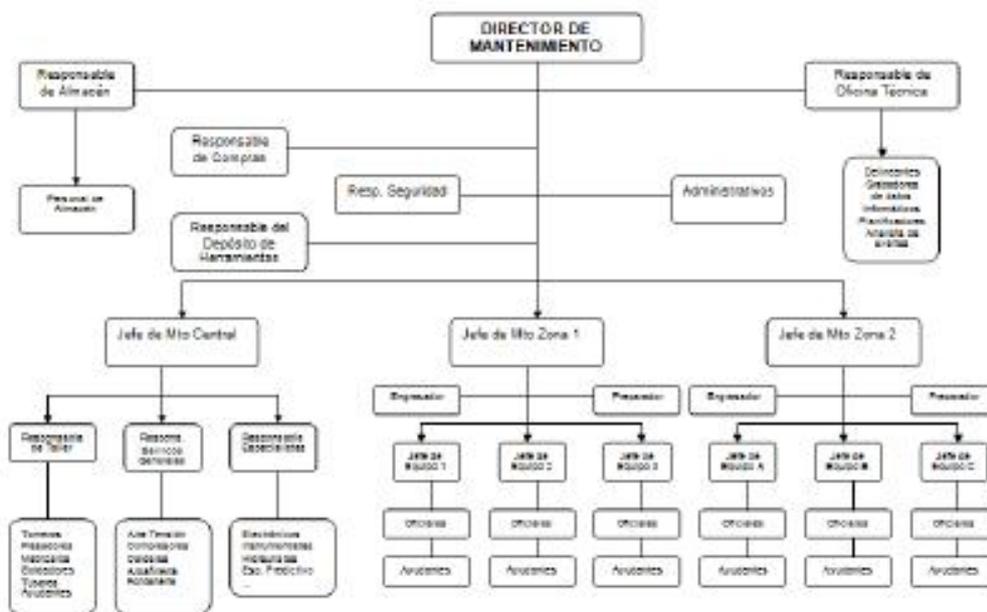
En el caso de que la planta sea una gran factoría con varias decenas de operarios (incluso cientos) de mantenimiento, con varios centros de trabajo claramente diferenciados dentro de la factoría, las estructuras expuestas pueden ser insuficientes para poder gestionar adecuadamente la función mantenimiento.

Una estructura compleja puede ser la que se contempla en la página siguiente. En ella observamos la diferenciación entre el Director de Mantenimiento y los Jefes de Mantenimiento de las diversas áreas. Estas áreas, en general serán zonas de la empresa suficientemente amplias y distantes, que no justifican la creación de un único departamento de mantenimiento.

Dependiendo del Director, están una serie de subdepartamentos staff, como son Seguridad, Administración, Oficina Técnica, Almacén o Compras. En lo relativo a Oficina Técnica, habrá una serie de funciones que dependan de este responsable: delineante (en muchas ocasiones, sobre todo si mantenimiento se ocupa de modificaciones o de nuevas instalaciones), analista de averías, planificadores, personal dedicado al sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (tanto grabadores de datos como implantadores o técnicos de soporte), etc. El personal de Seguridad puede ser personal adscrito al departamento de mantenimiento, o personal asignado al Departamento de Seguridad de la empresa.

Dependiendo del Director General estarán los Jefes de Mantenimiento de cada una de las áreas. Entre ellos se encuentra el Jefe de Mantenimiento Central, que se ocupará del taller, de los Servicios Generales y de los especialistas. Estos son operarios con un nivel de especialización muy alto, cuya dependencia de las áreas no está justificada, por no necesitarse una presencia permanente de esta actividad. Es más conveniente en esos casos centralizar todas las necesidades de estas especialidades en Mantenimiento Central, que destinará el personal necesario cuando se requiera, optimizando así las necesidades de un personal caro y escaso.

Cada una de las áreas puede tener a su vez varios Jefes de Equipo, que se encargarán del control de un turno (Jefes de Turno), de una especialidad (Jefe Eléctrico, Jefe Mecánico del área, etc.) o de una subzona (Jefes de zona), de los que dependerán a su vez un número determinado de operarios (oficiales y ayudantes).



• Descripción de puestos de trabajo en mantenimiento

Por: Santiago García Garrido
 Director Técnico de RENOVETEC

En primer lugar, tratemos de definir claramente cuáles son las funciones de cada puesto relacionado con mantenimiento. De esta forma nos será más fácil seleccionar al personal que debe ocuparlo, al tener claras cuales son las funciones que debe cumplir y poder definir así las características del personal.

i. Puestos Indirectos

Llamamos puestos indirectos a todos aquellos puestos que no están relacionados directamente con la ejecución del trabajo, sino que se dedican a tareas de apoyo, planificación, control o preparación de las tareas que debe ejecutar el personal directo.

El objetivo de una empresa que pretenda optimizar sus costes en mantenimiento debe ser el reducir al mínimo posible los puestos de trabajo indirectos. Esto se consigue atribuyendo varias funciones a un mismo trabajador o eliminando la necesidad de un puesto indirecto concreto, como veremos.

Los puestos indirectos que podemos encontrar son los siguientes:

▪ i.1 Director de Mantenimiento

En empresas de gran tamaño, el Director de Mantenimiento es la persona en la que el Director General delega toda el área de mantenimiento, sobre todo desde el punto de vista organizativo y económico. Sus responsabilidades son:

- ⇒ Asegurar que se cumplen los objetivos estratégicos de la empresa, en el área de mantenimiento
- ⇒ Elaborar el presupuesto de mantenimiento
- ⇒ Definir las políticas generales del departamento, de acuerdo a los objetivos estratégicos de la empresa.

El perfil ideal de la persona que ocupa este puesto es el siguiente:

- ✓ Ingeniero Técnico Industrial, Mecánico, Eléctrico o Electrónico.

- ✓ Gran experiencia práctica (más de 10 años)
- ✓ Formación económica específica (Formación MBA, por ejemplo)
- ✓ Formación en TPM (Total Productive Maintenance), RCM (reliability controlled maintenance), Calidad Total, 5S, etc. Es decir, formación específica en las más modernas técnicas de organización.
- ✓ No es necesario que tenga un conocimiento específico de los equipos con los que trabaja la planta, pues su papel es más organizativo que técnico

▪ **i.2 Responsable de Oficina Técnica de Mantenimiento**

Su misión es plantear el trabajo desde el punto de vista técnico. Estudia la planta, cada equipo que la compone, analizando la criticidad de cada equipo y el modelo de mantenimiento más adecuado. Elabora el Plan de Mantenimiento y la lista de repuesto mínimo, y los propone al Director de Mantenimiento y/o al Jefe de Mantenimiento para su aprobación. Se encarga también de preparar los informes periódicos de mantenimiento, los informes de intervención cuando se producen revisiones o averías importantes y elabora las propuestas de mejora.

