

# Principios de Ingeniería

## Introducción a la carrera de ingeniería



# Introducción a la Ingeniería

## Tabla de Contenidos

<b>Capítulo 1 Introducción e historia de las ingenierías</b> .....	4
<b>La Ingeniería Primitiva</b> .....	4
Introducción .....	4
Ingeniería Mesopotámica .....	7
Ingeniería Egipcia .....	8
Ingeniería Griega .....	9
Ingeniería Romana .....	12
Ingeniería Oriental .....	15
Ingeniería Europea .....	17
<b>La Ingeniería Moderna</b> .....	18
Qué es la ingeniería? .....	19
Ingeniería Civil .....	20
Ingeniería Industrial .....	25
Introducción a la Ingeniería Mecánica .....	32
Ingeniería Eléctrica .....	34
Ingeniería Topográfica .....	36
Ingeniería de Sistemas .....	39
<b>Capítulo 2 Conceptos Generales</b> .....	43
<b>Resolución de Problemas</b> .....	43
Introducción .....	43
Rasgos que caracterizan a los problemas .....	44
Pautas a seguir en la resolución de problemas .....	45
Desarrollo de algunas estrategias de resolución de problemas .....	48
<b>Ley de Murphy</b> .....	49
Historia y generalidades .....	49
El espíritu de la ley .....	50
Enfatización de lo negativo .....	51
<b>Teoría de la decisión</b> .....	52
Partes de la teoría .....	52
Tipos de decisiones .....	53
Decisiones complejas .....	54
<b>Análisis FODA</b> .....	56
Historia .....	56



# Introducción a la Ingeniería

Los siete hallazgos de la investigación .....	57
En conclusión.....	58
<b>Liderazgo .....</b>	<b>59</b>
<b>Generalidades .....</b>	<b>59</b>
<b>Definición .....</b>	<b>59</b>
<b>Categorías y tipos de líder .....</b>	<b>60</b>
<b>La Credibilidad, base del liderazgo exitoso .....</b>	<b>63</b>
<b>Los dilemas humanos del liderazgo .....</b>	<b>64</b>
<i>La tendencia a proyectarse.....</i>	<i>65</i>
<i>Ansiedad de posición .....</i>	<i>65</i>
<i>Ansiedad de competición.....</i>	<i>66</i>
<i>Manejo del conflicto interno .....</i>	<i>66</i>
¿Eficiencia, eficacia o efectividad? .....	68
Análisis de los Conceptos .....	68
Diferencias entre Eficiencia y Eficacia .....	68
Eficiencia y Eficacia dentro de una organización.....	69
<b>Sistemas .....</b>	<b>71</b>
<b>Sistema.....</b>	<b>71</b>
<b>Clasificación de sistemas .....</b>	<b>71</b>
<b>Productividad.....</b>	<b>74</b>
<b>Concepto de Productividad .....</b>	<b>74</b>
<b>Tiempos improductivos .....</b>	<b>74</b>
<b>Calidad .....</b>	<b>76</b>
<b>Historia de la calidad .....</b>	<b>76</b>
<b>Conceptualización .....</b>	<b>79</b>
<b>Definiciones formales.....</b>	<b>80</b>
<b>Factores relacionados con la calidad .....</b>	<b>81</b>
<b>Capítulo 3 Sistema Internacional de Unidades.....</b>	<b>82</b>
<b>Capítulo 4 Los proyectos de ingeniería.....</b>	<b>83</b>
<b>Generalidades .....</b>	<b>83</b>
<b>El proceso de ejecutar proyectos en ingeniería .....</b>	<b>84</b>
<b>Definición de proyecto de Ingeniería.....</b>	<b>84</b>
<b>Características principales de los proyectos .....</b>	<b>84</b>
<b>Desarrollo de un proyecto .....</b>	<b>85</b>



# Introducción a la Ingeniería



# Introducción a la Ingeniería

## Capítulo 1 Introducción e historia de las ingenierías

### La Ingeniería Primitiva Introducción

El hombre siempre ha dedicado mucho trabajo al desarrollo de dispositivos y estructuras que hagan más útiles los recursos naturales. Eso hombres fueron los predecesores del ingeniero de la era moderna. La diferencia más significativa entre aquellos antiguos ingenieros y los de nuestro día, es el conocimiento en el que se basa sus obras. Los primitivos ingenieros diseñaban puentes, máquinas y otras de importancia sobre la base de un conocimiento práctico o empírico, el sentido común, la experimentación y la inventiva personal. En contraste con los ingenieros de nuestros días, los antiguos practicantes carecían casi por completo del conocimiento de la ciencia lo que es explicable: la ciencia prácticamente no existía. La ingeniería permaneció esencialmente ese estado durante muchos siglos.

La actividad fundamental de todo ingeniero es la toma de decisión para solucionar problemas. El que se llegue a tener en la ingeniería dependerá principalmente del conocimiento, basado en el hecho que se haya adquirido, de las habilidades que haya desarrollado y de su capacidad para continuar su auto-mejoramiento.

La historia de la civilización es en cierto modo, la de la ingeniería: largo y arduo esfuerzo para hacer que las fuerzas de la naturaleza trabajen en bien del hombre. Los primeros hombres utilizaron algunos principios de la ingeniería para conseguir sus alimentos, pieles y construir armas de defensa como hachas, puntas de lanzas, martillos etc.