En algunas plantas, este puesto se denomina Responsable de Ingeniería de Mantenimiento. Su posición jerárquica siempre es por debajo del Director de Mantenimiento, pero puede estar por encima o por debajo del Jefe de Mantenimiento, en aquellas plantas en que existen los dos puestos.

El perfil ideal de la persona que ocupa este puesto es el de un Ingeniero Técnico Industrial, en general joven, con grandes conocimientos de Ingeniería de Mantenimiento, de Mantenimiento Predictivo (tanto teórico como práctico), con formación específica en los equipos que se usan en la planta, etc. Es el apoyo técnico del Director de Mantenimiento y del Jefe de Mantenimiento

▪ **i.3 Jefe de Mantenimiento**

En las plantas en las que no existe Director de Mantenimiento, es la persona responsable del área de mantenimiento. Puede depender jerárquicamente del Director General o del Director de Producción, dependiendo del modelo organizativo de la empresa (en aquellas empresas en las que todo está en función de la producción, el Jefe de Mantenimiento depende del Director de Producción. En aquellas en las que la responsabilidades se reparten por áreas organizativas, depende del Director General y está a la misma altura jerárquica del máximo responsable de producción).

En las plantas en las que hay un Director de Mantenimiento, lógicamente, depende de éste.

Sus funciones son:

- ✓ Gestiona el mantenimiento desde el punto de vista técnico (cuando no existe Director de Mantenimiento, también lo hace desde el punto de vista económico)
- ✓ Se encarga de asignar los recursos necesarios para la realización de cada tarea.
- ✓ Resuelve los problemas que surgen en la realización de los trabajos. Es la persona a la que consultan los operarios de mantenimiento cuando tienen un problema.
- ✓ Comprueba que las programaciones se cumplen, resolviendo las desviaciones que puedan aparecer.
- ✓ Se implica personalmente en las emergencias que se puedan presentar en la planta.
- ✓ Se ocupa, pues, del día a día de la planta

El perfil ideal para este puesto es el de un técnico con gran experiencia, con titulación superior (ingeniero) o media (formación secundaria en un área técnica). Debe poseer formación específica en los equipos que componen la planta (no es suficiente con una formación genérica en mantenimiento), y debe tener indudables dotes de mando. Es conveniente que hable al menos inglés, por si tuviera que comunicarse con el servicio técnico de algún equipo de importación para solicitar asistencia. Igualmente, debe tener una alta formación en seguridad, pues el área de mantenimiento es un área de riesgo dentro de la empresa. Si la empresa posee un Sistema de Aseguramiento de la Calidad (ISO 9000, QS 9000, etc.) debe poseer conocimientos en el área de Calidad.

▪ **i.4 Encargados y Jefes de Equipo**

En plantas en las que el equipo de mantenimiento es suficientemente grande, el Jefe de Mantenimiento puede no ser suficiente para poder controlar todas las actividades de mantenimiento

que se realizan. En ese caso, es conveniente crear una estructura, con encargados, jefes de equipo, jefes de brigada, etc., que se ocupan de que el personal directo rinda adecuadamente, de solucionar los problemas técnicos que pueda tener el personal al realizar los trabajos, y de proporcionar al personal directo los materiales y los medios técnicos que precise.

La diferencia fundamental entre Encargado y Jefe de Mantenimiento es que este se ocupa del departamento pensando en los resultados a medio y largo plazo, mientras que el encargado se ocupa del día-a-día, de resolver inmediatamente las incidencias que puedan ocurrir.

El perfil más adecuado de este personal es el de personal con experiencia en la realización directa de los trabajos, con dotes de mando y con capacidad de organización.+

▪ ***i.5 Planificador***

Es la persona responsable de planificar el mantenimiento programado, de acuerdo a las tareas indicadas en el Plan de Mantenimiento, a las modificaciones y los añadidos que le comunica el Jefe de Mantenimiento y a las indicaciones del Responsable de Oficina Técnica de Mantenimiento. Puede asignar los recursos humanos para la realización de las tareas, si tiene conocimientos para ello, o seguir las indicaciones del Jefe de Mantenimiento o Encargado, sobre esta asignación.

El perfil del planificador es el de una persona que conoce en profundidad las técnicas de programación, como los diagramas de Gantt o los diagramas de Pert, ya sea de forma manual o mediante la ayuda de herramientas informáticas específicas.

▪ ***i.6 Preparador***

Con la programación preparada por el Planificador, o siguiendo las indicaciones del Jefe de Mantenimiento, Encargado o Jefes de Equipo, es el responsable de preparar las herramientas específicas, los materiales y la documentación que necesitará un operario de mantenimiento para realizar cada uno de los trabajos.

El perfil del preparador es el de una persona organizada, que conozca los materiales y repuestos de la planta y que sepa donde se localiza o como se solicita la documentación que se pueda necesitar (planos, instrucciones técnicas, procedimientos, permisos de trabajo).

▪ ***i.7 Verificador***

Es la persona responsable de la verificación de piezas de repuestos, bien de las que se construyen en talleres propios o subcontratados, bien de las que se reciben de un proveedor. En plantas en las que las piezas deben poseer unas características muy definidas, se hace necesario asignar a una persona la responsabilidad de recepcionar los materiales, verificando que alcanzan todas sus especificaciones.

En general, depende del responsable del almacén.

El perfil del verificador es el de un técnico buen conocedor de las técnicas de metrología, y que ha recibido formación y entrenamiento en la realización de determinadas pruebas que deban superar algunos materiales antes de usarlos (resistencia a presión o a flexión, dureza, planitud, etc.).

▪ ***i.8 Analista de Averías***

Es un técnico responsable de estudiar cada una de las averías, incidentes, funcionamientos anómalos, etc., que se puedan producir en la planta. Su misión es estudiar cada uno de esos casos para identificar las causas que lo produjeron y como se pueden evitar en el futuro. Sus propuestas pueden ser bien una modificación de la instalación, cuando se encuentren problemas de diseño o formas de optimizar este, bien un cambio en el Plan de Mantenimiento (de forma que se contemple la realización de alguna tarea que evitaría la repetición del incidente) o bien la modificación de una pauta del personal de producción.