La ingeniería era ya milenaria cuando se intentó definirla, nació antes que la ciencia y la tecnología y puede decirse que es casi tan antigua como el hombre mismo. Obviamente esta concepción de lo que es un ingeniero se sale de los estrechos marcos de las concepciones actuales. No se pretenderá que los ingenieros primigenios fueran científicos y mucho menos que conocieran la tecnología, eran simplemente ingenieros. Por ello, es las primeras épocas de la ingeniería, el ingeniero no era quien tenía un título, era quien ejercía la ingeniería, la profesión que concreta los sueños y construye los ingenios de todo tipo, entendiendo como ingenio desde una máquina o artificio de guerra hasta un artilugio que se fabrica con entendimiento y facilita la labor humana, que de otra manera demandaría grandes esfuerzos. En realidad la palabra ingeniero apareció en la Edad Media para designar a los constructores de ingenios, aunque junto con el sacerdocio y la milicia la ingeniería fue una de las primeras profesiones en aparecer. Ese decir la profesión de ingeniero existió muchos siglos antes de que se le diera ese nombre.

Desde esta perspectiva la ingeniería es una de las muchas empresas sociales, relacionada con los grandes acontecimientos de la humanidad y se puede inscribir como participante en eventos como las revoluciones urbana, metalúrgica, científica, de la potencia, mercantil, el surgimiento de la ciencia moderna, las revolución industrial, la electricidad y el inicio de la tecnología, la edad del control automático, la revolución termonuclear, la revolución de la electrónica y la informática, en suma con la nueva era del conocimiento. A través de las edades, el ingeniero ha estado al frente como un hacedor de la historia y sus logros materiales han tenido tanto impacto como cualquier otro desarrollo político, económico o social.



## Introducción a la Ingeniería

Pero el desarrollo de la ingeniería como tal, comenzó con la revolución agrícola en Asia Menor o África (año 8000 A.C.), cuando los hombres dejaron de ser nómadas y vivieron en un lugar fijo para poder cultivar sus productos, criar animales comestibles o domesticarlos y construir casas en grupos comunitarios. Tras el afianzamiento de la revolución agrícola, se acumularon innovaciones técnicas que ampliaron progresivamente la eficacia productiva del trabajo humano, se inició así el influjo inicial de la ingeniería, que provocó alteraciones institucionales en los modos de relación entre los hombres para la producción y en las formas de distribución de los productos del trabajo.

El cambio más significativo fue el surgimiento de los asentamientos urbanos o "ciudades" que ocurrió hacia el año 4000 A. C., con los asentamientos alrededor de los ríos Nilo, Éufrates e Indo, ya que se centralizó la población y se inició la civilización con escritura y gobierno. Con el tiempo en esta civilización aparecería la ciencia. Los primeros ingenieros fueron arquitectos, que construyeron muros para proteger las ciudades y construyeron los primeros edificios para lo cual utilizaron algunas habilidades de ingeniería. Seguidos por los especialistas en irrigación, estos se encargaron de facilitar el riego de las cosechas, pero como las mejores zonas para cosechar eran frecuentemente atacadas, aparecen los ingenieros Militares, encargados de defender las zonas de cosecha y las ciudades. Se destaca la importancia que la comunicación ha tenido en el desarrollo. Así las poblaciones ubicadas a lo largo de rutas comerciales desde China a España progresaron más rápidamente porque a estas les llegaba el conocimiento de innovaciones realizadas en otros lugares.

En las ciudades hubo administración central y comercio y muchos habitantes adoptaron profesiones diferentes a las de agricultor, pastor o pescador; se hicieron gobernantes, administradores, soldados, sacerdotes, escribas o artesanos, a quienes se puede llamar los primeros ingenieros. Es decir se afianzó la técnica, la interacción entre esta nueva sociedad urbana y la ingeniería fue muy fértil, pero de igual importancia fue el desarrollo del conocimiento y las herramientas del conocimiento específico para los ingenieros.

Los desarrollos de esta época incluyen los métodos de producir fuego a voluntad, la fusión de ciertos minerales para producir herramientas de cobre y bronce, la invención del eje y la rueda, el desarrollo del sistema de símbolos para la comunicación escrita, las técnicas de cálculo, la aritmética y la normalización de pesas y medidas.

Hasta 3000 A.C. la mayoría de las edificaciones eran modestas viviendas, pero desde entonces la ingeniería estructural dejó de ser meramente funcional y también fue arquitectónica. Se construyeron grandes palacios para los príncipes y enormes templos para los sacerdotes. Una consecuencia de la aparición de las religiones organizadas, con su gran estructura, fue un aumento de la actividad ingenieril y de su conocimiento. La nueva riqueza y los rituales religiosos también llevaron a la construcción de tumbas monumentales, de las cuales son ejemplo sobresaliente las pirámides. De hecho el primer ingeniero conocido por su nombre fue Imhotep, constructor de la Pirámide de peldaños en Saqqarah, Egipto, probablemente hacia el 2550 A.C. Este ingeniero alcanzó tanta reverencia por su sabiduría y habilidad, que fue elevado a la categoría de dios después de su muerte.

Los sucesores de Imhotep - egipcios, persas, griegos y romanos - llevaron la ingeniería civil a notables alturas sobre la base de métodos empíricos ayudados por la aritmética, la geometría y algunos conocimientos incipientes de física. Sin embargo, es paradójico que la obra de los ingenieros, presente en toda la historia, no fue reconocida jamás como obra de ingeniería, sino, acaso, como obra de arquitectura.

También existen los sistemas de ingeniería hidráulica y sanitaria que se desarrollaron en Mesopotamia, así como los caminos, los puentes y las artes navales de los imperios asirios, babilonios y otros pueblos de esa región.



## Introducción a la Ingeniería

De la misma manera debe recordarse la ingeniería egipcia basada en la fuerza de ejércitos de hombres sometidos a un faraón y en la gran cantidad de piedra disponible en el valle del Nilo. Esto permitió la construcción de los enormes templos y pirámides característicos. Allí además se hizo necesaria la construcción de complejos sistemas de irrigación, lo que dio origen a la agrimensura y la matemática correspondiente.

Es claro entonces que el mundo antiguo percibió a la ingeniería como un quehacer que competía con las fuerzas naturales y las dominaba, como una profesión atenta a la invención de los ingenios de guerra, de las máquinas de extracción del agua, de los caminos, de los canales, de los puentes, del desecamiento de los pantanos, de las galerías subterráneas, de los grandes ingenios portuarios, de las defensas de las ciudades.

Esa percepción de que la ingeniería enfrentaba las fuerzas de la Naturaleza comprendía en ella una componente técnica, pero sobre todo intuía una porción mágica, sagrada: el portento de alterar los ritmos y las figuras del ser natural. Unos portentos que asombraban, atemorizaban y hacían al mismo tiempo que el hombre se atreviera a lo insólito con el imaginar de su inventiva.

Los primeros hombres utilizaron algunos principios de la ingeniería para conseguir sus alimentos, pieles y construir armas de defensa como hachas, puntas de lanzas, martillos etc. Los primeros ingenieros fueron arquitectos, que construyeron muros para proteger las ciudades y construyeron los primeros edificios para lo cual utilizaron algunas habilidades de ingeniería.

Fue la necesidad quien hizo a los primeros ingenieros. La primera disciplina de ingeniería fue la de irrigación, para lograr mejores y mayores cultivos, seguida de la ingeniería militar, que se desarrolló para ayudar a satisfacer una necesidad básica de supervivencia. Cada periodo de la historia ha tenido distintos climas sociales y económicos, así como presiones que han influido grandemente tanto el sentido como el progreso de la ciencia y de la ingeniería. Es preciso recordar que durante nuestro crecimiento aprendemos a considerar normal quizá no sea más que una moda pasajera social o económica que representa un punto en el tiempo.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Mesopotámica

Otra gran cultura que floreció junto al agua se desarrolló en el norte de Irán, entre el río Tigris y el Éufrates. Los griegos llamaron a esta tierra Mesopotamia “la tierra entre los ríos”. Aunque los egipcios destacaron en el arte de construir con piedra, gran parte de la ciencia, ingeniería, religión y comercio actuales provienen tanto de Irán como de Egipto.

Al inicio de la historia, un pueblo de origen desconocido, los sumerios, construyó murallas para ciudades y templos y excavó acequias que pueden haber sido los primeros logros de ingeniería del mundo. Los sumerios fueron gradualmente superados por considerable inmigración de nómadas árabes, que pasaron a ser campesinos y moradores de la dudad. La ciudad de Babilonia, que así se formó, fue la sede de una cantidad de imperios de poca duración, hasta ser conquistada posteriormente por los asirios.

Como en Egipto, la vigilancia de las riberas de barro de los canales era un menester importante. Durante cuatro mil años, esos canales sirvieron a una población más densa de la que hay allí hoy día. Cuando los habitantes de Mesopotamia aprendieron a irrigar sus tierras y a amurallar sus ciudades, volvieron su atención a la construcción de templos.

Los historiadores indican que en Mesopotamia se inició la tradición de que un político inaugure la construcción de un edificio público con una palada de tierra.

Los asirios eran un pueblo guerrero, y entonces como ahora, la guerra pareció ser un catalizador de las invenciones. Los asirios fueron los primeros en emplear armas de hierro. Ya se conocía la manufactura del hierro desde siete u ocho siglos antes, pues la había descubierto la tribu de los chalibas en Asia Menor. Los asirios también inventaron la torre de asalto, que se convirtió en una pieza estándar del equipo militar durante los dos mil años siguientes, hasta que la invención del cañón la hizo obsoleta. En distintas épocas también se llamó “castillete” o “helépolis” el dispositivo. Una mejora asiria fue agregarle el ariete.

Alrededor de 2000 a. de J.C., los asirios lograron un avance significativo en el transporte. Aprendieron que el caballo se podía domesticar y servía rara cabalgar, lo que les produjo una ventaja militar considerable: inventaron la caballería.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Egipcia

Los egipcios han realizado algunas de las obras más grandiosas de la ingeniería de todos los tiempos, como el muro de la ciudad de Menfis. Esta antigua capital estaba aproximadamente a 19 Km. al norte de donde está El Cairo en la actualidad. Tiempo después de construir el muro, Kanofer, arquitecto real de Menfis, tuvo un hijo a quien llamó Imhotep, a quien los historiadores consideran como el primer ingeniero conocido. Fue su fama más como arquitecto que como ingeniero, aunque en sus realizaciones entran elementos de la ingeniería.