El perfil del Analista de Averías es el de una persona con mentalidad analítica, y con mucha experiencia en el mantenimiento de equipos similares a los que haya en la planta. Debe manejar adecuadamente herramientas informáticas, como procesadores de texto, hojas de cálculo o bases de datos.

▪ ***i.9 Jefe de Taller***

Es el responsable de que el personal que trabaja en el taller de mantenimiento (torneros, fresadores, soldadores, cerrajeros, etc.) alcance el rendimiento que se estima como el óptimo. También es el encargado del orden y la limpieza en el taller.

El perfil es el de una persona organizada, con dotes de mando, y buen conocedor del trabajo de taller.

▪ ***i.10 Técnico en Seguridad***

El mantenimiento es un área de riesgo. En muchas ocasiones hay que realizar reparaciones e intervenciones en un equipo al que se le han retirado las protecciones, hay que trabajar en zonas con partes en movimiento, o hay que observar el funcionamiento anómalo de una máquina, cuyo comportamiento puede ser imprevisible. También hay que trabajar en altura, o con equipos bajo tensión eléctrica, o en espacios confinados, etc.

A fin de minimizar los riesgos que todo ello puede suponer, determinadas empresas asignan a un técnico la responsabilidad de la prevención de riesgos. Su trabajo consiste en analizar y evaluar los riesgos de la planta, redactar un Plan de Seguridad, y vigilar que los trabajos se realicen en las condiciones de seguridad debidas.

El perfil de este técnico es el de un Técnico Superior en prevención de riesgos laborales, generalmente titulado universitario. Debe ser una persona estricta, no permitiendo que se trabaje en condiciones que pueden suponer un riesgo no controlado para las personas.

▪ ***i.11 Administrativo***

Es la persona encargada de realizar tareas rutinarias de bajo nivel propias de personal de oficina, como redactar cartas, archivar documentación, enviar y recibir faxes, recibir llamadas telefónicas, etc.

▪ ***i.12 Grabador de Datos***

En plantas que cuentan con un Sistema de Mantenimiento Asistido por Ordenador, la cantidad de datos que hay que introducir en el sistema puede ser enorme, y puede necesitar que se destine una persona a tiempo completo para la tarea de introducir datos.

El perfil es de un administrativo que conozca la herramienta informática con la que tiene que trabajar, con buena resistencia a la fatiga (existen test específicos para evaluar este punto).

▪ ***i.13 Responsable de Almacén de Repuesto***

Es el encargado de que el almacén de repuestos se encuentre limpio y ordenado, con un sistema que permita localizar fácilmente lo que se necesita. Es el encargado de comunicar al responsable de compras que un repuesto determinado se ha agotado o ha rebasado el nivel de stock mínimo. Debe asegurar igualmente que el material se almacena en las condiciones que necesita, siguiendo las instrucciones especiales de los especialistas en ese material (fabricante, distribuidor, Jefe de Mantenimiento, Responsable de Oficina Técnica, etc.).

Es el responsable de realizar los inventarios del stock de repuesto, y de asegurar que los movimientos de almacén se hacen de manera controlada (queda registrado de alguna manera cada movimiento de entrada o salida que se realiza)

El perfil es el de una persona muy organizada, y buen conocedor de los materiales que se usan en la planta.

▪ ***i.14 Responsable de Compras***

Es el responsable de realizar las compras de materiales, repuestos, consumibles, etc. que se necesiten en la planta. El perfil del Responsable de Compras es el de una persona hábil negociadora, con un trato amistoso con los proveedores, pero con carácter como para exigirles el cumplimiento de especificaciones, plazos de entrega, etc. Debe conocer bien el mercado y los productos que se usan en la planta.

▪ ***i.15 Responsable del Depósito de Herramientas***

Es el responsable de que se disponga en la planta de los medios que se necesiten, de que estos se encuentren en perfecto estado (funcionamiento, calibración, etc.) y de que la herramienta no se extravíe. Debe exigir a los operarios a los que se asigna herramienta personal que cuiden de ella, penalizándoles de alguna manera cuando esto no sea así (descontándoles el importe de la herramienta extraviada, retirándoles una prima voluntaria si su conjunto de herramientas no está completo, etc.). Debe identificar las necesidades de medios técnicos, proponiendo al Jefe de Mantenimiento la realización de inversiones. Debe llevar al día el Plan de Calibración.

El perfil del responsable de almacén es el un operario ordenado, buen conocedor de los trabajos que se realizan por tener amplia experiencia en ellos.

○ ***ii Puestos directos***

Son los directamente relacionados con la actividad de mantener. En general, su salario contempla la realización de un número de horas anuales, cuyo exceso debe ser abonado como horas extra (de un coste generalmente superior a las horas normales).

Las diferentes especialidades que pueden darse en mano de obra directa son muy variadas. La descripción de estas especialidades no supone que un departamento bien dimensionado deba admitirlas o perseguirlas, pues la especialización presenta ventajas e inconvenientes, como veremos más adelante. La finalidad de esta distinción de puestos de trabajo es meramente descriptiva.

▪ ***ii.1 Mecánico Ajustador***

Componen el grueso del personal de mantenimiento. Su misión es el desmontaje, reparación, sustitución, montaje y ajuste de los elementos mecánicos de un equipo o instalación. Su perfil deseable es el de personal con una formación secundaria en Mecánica (en España, formación profesional de 2º grado), y con una experiencia acorde con la categoría (oficial 1ª, al menos 3 años, oficial 2ª, al menos 2 años, etc.). Deben ser personas meticulosas, pacientes, con visión espacial (capaz de imaginarse como es el movimiento de una pieza compleja en el espacio), y con capacidad de abstracción. Es conveniente comprobar estos puntos al realizar la prueba de ingreso, mediante test psicotécnicos específicos.

▪ ***ii.2 Electricista baja tensión***

Se ocupa de la parte eléctrica de los equipos e instalaciones. Trabajan en un rango de tensiones comprendido entre los 400 y los 24 voltios. Por encima de esa tensión, es responsabilidad del electricista de Media-Alta tensión, y por debajo de 24 voltios, es el campo de electrónicos e instrumentistas.