1. La creencia religiosa contemporánea de que para poder disfrutar de la eternidad era necesario conservar intacto el cadáver de un individuo.
2. El suministro casi ilimitado de mano de obra de esclavos.
3. La actitud paciente de quienes controlaban los recursos de entonces. El reinado del Rey Joser fue propicio para el invento de Imhotep: la pirámide. Las habilidades técnicas requeridas para el diseño, organización y control de un proyecto de esta magnitud lo distinguen como una de las proezas más grandes y antiguas de todos los tiempos.

De todas las pirámides, la del faraón Keops fue la mayor. La Gran Pirámide, como se le conoce ahora, tenía 230.4 m por lado en la base cuadrada y originalmente medía 146.3 m de altura. Contenía unos 2 300 000 bloques de piedra, de cerca de 1.1 toneladas en promedio.. Teniendo en cuenta el conocimiento limitado de la geometría y la falta de instrumentos de ese tiempo, fue una proeza notable. Al día siguiente de su muerte, se honró a Imhotep por su obra, inscribiendo su nombre en la lista de dioses egipcios. Es interesante que la construcción de pirámides, que comenzó alrededor de 3000 a. de J.C., duró solamente unos cien años. Sin embargo, estas estructuras masivas de ingeniería sólo son superadas por la Gran Muralla China, entre las obras de la antigüedad.

La exactitud con que se orientó la base con respecto a la alineación norte sur, este oeste fue de aproximadamente 6 minutos de arco como error máximo, en tanto que la base distaba de ser un cuadrado perfecto por menos de 17.78 cm.

La construcción de pirámides realmente era algo notable, si se considera que no se conocían ni el tomillo ni la polea. No había otro mecanismo que la palanca. Sin embargo, se usaba el plano inclinado, al grado de que una de las teorías predominantes de cómo se erigieron las pirámides es que se construyeron planos inclinados o rampas alrededor de la pirámide, hasta soterrarla. Al llegar a la cúspide, siguió la tarea de desenterrar la pirámide, lo que explica que con métodos simples, más una fuerza laboral ilimitada, produjeron resultados difíciles de creer. Aunque otras teorías afirman que construir esas pirámides con esa exactitud, actualmente con nuestros adelantos tecnológicos es imposible por lo que se cree que en aquel entonces recibieron ayuda de tecnologías más avanzadas que las que existen hoy. Aunque construyeron estructuras impresionantes, sólo produjeron pocas innovaciones significativas en la construcción con piedra; su fuerte fue la fuerza bruta y el tamaño.

También construyeron diques y canales, y contaban con sistemas complejos de irrigación. Cuando la tierra de regadío era más alta que el nivel del río, utilizaban un dispositivo denominado cigüeñal "shaduf" para elevar el agua hasta un nivel desde el cual se dirigía hacia la tierra. El aparato consiste en una cubeta unida mediante una cuerda al extremo largo de un palo apoyado, con un contrapeso en su extremo corto. El operador hacía fuerza en el contrapeso para levantar la cubeta y balancear el palo sobre su fulcro. Lo que parece sorprendente hoy día es que muchos de esos antiguos dispositivos sigan en uso cotidiano en Egipto.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Griega

Hacia 1400 a de J.C., el centro del saber pasó, primero a la isla de Creta y luego a la antigua ciudad de Micenas, Grecia. Sus sistemas de distribución de agua e irrigación siguieron el patrón de los egipcios, pero mejoraron materiales y labor.

Los ingenieros de este periodo se conocían mejor por el uso y desarrollo de ideas ajenas que por su creatividad e inventiva.

La historia griega comienza hacia el año 700 a. de J.C., y al periodo desde aproximadamente 500 hasta 400 a. de J.C., se le llama “Edad de Oro de Grecia”. Una cantidad sorprendente de logros significativos en las áreas del arte, filosofía, ciencia, literatura y gobierno fue la razón para que esta pequeña porción del tiempo en la historia humana ameritara nombre propio.

Aproximadamente en 440 a. de J.C., Pentes contrató arquitectos para que construyeran templos en la Acrópolis, monte rocoso que miraba a la ciudad de Atenas. Un sendero por la ladera occidental llevaba a través de un inmenso portal conocido como Los Propóleos, hasta la cima. Las vigas de mármol del cielo raso de esta estructura estaban reforzadas con hierro forjado, lo que constituye el primer uso conocido del metal como componente en el diseño de un edificio.

Las escalinatas de acceso al Partenón, otro de los edificios clásicos de la antigua Grecia, no son horizontales. Los escalones se curvan hacia arriba, al centro, para dar la ilusión óptica de ser horizontales. En la construcción actual de puentes se toma en cuenta generalmente el hecho de que los que se curvan hacia arriba dan impresión de seguridad, en tanto que los horizontales parecen pandearse por el centro.

Quienes dirigieron la construcción de esas antiguas estructuras no tenían un título que se pudiera traducir como “ingeniero”. Se les llamaba “arquitekton”, que quiere decir el que había cumplido un periodo como aprendiz en los métodos estándar de construcción de edificios públicos. Los arquitectos recibían aproximadamente un tercio más de remuneración que los albañiles. No se adiestraban en el salón de clases, de manera que su aprendizaje lo hacían en la práctica. Era íntegramente un adiestramiento “práctico”, como se llama ahora a este proceso de aprendizaje.