Sus responsabilidades son generalmente las siguientes:

- Conexión-desconexión de elementos, equipos, etc.
- Reparaciones de iluminación
- Comprobaciones y reparaciones en cuadros eléctricos
- Verificaciones de equipos (aislamientos, derivaciones, disparos de mecanismos
- eléctricos de protección, comprobaciones de cableado, etc.)

▪ **ii.3 Electricista de media y alta tensión**

Se ocupa del mantenimiento de las instalaciones eléctricas cuya tensión sea superior a los 500 voltios. Sus responsabilidades son generalmente las siguientes:

- Revisión de subestaciones eléctricas, en las que se recibe la energía eléctrica de la red de alta tensión (con unas tensiones que oscilan, para la gran empresa, entre los 6.000 y 500.000 voltios). Se incluye en esta revisión todos los elementos que componen la subestación: transformadores, seccionadores, mecanismos de protección (relés, fusibles, etc.) y embarrados.
- Conexión-desconexión de equipos conectados a líneas de media tensión

▪ **ii.4 Electrónico**

Es el encargado de la parte electrónica de los equipos. Su actividad diaria está relacionada con los PLC"s (Programmable Logic Devices, autómatas programables), tarjetas de control, cuadros de mando, sensores de los diversos equipos y actuadores conectados a los PLC"s.

▪ **ii.5 Instrumentista**

Muy relacionado con el puesto anterior, el instrumentista es el electrónico especializado en aparatos de medida (medidores de presión, sensores de temperatura, analizadores, sensores de peso, de humedad, de caudal, etc.), y en los dispositivos actuadores relacionados con estos principalmente válvulas de control). Su misión es la calibración, ajuste y reparación de los citados instrumentos de medida, de los actuadores y de los lazos de control que los gobiernan.

▪ **ii.6 Engrasador**

Es el encargado de ejecutar el Plan de Lubricación de la planta o instalación.

▪ **ii.7 Cerrajero**

Encargado de las reparaciones de estructuras metálicas, mediante diversas técnicas (soldadura, forja, fundición, etc.) Su nombre proviene de los fabricantes y reparadores de puertas, verjas, vallas (cierres en general) metálicos.

▪ **ii.8 Hidraulista**

Es el responsable de los sistemas oleohidráulicos de las empresas. Es una especialidad necesaria en plantas que poseen prensas, ya que el sistema de energía que suelen utilizar estas prensas es energía hidráulica conseguida a partir de la presión ejercida en un líquido hidráulico (generalmente aceite).

▪ **ii.9 Matricero**

En plantas que utilizan moldes es su proceso productivo, es el encargado del mantenimiento de dichos moldes.

▪ **ii.10 Especialista en Válvulas**

Es el encargado del mantenimiento, ajuste y reparación de válvulas y elementos de cierre de fluidos.

▪ **ii.11 Especialidades relacionadas con la herramienta que utilizan**

Junto con las especialidades anteriores, existen otra serie de puestos que toman su nombre del equipo o herramienta que emplean para realizar su trabajo. Es el caso del soldador, tornero y fresador (que se ocupan respectivamente de los trabajos de soldadura, del manejo del torno y del manejo de la fresadora).

ESPECIALIDADES DE ANTENIMIENTO

ESPECIALIDAD	SUBESPECIALIDAD
MECÁNICA	Montador
	Ajustador
	Soldador
	Tubero
	Matricero
	Calderero
	Especialista Hidráulico
	Especialista neumático
	Tornero
	Fresador
ELECTRICIDAD	Electricista Media-Alta tensión
	Electricista Baja Tensión
ELECTRÓNICA	Electrónico
	Instrumentista electrónico
	Instrumentista neumático

- **El fracaso asegurado de un jefe de mantenimiento**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

A veces es muy fácil prever que un nuevo jefe de mantenimiento no va a tener éxito en su trabajo. Las circunstancias que lo rodean aseguran su fracaso de forma casi segura

En ocasiones una empresa contrata a un nuevo jefe de mantenimiento, consciente de que tiene un grave problema de mantenimiento que puede resolver contratando a un nuevo gestor.

A veces, demasiado a menudo, el nuevo jefe de mantenimiento contratado o recién ascendido no consigue resolver el problema de mantenimiento de manera satisfactoria para la gerencia de la empresa. El jefe de mantenimiento acaba despedido, relegado a otras funciones, y desde luego, habiendo fracasado en su cometido.

Pero, ¿es siempre culpa del jefe de mantenimiento?

Personalmente he visto este caso en demasiadas ocasiones. Muy a menudo se dan estas otras circunstancias:

- Ha habido más intentos fallidos, es decir, ha habido otros jefes de mantenimiento que han fracasado
- No existe mantenimiento programado de ningún tipo
- El estado de la maquinaria y las instalaciones es en general malo
- Algunos de los técnicos, incluso la mayoría, llevan bastante tiempo en el departamento. En otras ocasiones sucede exactamente lo contrario: hay una gran rotación en el departamento, incluso en la empresa.
- Algunos de esos técnicos de mantenimiento son considerados "imprescindibles" tienen prestigio y contacto directo con los gerentes y directores de la empresa, que confía mucho en ellos
- El departamento de producción tiene más poder efectivo que el de mantenimiento. La visión a corto plazo impera sobre una visión a largo plazo. El día a día es lo que marca la programación de mantenimiento, las urgencias y las escasas intervenciones programadas
- Existe un férreo control de costes y un presupuesto muy ajustado para realizar el mantenimiento
- Los directivos por encima del jefe de mantenimiento no están acostumbrados a delegar y se inmiscuyen en la gestión de forma constante.
- Hay un doble lenguaje de los directivos que están por encima del jefe de mantenimiento: por un lado, hablan del preventivo y de modernizar el departamento. Por otro, impulsan la gestión basada en el "mantenimiento de crisis"

En esas condiciones es muy difícil que un nuevo jefe de mantenimiento tenga éxito en su trabajo, entendiendo como éxito los siguientes logros:

- Conseguir que las instalaciones mejoren en disponibilidad y mejore su estado
- Conseguir aumentar la producción
- Conseguir una organización óptima del personal de mantenimiento

Razones que aseguran el fracaso del proyecto de cambio en esas circunstancias

Las razones por las que el trabajo del nuevo jefe de mantenimiento está abocado al fracaso son, en mi opinión, las siguientes:

- El Jefe de Mantenimiento carece de la autoridad necesaria. Es y será el culpable de todo lo que ocurra, pero no tiene capacidad para tomar decisiones organizativas ni presupuestarias. Como mucho, gozará de unas semanas o unos meses de gracia, en los que podrá sacar adelante unas pocas iniciativas. Pero transcurrido ese periodo, que no suele ser superior a tres meses, las decisiones importantes y estratégicas no las tomará él, sino que las tomarán sus superiores. Eso sí, será el responsable de que las decisiones tomadas por otros no funcionen. Esta es, sin duda, la principal razón.
- No tienen la confianza de los directivos, y no es fácil que la tengan. Éstos han descargado esa confianza en determinado personal, que son los que realmente dirigen el mantenimiento y la producción. En ocasiones ese personal de “confianza”, ese grupo de personas que ostentan el poder fáctico en la sombra es precisamente el responsable de la situación en que se encuentra la empresa, y desde luego, facilitarán poco un cambio de estrategia en el que ellos no tienen nada que ganar.
- Hay determinadas personas que no tienen interés en que haya cambios que les situarían, cuando menos, en una posición incierta. Esas personas magnificarán los errores y matizarán los éxitos, incluso atribuyéndoselos si tienen posibilidad.
- El estado de las instalaciones es malo, y hace que el día a día impida pensar en el futuro. Los árboles impiden ver el bosque. No hay tiempo para plantear cambios organizativos del personal, para pensar en establecer rutinas de mantenimiento, para organizar intervenciones programadas, etc. Sólo hay tiempo para resolver crisis.
- La mentalidad del coste y el beneficio también es una mentalidad a corto plazo. A veces es necesario “gastar” para “ganar más” y eso es algo que algunos directivos no ven. En muchas ocasiones es necesario contratar un técnico más, realizar una intervención programada, hacer una puesta a punto de un equipo, renovar una determinada instalación. Eso puede tener sus beneficios a medio plazo, aunque a corto plazo aparezca como una pérdida o como un aumento en el coste del mantenimiento.

• La motivación

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

- El personal que trabaja en empresas de mantenimiento es personal algo más complicado que el personal de producción o el administrativo. Tiene unas características peculiares que deben ser tenidas en cuenta a la hora de decidir la política de gestión de este personal.
- En primer lugar, este personal no es fácilmente sustituible. No es fácil ir al mercado laboral y encontrar técnicos con formación y experiencia en los equipos concretos que hay que atender. Por tanto, es personal al que hay que reclutar, formar y mantener (y casi mimar) en la empresa. En segundo lugar, el nivel de tensión en un departamento de mantenimiento es más alto que en otros departamentos o entornos, pues suelen estar en el centro de los problemas de una fábrica. Cuando sucede un incidente, como una parada de máquina, una emergencia, etc., es el personal especializado el encargado de su resolución, en el tiempo más breve posible. Esto genera nervios, tensión, y estrés.
- En tercer lugar, entre el personal técnico especializado suele existir mayor nivel de competencia entre compañeros que en otros departamentos; juzgan a menudo el trabajo realizado por los otros, y establecen su propio “ranking” de valía, que incluso puede ser diferente de unos operarios a otros.
- Todos estos factores hacen que el personal técnico sea distinto a otros y necesite un tratamiento especial.
- Una de las claves de su rendimiento está indudablemente ligado a su motivación. Al personal de mantenimiento no se le debe exigir ni imponer. No se puede dirigir a este personal “con un látigo”, ni se les puede pedir que no piensen y que solo trabajen (al estilo Tayloriano). En cambio, el personal motivado acabará antes una tarea, pondrá su inteligencia y su saber-hacer al servicio de los intereses de la empresa y no tendrá el mismo volumen de tiempos

perdidos que el personal que acude diariamente a su trabajo sin más objetivo que hacer lo mínimo para que no le despidan.

6.1 Hechos que motivan al personal técnico especializado

Es indudable que hay una serie de hechos que fomentan la motivación del empleado. Por supuesto, la mayoría son aplicables a cualquier trabajador: pero el personal de mantenimiento tiene necesidades y comportamientos peculiares, que es necesario tener muy en cuenta.

Entre los hechos que motivan al personal de mantenimiento están los siguientes:

- Que sus opiniones sean escuchadas
- Que cuando solicita algo que necesita se la facilite con rapidez. El técnico necesita ver eficacia a su alrededor. Si no lo ve, él mismo caerá en ineficacia, pensando que a nadie le importa.
- Notar que la empresa le considera un trabajador valioso, y no un simple número
- Que sus mandos le tratan con respeto
- Que la cantidad de dinero que gana le permite cubrir sus necesidades, y que comparativamente con otros departamentos, en su salario están considerados tanto su nivel de especialización como las condiciones de tensión habituales en estos trabajos.ç

6.2 Como motivar al personal técnico especializado

Como consecuencia de lo dicho en el apartado anterior, es posible sacar una serie de conclusiones sobre el comportamiento que se debe ofrecer a un buen técnico al que se quiere fidelizar y motivar:

- Escuchar sus sugerencias. Establecer un sistema que permita documentar y evaluar sus propuestas de mejora, referidas a la instalación, a los medios y herramientas que necesita y a la organización del departamento
- Darle formación, y si es posible, durante su jornada laboral. Un técnico (sobre todo si es joven) es una persona ávida de nuevos conocimientos, de desarrollar nuevas destrezas.
- Interesarse de manera periódica por las dificultades de su trabajo. Saber si tiene todo lo que necesita en cuanto a ropa, herramientas, medios técnicos, repuestos; conocer de su propia voz los riesgos de su trabajo; conocer las condiciones del taller, horarios, etc.

6.3 Hechos que desmotivan al personal técnico especializado

Y evidentemente, igual que hay una serie de factores y actuaciones que contribuyen muy positivamente a la motivación del personal, hay toda una serie de aspectos que lo hacen negativamente:

- Cometer errores administrativos en el cálculo de nóminas, cómputo de horas, pluses, retrasos en el pago de salarios, y cualquier circunstancia que afecte económicamente al trabajador
- Adquirir compromisos con este personal que después no se cumplan. Estos compromisos pueden ser de cualquier naturaleza: económicos, compromisos para adquirir determinados medios, etc.
- No resolver con rapidez sus necesidades respecto al trabajo, en una consulta técnica, en la adquisición de un material, etc.
- Que el volumen de trabajo sea muy superior al personal disponible para realizarlo
- Que el trabajo esté mal organizado
- Que las averías sean siempre las mismas, y no se haga nada para cambiar esta situación.
- La inseguridad sobre su futuro profesional, sobre todo en momentos de reajuste de plantillas.
- Dirigirse a él habitualmente de forma brusca y poco respetuosa.
- Sancionarle, ya sea por causas procedentes o improcedentes. En este sentido, antes de imponer una sanción hay que tener en cuenta el efecto que tendrá ésta sobre su moral.
- La falta de apoyo técnico cuando se encuentra ante una avería que no es capaz de resolver
- No tener en cuenta sus opiniones, ignorar sus quejas.
- Que su superior se aproveche de sus sugerencias para presentarlas como propias ante otras personas de la organización.