Hay poca duda de que Aristóteles de Estagira fue uno de los grandes genios de la historia de la humanidad. Sus contribuciones han sido algunas de las más significativas en la historia de la ciencia. Entre los historiadores hay cierta discrepancia acerca de quién fue el autor de un breve artículo intitolado “Mecánica”; aunque la mayoría de los historiadores dan el crédito a Estratón de Lámpsakos, otros lo acreditan a Aristóteles. Esta incertidumbre acerca de quién fue el autor es desafortunada, debido a que por lo general se acepta que la Mecánica fue el primer texto conocido de ingeniería. En este artículo se estudiaban conceptos tan fundamentales de la ingeniería como la teoría de la palanca. También contiene un diagrama que ilustra un tren de tres engranes mostrados como círculos, lo que constituye la primera descripción conocida de engranajes. Es más que probable que éstos no tuvieran dientes, por lo que tuvo que ocurrir mucho deslizamiento antes de que se conociera la ventaja de los dientes y la manera de producirlos.

Se puede imaginar un poco las dificultades bajo las que trabajarían los ingenieros, debido a su ignorancia técnica, por el esquema fundamental del reloj de agua de Ctesibio, en Alejandría, aproximadamente en 270 a. de J.C. Se suponía que el tiempo entre el amanecer y el ocaso era de 12 h, por lo que una hora era variable, en función de la época del año: más larga a medio verano y más corta a medio invierno.

Profesor Juan Manuel Jiménez Rodríguez, MBA

[jm.uaca@gmail.com](mailto:jm.uaca@gmail.com)

[www.uaca.funcionefectiva.com](http://www.uaca.funcionefectiva.com)



## Introducción a la Ingeniería

La mayor aportación de los griegos a la ingeniería fue el descubrimiento de la propia ciencia. Platón y su alumno Aristóteles quizás sean los más conocidos de los griegos por su doctrina de que hay un orden congruente en la naturaleza que se puede conocer. Para la existencia de la ciencia es necesario creer en un orden consistente, repetible en la naturaleza, en forma de las leyes naturales. Probablemente Aristóteles el físico más grande de este periodo de la historia; su obra constituyó cimiento de la ciencia durante los 2000 años últimos. Es probable que no se haya superado desde entonces el razonamiento abstracto de Platón, Aristóteles y Arquímedes.

Sin embargo, es necesario establecer una distinción entre sus ideas en la filosofía de la ciencia y la innovación en la ingeniería. En tanto que destacan en el razonamiento abstracto, se puede decir que sus aportaciones a la ingeniería fueron modestas. La búsqueda filosófica por la verdad, especialmente en Platón y Aristóteles, se efectuaba con un desdén olímpico para la experimentación o invención, que por su mera esencia comprendían el trabajo manual. Aristóteles creía que ese tipo de trabajo debían de hacerlo los esclavos o mecánicos básicos, a los que no se les debería otorgar la ciudadanía. A juzgar por algunos profesores de ingeniería de los Estados Unidos, esta actitud esnobista parece existir también en las facultades de matemáticas. Sin embargo, realmente tienen distintas metas, que no se pueden ignorar. Los matemáticos continuamente están demostrando de nuevo verdades antiguas y buscando nuevas verdades, en tanto que los ingenieros están ansiosos por aprender las matemáticas que existen, de manera que las puedan aplicar al mundo abitual. Este doble papel de la ciencia e ingeniería aparece ya en Grecia.

Los griegos, específicamente el tirano Dionisio, fueron los primeros que se sepa que contrataron personas para que les inventaran Máquinas bélicas. Esta práctica se ha transmitido a través del tiempo hasta la actualidad, hasta países como Estados Unidos, en que buena parte del presupuesto federal se asigna anualmente a la defensa. Todavía no se ha visto, desde el tiempo de Dionisio, una nación pueda desentenderse de los desembolsos para la defensa.

Otra razón por la que Grecia no pudo producir estructuras de ingeniería cuyas magnitudes fueran comparables a las de las sociedades de las cuencas hidrográficas fue la disminución en el uso de la fuerza laboral de esclavos para lograr tales hazañas. Los griegos desarrollaron un estudio llamado "hybris" (orgullo), que era una creencia en la necesidad de leyes morales y físicas restrictivas en la aplicación de una técnica dominada. Llegaron a creer que forzar a humanos y bestias más allá del límite para reunir y transportar monolitos de varias toneladas era inhumano e innecesario. Esos ejercicios deshumanizasteis habían llegado al máximo en Egipto, y aparecen en diversas fechas más adelante en la historia, por ejemplo en Stonehenge en Inglaterra, mil años después. Sin embargo, lo que los griegos no tuvieron en realizaciones de ingeniería lo compensaron con creces en los campos del arte, literatura, filosofía, lógica y política. Es interesante notar que la topografía, como la desarrollaron los griegos y luego los romanos, se considera como la primera ciencia aplicada en la ingeniería, y será prácticamente la única como ciencia aplicada durante los veinte siglos siguientes.

Los griegos intentaron emplear el orden disciplinado en las empresas militares. Sus ejércitos marchaban a la guerra con todas sus tropas debidamente uniformadas y llevando el paso marcado por flautas. Estaban convencidos de que un frente sólido de lanzas y escudos era superior a la precipitación de una turba. En la actualidad es difícil juzgar si fue el orden disciplinado o el armamento de acero de sus soldados, por primera vez, lo que los hizo superiores en las batallas. Obviamente, en comparación con las armas de entonces de hierro forjado o de bronce, las armas de acero ofrecían una ventaja considerable.

En 305 a. de J.C., Demetrio había producido la máquina de guerra más temible de la época: el castillete, diseñado por el ingeniero Eplmaco, de nueve pisos, con una base cuadrada que medía entre 15 y 22.5 m por lado y una altura total entre los 30 y los 45 m. Todo el equipo pesaba cerca de 82 toneladas, tenía ocho



## Introducción a la Ingeniería

inmensas ruedas con aros de hierro y lo empujaban y jalaban 3 400 soldados (acarreadores del castillete). Cada uno de los nueve pisos contenía un tanque de agua y cubetas para apagar los fuegos que lo incendiaron. Una de las defensas en contra de esa torre parece ahora haber sido bastante perspicaz, consistente en prever la trayectoria que seguiría la máquina y reunir aguas negras y de lavar, e incluso la escasa agua de beber si era necesario, para vaciarla durante la noche frente al camino. Estos castilletes eran monstruos muy poco maniobrables, de tal manera que si se arrojaba suficiente líquido a la tierra y se daba tiempo para que penetrara el agua, la torre se atascaba inevitablemente. Este es un ejemplo antiguo de la creencia común en los círculos militares contemporáneos de que para cada arma ofensiva hay al menos un arma defensiva potencialmente efectiva. El castillete fue un arma ofensiva muy usada durante años, hasta que la invención del cañón hizo que las murallas perdieran su efectividad como una línea de defensa.

Aunque a Arquímedes se le conoce mejor por lo que ahora se llama el “principio de Arquímedes”, también era un matemático y hábil ingeniero. Realizó muchos descubrimientos importantes en las áreas de la geometría plana y sólida, tal como una estimación más exacta de y leyes para encontrar los centros de gravedad de las figuras planas. También determinó la ley de las palancas y la demostró matemáticamente. Mientras estuvo en Egipto, inventó lo que se conoce como «el tornillo de Arquímedes», que consiste en una hélice encerrada dentro de un tubo y que se hace girar para levantar agua. Este dispositivo se usó extensamente siglos después en los sistemas hidráulicos y en la minería. Arquímedes también fue constructor de barcos y astrónomo. Típica de su inventiva fue una grúa que instaló en uno de sus mayores barcos, con un gancho para levantar la proa de pequeños barcos de ataque hasta vaciarlos de su contenido, para después echarlos al agua de popa. Arquímedes fue una de las grandes mentes de todos los tiempos.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Romana

Los ingenieros romanos tenían más en común con sus colegas de las antiguas sociedades de las cuencas hidrográficas de Egipto y Mesopotamia, que con los ingenieros griegos, sus predecesores. Los romanos utilizaron principios simples, el trabajo de los esclavos y tiempo para producir extensas mejoras prácticas para el beneficio del Imperio Romano. En comparación con las de los griegos, las contribuciones romanas a la ciencia fueron limitadas; sin embargo, sí abundaron en soldados, dirigentes, administradores y juristas notables. Los romanos aplicaron mucho de lo que les había precedido, y quizá se les puede juzgar como los mejores ingenieros de la antigüedad. Lo que les faltaba en originalidad lo compensaron en la vasta aplicación en todo un imperio en expansión.

En su mayor parte, la ingeniería romana era civil, especialmente en el diseño y construcción de obras permanentes tales como acueductos, carreteras, puentes y edificios públicos. Una excepción fue la ingeniería militar, y otra menor, por ejemplo, la galvanización. La profesión de "architectus" era respetada y popular; en efecto, Druso, hijo del emperador Tiberio, era arquitecto.

Una innovación interesante de los arquitectos de esa época fue la reinención de la calefacción doméstica central indirecta, que se había usado originalmente cerca de 1200 a. de J.C., en Beycesultan, Turquía. La invención original ocurrió 'cuando debido a la falta de comunicaciones y de protección a las patentes, a veces tenían que reinventarse los inventos importantes antes de que formaran parte permanente de la tecnología. Pero, es bastante extraño que después de la caída del Imperio Romano no volviera a aparecer la calefacción doméstica central indirecta sino hasta tiempos modernos.

Uno de los grandes triunfos de la construcción pública durante este periodo fue el Coliseo, que fue el mayor lugar de reunión pública hasta la construcción del Yale Bowl en 1914.

Los ingenieros romanos aportaron mejoras significativas en la construcción de carreteras, principalmente por dos razones: una, que se creía que la comunicación era esencial para conservar un imperio en expansión, y la otra, porque se creía que una carretera bien construida duraría mucho tiempo con un mínimo de mantenimiento. Se sabe que las carreteras romanas duraban hasta cien años antes de que necesitaran reparaciones mayores. Es apenas hasta fechas recientes que la construcción de carreteras ha vuelto a la base de "alto costo inicial - poco mantenimiento".

Quizá el triunfo más conocido en la construcción de carreteras de la antigüedad es la Vía Apia, que se inició en 312 a. de J.C., y fue la primera carretera importante recubierta de Europa. Al principio, la carretera medía 260 km e iba desde Roma hasta Capua, pero en 244 a. de J.C., se extendió hasta Brindisi, siendo entonces una obra tan prestigiada, que ambos lados del camino a la salida de Capua estaban flaqueados por los monumentos funerarios de los aristócratas.