6.4 Qué hacer ante un técnico desmotivado

Un operario desmotivado tiene un rendimiento muy inferior a un operario motivado, con el mismo nivel de preparación. Es posible, incluso, que un operario motivado con pocos conocimientos sea más útil que un operario muy preparado, pero absolutamente desmotivado.

Ante un técnico especializado con moral baja, que ha perdido el interés por la empresa y por su trabajo, es posible hacer tres cosas: tratar de reconducir su situación para que recupere la ilusión por su trabajo, despedirle o invitarle a que abandone la empresa.

Para reconducir su situación, hay que investigar las causas de su desmotivación. Si entre las causas se aprecian errores que ha cometido la empresa, es posible intentar solucionar estas causas demostrándole efectivamente que las cosas han cambiado. En estos casos, mejor hechos que promesas. Así, si la causa de su desmotivación está en la ineficacia de la mano de obra indirecta para planificar los trabajos, conseguir materiales, etc., se hace necesario investigar estas causas, y tomar cartas en el asunto redistribuyendo funciones o reorganizando algunas áreas. Puede ser también que no tenga razón en su queja, ante lo cual habrá que tratar de demostrarle su error de apreciación. Es posible que las causas de su estado de ánimo estén fuera de la empresa (situación familiar, situación económica, etc.), ante lo cual lo único que se puede hacer es darle ánimos o mostrarle solidaridad.

Si no es posible reconducir la situación, las opciones son el despido o la invitación al cese voluntario. El despido puede argumentarse en relación a su bajo rendimiento, pero hay que tener en cuenta la dificultad para demostrar este bajo rendimiento ante una posible demanda por despido improcedente.

Por último, la invitación al cese voluntario puede hacerse de manera incentivada, ofreciendo al trabajador una cierta indemnización, o convenciéndole para que abandone la empresa voluntariamente sin más.

- **La formación: planes de formación**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Una empresa de mantenimiento debe cuidar la formación de su personal como un objetivo estratégico, ya que incide en el valor máspreciado de una empresa: sus recursos humanos. Esa formación debe por un lado asegurar que el personal que se incorpora conoce su trabajo; pero por otro, debe asegurar que el personal en la plantilla se desarrolla, conoce y aplica las mejores técnicas en su campo. Por desgracia, no todas las empresas de mantenimiento dan la misma importancia a la formación de su personal.

Ventajas e inconvenientes de realizar acciones formativas

Casi todos los que tienen una responsabilidad en el mantenimiento de una planta industrial son conscientes de la importancia de la formación para la mejora del desempeño en puestos técnicos. Pero, ¿qué ventajas tiene dedicar el tiempo y los recursos necesarios a la formación del personal? Sin duda, numerosas e importantes:

- Se puede afrontar la alta rotación que sufren a menudo los departamentos y las empresas que ofrecen servicios de mantenimiento con mejores garantías. Es posible, si se estructura del modo adecuado, tener personal formado en cantera, con un coste bajo para la empresa, para tener una respuesta rápida en caso de rotación no deseada.
- Mejora y complementa la política retributiva
- Los periodos de formación inicial de personal de nueva incorporación pueden acortarse enormemente
- Facilita la promoción interna del personal. Con la creación de planes de carrera personalizados es posible tener en puestos de mando a personal conocido que ha demostrado ya su fidelidad a la empresa
- Se fideliza la plantilla
- Un personal mejor formado es un personal mucho más eficaz en su trabajo
- La empresa es más atractiva para los candidatos a incorporarse, pues éstos valoran muy positivamente la posibilidad de recibir formación continua. La empresa que ofrece formación a sus técnicos de mantenimiento se asegura atraer, retener y motivar el talento

Una empresa de mantenimiento debe cuidar la formación de su personal como un objetivo estratégico, ya que incide en el valor máspreciado de una empresa: sus recursos humanos. Esa formación debe por un lado asegurar que el personal que se incorpora conoce su trabajo; pero por otro, debe asegurar que el personal en la plantilla se desarrolla, conoce y aplica las mejores técnicas en su campo. Por desgracia, no todas las empresas de mantenimiento dan la misma importancia a la formación de su personal.

- Se disminuye el riesgo de accidente

¿Y cuáles son los inconvenientes de organizar acciones formativas para los técnicos? Pues no muchas: en algún caso se favorece la rotación de personal, pues el personal bien formado puede tener más movilidad laboral; cuesta dinero; pérdida de horas útiles de trabajo para dedicarlas a formación; y hay que organizarla.

No es necesario un análisis profundo para darse cuenta de que la organización de formación tiene más ventajas que inconvenientes, a pesar de que la tendencia general no se encamina hacia el fomento de las acciones formativas y de otorgar al departamento de formación de una empresa un papel preponderante.

Gestión económica del mantenimiento: Presupuestos

La externalización del mantenimiento

- **Ventajas e inconvenientes de la externalización**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

Los contratos de Operación y Mantenimiento, con amplias responsabilidades para el contratista, van ganando terreno poco a poco en determinados ámbitos industriales. Se trata sobre todo de plantas de nueva construcción, en las que el propietario quiere asegurar su negocio, para conocer y fijar de antemano sus costes de explotación. Estos tipos de contrato se utilizan sobre todo en determinados sectores: la producción de energía es claramente uno de ellos, aunque se observan tímidos avances en la industria automovilística y en la petroquímica, sobre todo en productos auxiliares.

El propietario de la planta actúa en la mayor parte de estos casos como inversor o promotor: dispone del dinero necesario para construir una planta, firma un contrato para su construcción y posteriormente, otro para la operación y el mantenimiento de la instalación. El precio de estos contratos de O & M suele estar en función de la producción, aunque también suele contener una parte fija que asegura al contratista cubrir una parte importante de sus gastos, minimizando así sus riesgos para el caso de que el propietario o cliente decidiera no utilizar toda su capacidad de producción.