En Roma había tráfico pesado por aquellas fechas. En una ocasión, Julio César ordenó que ningún vehículo de cuatro ruedas circulara por las calles de la ciudad, con la esperanza de proporcionar una solución parcial a los problemas del tránsito. En los mejores tiempos del Imperio Romano, el sistema de carreteras tenía aproximadamente 29 000 Km., entre el Valle del Eufrates y la Gran Bretaña. En comparación con los anteriores, los acueductos romanos eran mayores y más numerosos. Casi todo lo que se sabe actualmente del sistema romano de distribución de aguas proviene del libro De Aquis Urb'is Romae de Sexto Julio Frontino, quien fue Autor Aquarum de Roma, de 97 a 104 a. de J.C., Frontino llevaba registros de la utilización del agua, que indican que el emperador usaba el 17% , el 39% se usaba en forma privada, y el 44% en forma pública. Se

Profesor Juan Manuel Jiménez Rodríguez, MBA

[jm.uaca@gmail.com](mailto:jm.uaca@gmail.com)

[www.uaca.funcionefectiva.com](http://www.uaca.funcionefectiva.com)



## Introducción a la Ingeniería

calcula que en Roma diariamente se consumían entre 380 y 1 100 millones de litros de agua. La fracción del 44% para uso público estaba subdividida adicionalmente en 3% para los cuarteles, el 24% para los edificios públicos, incluidos once baños públicos, 4% para los teatros, y 13% para las fuentes. Había 856 baños privados a la fecha del informe. En todo caso, la administración del agua en Roma era una tarea considerable e importante. Gran parte del agua que supuestamente debería entrar a la ciudad jamás lo hizo, debido a las derivaciones que tenían escondidas los usuarios privados. Ya desde los tiempos de los romanos, las tomas de agua eran un problema.

Los acueductos romanos se construyeron siguiendo esencialmente el mismo diseño, que usaba arcos semicirculares de piedra montados sobre una hilera de pilares. Cuando un acueducto cruzaba una cañada, con frecuencia requería niveles múltiples de arcos. Uno de los mejor conservados de la actualidad es el Pont du Gard en Nimes, Francia, que tiene tres niveles. El nivel inferior también tenía una carretera.

Los romanos usaron tubería de plomo y luego comenzaron a sospechar que no eran salubre. Sin embargo, el envenenamiento por plomo no se diagnosticó específicamente sino hasta que Benjamín Franklin escribió una carta en 1768 relativa a su uso.

El emperador Claudio hizo que sus ingenieros intentaran en 40 d. de J.C., drenar el lago Facino a través de un túnel, usando el desagüe para irrigación. En el segundo intento por vaciar el lago, el flujo de salida fue mucho mayor que lo esperado, con el resultado de que se perdieran unas cuantas mesas de picnic con sus comensales correspondientes, lo que hizo enojar mucho a la esposa del emperador. Más tarde, pensando en que el emperador podría castigarla por su arranque de enojo, decidió envenenarlo con excremento de sapo.

Se cree que una de las primeras alquimistas de la era, 'una mujer conocida como Maria la Judía, fue quien inventó el filtro. En todo caso, ofreció la primera descripción registrada del brebaje.

Un libro de Atenaios, intitulado Mecánikos, estudia las máquinas de asedio, puentes colgantes, arietes, testudos, torres y otros dispositivos semejantes. Eran mejoras en el arsenal militar de su tiempo. Hacia 100 d. de J.C., uno de los mejores autores técnicos de todos los tiempos, Herón de Alejandría, produjo manuscritos de ingeniería intitulados Mecánica, Neumática, Arte del asedio, Fabricación de autómatas, El tránsito del topógrafo, y Medición y espejos. Fue un escritor técnico prolífico. También desarrolló una máquina de vapor, o «eolipila», que funcionaba en base al principio de la reacción, semejante al de un rociador giratorio de jardín.

Aproximadamente en 200 d. de J.C., se inventó un ariete llamado "ingenium" para atacar las murallas. Muchos años después se llamó al operador del ingenium, "ingeniator", que muchos historiadores creen que fue el origen de la palabra ingeniero.

La ingeniería romana declinó después de 100 d. de J.C., y sus avances fueron modestos. Un factor que se cree que contribuyó a la caída del Imperio Romano, aproximadamente en 476 d. de J.C., fue que en tanto que la ciencia e ingeniería romanas se habían estancado durante este periodo, no sucedía igual con los bárbaros del norte. Otro factor que retrasó el crecimiento en la ciencia e ingeniería fueron unas leyes puestas en vigor cerca de 301 d. de J.C., y que Diocleciano pretendía que fueran reformas al control de precios y salarios, y leyes que obligaban a todo hombre del imperio a seguir el oficio de su padre. Esto se hizo, al menos en parte, con la esperanza de proporcionar estabilidad económica.

Una innovación durante este periodo fue la invención del alumbrado público en la ciudad de Antioquía, aproximadamente hacia el año 300 d. de J.C.



## Introducción a la Ingeniería

La caída de Roma es sinónimo del fin de los tiempos antiguos. En el tiempo que siguió, el periodo medieval, la legislación de castas y la influencia religiosa retardaron considerablemente el desarrollo de la ingeniería. Muchos historiadores llaman "El Oscurantismo" al periodo de 600 a 100 d. de J.C. Durante este lapso dejaron de existir la ingeniería y arquitectura como profesiones.