Podemos decir pues que el principal objetivo que busca el cliente al contratar la operación y el mantenimiento de su planta industrial es asegurar su negocio, conociendo de antemano sus costes. Pero ésta no es la única.

La segunda razón que es posible constatar es la flexibilidad en la gestión de los recursos humanos. Las tareas de operación y mantenimiento requieren, en muchas ocasiones, realizarse en horarios amplios (turnos de 24 horas para la operación, noches, fines de semana y periodos vacacionales para determinadas tareas de mantenimiento) y también requieren de aumentos y disminuciones de plantilla, dependiendo de los trabajos a realizar. Con una plantilla propia esta flexibilidad es baja, y genera constantes fricciones en las relaciones laborales. Los contratos de O & M trasladan estos problemas fuera de la empresa cliente, que ve así reducida su conflictividad laboral, y obtiene la flexibilidad que necesita.

Hay todavía una tercera razón por la que las empresas realizan contratos de O & M: la exigencia de resultados. Es más difícil para una empresa exigir unos resultados determinados a una plantilla propia que a una empresa contratista. A nivel contractual puede ligarse la facturación del contratista con los resultados obtenidos, bien en forma de bonificaciones-penalizaciones o, como en los contratos más avanzados, ligando la facturación con la producción. De esta forma también trasladamos fuera de la empresa la gestión de la explotación de la planta: si el contratista quiere ganar dinero, tratará de aplicar los mejores sistemas de gestión posibles. Si no lo hace, perderá dinero, mucho en algunos casos. ¿Qué mejor motivación para el contratista?

Es importante recordar que el objetivo del contratista de O & M no es operar y mantener una planta industrial de la mejor forma posible: su objetivo es ganar dinero. Si el cliente no quiere verse afectado negativamente, debe asegurarse de que el contratista cumple su objetivo, gana dinero. Si el contratista no obtiene un beneficio, tratará de obtenerlo reduciendo costes, lo que puede significar reducir personal, contar con personal menos cualificado o buscar materiales de dudosa calidad. Mas tarde o más temprano, esta política de reducción de costes a la desesperada pasará factura al propietario.

- **Tendencias actuales**

- **Tipos de Contratos de mantenimiento**

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

A grandes rasgos, existen tres tipos de contrato de O & M:

- a) **Tiempo y materiales.** El contratista cobra por los trabajos que el cliente le encarga. Factura en función del tiempo de trabajo, más los materiales que utiliza. El cliente no adquiere ningún compromiso estable con el contratista: sólo paga cuando requiere de sus servicios. Es el tipo de contrato ideal cuando no se disponen de los conocimientos técnicos necesarios para abordar la Operación y el Mantenimiento, y no se desea tener una plantilla propia altamente especializada, de alto coste y con poca flexibilidad

La ventaja de este tipo de contrato es que no hay compromisos, por lo que si no se solicitan los servicios, no se origina ningún gasto.

La desventaja es indudable: los intereses del contratista son completamente opuestos a los intereses del cliente. Cuantas más averías y problemas tenga la planta, más factura el contratista. Éste no tiene ninguna motivación para proponer mejoras, para hacer reparaciones fiables, para plantear el objetivo cero averías, pues podrían acabar con una parte importante de su facturación.

- b) **Contratos a precio cerrado.** Por un precio determinado y fijo se incluyen una serie de trabajos, unas veces bien determinados y otras veces sin determinar con exactitud. Es el caso de contratos en el que se incluye el mantenimiento preventivo de un sistema o de una instalación junto con todo el mantenimiento correctivo que pueda surgir.

La ventaja de este tipo de contratos es que se conoce previamente el importe a pagar, por lo que el cliente transforma un gasto variable y desconocido en un coste fijo, perfectamente determinado.

La desventaja es que el contratista sólo mira su interés: no se preocupa por el coste de la pérdida de producción (no afecta a su facturación), y hace reparaciones fiables para un periodo corto de tiempo. Está muy interesado en disminuir sus costes, pero no en aumentar la capacidad de producción o el rendimiento de las instalaciones.

- c) **Contratos Full O & M.** Son contratos en los que toda la responsabilidad en la explotación técnica de la planta corresponden al contratista, reservándose el cliente únicamente la explotación comercial. Suelen ser contratos tipo *win-to-win*, es decir, tratan de ligar los resultados de contratista y cliente, de manera que si el cliente pierde dinero, el contratista también, y si por el contrario el cliente gana dinero, el contratista también lo hace. El contratista puede aumentar sus beneficios aumentando la disponibilidad y el rendimiento de las instalaciones, e incluso, puede aumentar sus beneficios aumentando sus gastos (invirtiendo en mejoras, haciendo reparaciones más fiables, contratando a personal altamente cualificado, etc.)

La ventaja indudable de este tipo de contrato es que los intereses del contratista y del cliente coinciden, y lo que afecta a uno (para bien o para mal) afecta al otro.

Es posible obtener una serie de ventajas adicionales en el caso de que la planta sea nueva y el constructor de la planta y el contratista de O & M sean la misma empresa. Entre estas ventajas estarían las siguientes:

No hay discusiones sobre si un fallo determinado es un problema de diseño, de montaje, de operación o de mantenimiento: la responsabilidad siempre recae sobre el contratista.

El constructor tiene un gran conocimiento sobre la planta, que heredará el contratista de O & M. Eso agilizará enormemente las intervenciones cuando se produzca un fallo, lo que redundará automáticamente en la disponibilidad

El contratista de O & M siempre empleará materiales de primera calidad, los recomendados por el constructor. Además, los obtendrá de un modo más rápido. De nuevo, eso redundará en la disponibilidad y en la fiabilidad de la planta

El principal inconveniente de los contratos Full O & M es que, aparentemente, son más caros. La cantidad que paga el cliente por este tipo de servicio es en apariencia mayor (la facturación es más alta) lo que puede hacer pensar que "cuestan" más. No es del todo correcto, pues también el beneficio es mayor, y los riesgos, compartidos. El otro gran inconveniente es que el cliente pierde el know-how de la planta, pierde formación e información sobre los problemas de la planta y su solución, pues se centra en los resultados y no en cómo se obtienen.

- **Cláusulas contractuales**
- **Ejemplos de contrato de mantenimiento**

• Fases de un contrato de mantenimiento

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

En un contrato de O & M, pueden identificarse cuatro fases o momentos clave:

- Preparación y firma del contrato.

Esta es una actividad fundamental, pues este documento es el que se basarán las relaciones entre cliente y proveedor va a marcar todo lo que suceda a partir de ese momento. Es muy importante estudiar cual es el tipo de contrato más conveniente para los objetivos que se pretenden, sopesando pro y contras, y asegurarse de elegir al contratista más apropiado (que a menudo no es el más barato)

- Fase inicial (implantación o movilización)

En esta fase, el contratista analiza las instalaciones, forma al personal, prepara las herramientas y medios técnicos que necesitará para el desarrollo del contrato, acopia el repuesto que necesitará, elabora un plan de mantenimiento para las instalaciones y prepara las instrucciones de operación

Es muy habitual que esta fase se descuide. Muy a menudo el contratista no comprueba el estado de las instalaciones de las que se hace cargo, no forma al personal adecuadamente, no estudia el plan de mantenimiento más adecuado para las instalaciones y/o no redacta unas instrucciones de operación adecuadas. Una fase inicial defectuosa provoca que, en los momentos iniciales del contrato, la producción se vea afectada. El principal problema que suele aparecer es que las incidencias que se producen en esta fase no se resuelven con rapidez, pues el nuevo personal que se hace cargo de las instalaciones desconoce la planta y sus problemas. Cualquier pequeño fallo o problema puede convertirse en una parada de la producción, por tiempo indefinido.

Por ello, el cliente debe asegurarse de que ese periodo inicial se aborda con el rigor necesario, y no debe autorizar el cambio o el inicio del contrato hasta asegurar que la empresa contratista conoce la planta y sus problemas, y el personal está adecuadamente formado.

- Desarrollo del contrato

Abarca desde el momento en que se inician los trabajos de operación y mantenimiento hasta el momento en que el cliente decide prescindir de los servicios del contratista y comunica a éste que en un periodo de tiempo determinado finalizará el contrato.

En esta fase son varios los aspectos que deben cuidarse:

- El cumplimiento de las instrucciones de operación previamente elaboradas, y su actualización de acuerdo a la experiencia que se va obteniendo en la planta
- La puesta en marcha de un Plan de Mantenimiento que permita cumplir los objetivos de disponibilidad. Debe entenderse que dicho plan es un documento vivo, y que debe modificarse en función de los resultados que se vayan obteniendo
- La adecuada atención a los fallos que se producen (mantenimiento correctivo)
- El registro de toda la información que se genera y que pueda ser útil en el presente y en el futuro, tanto para el contratista como para el cliente. Esta información se vuelve muy valiosa cuando quiere estudiarse la evolución de determinados parámetros, y sobre todo, cuando el cliente decide prescindir de los servicios del contratista

- Final del contrato (desimplantación o desmovilización).

El cliente puede verse seriamente afectado por una fase de finalización defectuosa. El contratista, una vez conoce que su contrato finaliza, pierde el interés por lo que ocurra con el futuro de la planta. Por ello, hará lo mínimo que su contrato le exija, y a veces, ni siquiera eso. El riesgo de que la planta se descuide en los últimos meses del contrato es muy alto. Por ello, este periodo debe ser tan breve como sea posible: lo suficiente para asegurar que la fase de inicio del nuevo contrato o la nueva situación se realiza con garantías de éxito. Es muy importante realizar una evaluación del estado técnico en que queda la planta (auditoría técnica de la instalación), por si fuera necesario exigir responsabilidades a la empresa contratista "saliente" y por garantizar que el contratista "entrante" conoce los principales problemas.

• Principales conflictos entre cliente y contratista

Por: Santiago García Garrido
Director Técnico de RENOVETEC

El cliente debe supervisar el trabajo del contratista. Es demasiado arriesgado firmar un contrato de O & M, por mucho que defina las responsabilidades en caso de mala gestión, y no ocuparse de saber cómo se está llevando a cabo. En caso de una gestión inadecuada el propietario de la planta no podrá adoptar medidas correctoras a tiempo, y cuando perciba que el sistema empleado no es el adecuado será tarde: tendrá que pagar un coste muy alto para solucionar los daños provocados por esa gestión inadecuada. No hay que olvidar que los errores que se comenten en la gestión de explotación de una planta industrial no se pagan hoy, sino con al menos 1 año de retraso, incluso más. Una planta puede estar muy mal operada y mantenida y no percibirse desde producción hasta mucho tiempo después, cuando la disponibilidad y la fiabilidad caigan en picado.

Siendo esa la principal razón (anticiparse a los problemas derivados de una mala gestión), hay otra igualmente importante: la defensa de los intereses del cliente. En ocasiones pueden realizarse reparaciones con materiales de baja calidad, pueden realizarse reparaciones de forma inadecuada (con el único fin de abaratar el coste de una intervención) o puede mantenerse una instalación en funcionamiento de forma precaria.

Todavía podemos apuntar una razón más para justificar la necesidad de supervisión: tener información directa y fiable de lo que ocurre con las instalaciones.

El perfil ideal del supervisor que el cliente nombra puede ser el siguiente:

- Debe tener un buen conocimiento técnico de cada uno de los sistemas que integran la planta
- Debe tener demostrada experiencia en la gestión de operación y mantenimiento
- Debe tener conocimientos informáticos suficientes
- Debe conocer herramientas modernas de gestión (TPM, RCM, mantenimiento predictivo), para impulsar su implantación
- Debe tener altos conocimientos en Prevención de Riesgos, además de una fuerte mentalización en Seguridad
- Debe ser una persona comprometida con la disminución del impacto ambiental

En cuanto al número de personas que deben encargarse de la supervisión del contratista, varía con el tipo de contrato y con la complejidad de la planta. Para una planta de tamaño medio y un contrato en el que los intereses del contratista y del cliente confluyan (contratos *Full O & M*) incluso con un solo supervisor puede ser suficiente, aunque puede ser recomendable el apoyo de un especialista en operación y otro de mantenimiento. No es muy justificable mayor estructura para este tipo de contratos (por ejemplo, supervisor eléctrico o mecánico, supervisor de planificación, etc.). Para plantas muy grandes, con áreas claramente diferenciadas, puede ser conveniente asignar una persona por cada una de estas grandes áreas. Por último, si el contrato de operación y mantenimiento solo tiene como objetivo el suministro de mano de obra, o se trata de un simple asesoramiento para una mejor operación o mantenimiento, será necesario un equipo de gestión que incluya todo lo que no se ha contratado (planificación, oficina técnica, gestión de almacén, etc.)

Errores durante el commissioning de una instalación