En el siglo XIII, Santo Tomás de Aquino argumentó que ciencia y religión eran compatibles. Ghazzali, erudito en ciencia y filosofía griegas, llegó a la conclusión de que la ciencia alejaba a las personas de Dios, por lo que era mala. Los europeos siguieron a Santo Tomás, en tanto que el Islam siguió a Ghazzali. En medida, esta diferencia en filosofía es la que subyace al tan distinto desarrollo técnico en estas dos culturas. En la actualidad no se acepta universalmente que ninguno de esos grandes estudiosos tuviera la razón. Sin embargo, es indudable que durante siglos Europa ha disfrutado de superioridad técnica en el mundo, con las ventajas que ello supone, en tanto que el desarrollo técnico en la cultura del Islam ha sido limitado.

En los años que siguieron de inmediato a la caída del Imperio Romano, el liderazgo técnico pasó a la capital bizantina de Estambul. Durante los diez siglos siguientes fue con elevadas murallas hasta de 13 metros de altura en algunos lugares como se mantuvo a raya a los bárbaros.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Oriental

Después de la caída del Imperio Romano, el desarrollo ingenieril se trasladó a India y China. Los antiguos hindúes eran diestros en el manejo del hierro y poseían el secreto para fabricar buen acero desde antes de los tiempos de los romanos. Austria e India fueron los dos centros siderúrgicos principales cuando estaba en su apogeo el Imperio Romano. Más tarde, los forjadores sirios usaron lingotes de acero indio en Damasco para forjar las hojas de espadas damasquinas. Era uno de los pocos aceros verdaderamente superiores de entonces. Durante unos dos siglos, la capital mundial de la ciencia fue Jundishapur, India.

Aproximadamente en 700 d. de J.C., un monje de Mesopotámica llamado Severo Sebokht dio a conocer a la civilización occidental el sistema numérico indio, que desde entonces hemos llamado números arábigos.

Una de las más grandes realizaciones de todos los tiempos fue la Gran Muralla de China. La distancia de un extremo a otro del muro es de aproximadamente 2 240 Km.; sin embargo, hay más de 4 080 Km. de muro en total. Casi toda la muralla tiene aproximadamente 10 m de altura, 8 m de espesor en la base, y se reduce hasta aproximadamente 5 m en la parte superior. A lo largo de esta parte corre un camino pavimentado.

La muralla tiene 25 000 torres en su parte principal y otras 15 000 torres separadas de la muralla principal. Su altura no era suficiente para evitar que la escalaran los invasores, pero tenían que dejar sus caballos frente a la misma. Sin caballos, no podían hacer frente a los guardianes locales que iban montados, por lo que más frecuentemente, los invasores ya se sentían contentos de poder regresar hasta donde los esperaban sus monturas.

China ha tenido canales desde hace miles de años. La mayoría de ellos tiene el tamaño adecuado para la irrigación, pero no para la navegación, además de que en ese tiempo no se conocían las esclusas. Sí utilizaban compuertas, pero tenían valor limitado. Después de 3000 años, la longitud del sistema de irrigación chino es de más de 320 000 km. El canal más largo, el Yunho o Gran Canal, tiene 1 920 Km. y corre desde Tientsin hasta Hangchow; su construcción requirió de mil años. Este es uno de esos ejemplos de determinación y paciencia orientales sin límite de tiempo.

Los chinos fueron de los primeros constructores de puentes, con características únicas. Algunos de sus puentes más antiguos fueron de suspensión, con cables hechos de fibra de bambú; lograron uno de los inventos más importante de todos los tiempos, el papel. Aproximadamente en 105 d. de J.C., Tsai Lun escribió un informe a su emperador sobre un procedimiento para hacer papel, y se le reconoció el mérito. El bloque de grabado se usó posteriormente en el siglo X, en el reinado de Shu, para producir el primer papel moneda del mundo.

Se cree que los chinos inventaron la pólvora. Es irónico que esta invención china, junto con el cañón, eliminara las murallas.

Los chinos desarrollaron maquinaria de engranaje desde fechas muy antiguas. Algunos historiadores creen que hacia el año 400 a. de J.C., había engranajes en China. Los chinos fueron los primeros en inventar mecanismos de escape para los relojes. Hacia 1500 d. de J.C., Peter Henlein de Nuremberg, Alemania, inventó el reloj de cuerda. Maximiliano I de Baviera bromeaba hacia 1800: “Si queréis pasar apuros, comprad un reloj.” Los primeros relojes pequeños medían aproximadamente lo que un despertador actual, colgaban de una cadena y sólo tenían una manecilla.



## Introducción a la Ingeniería

Otro descubrimiento importante de los chinos fue la brújula, que rápidamente se extendió, para ser de uso común alrededor de 1200 d. de J.C.

Luego los árabes aprendieron de los chinos el método de fabricación del papel, y lo produjeron en grandes cantidades. A partir de entonces aumentó notablemente la comunicación de las ideas. La química progresó mucho como ciencia en Arabia y también se aprendió y extendió con rapidez el proceso para hacer pólvora. El invento de Gutenberg del tipo móvil en Alemania fue otro paso gigantesco en las mejores comunicaciones. A partir de entonces, fue posible diseminar el conocimiento sin tener que hacer la copia a mano. La extensión de la diseminación del conocimiento permitida por la imprenta fue una condición necesaria preliminar para los múltiples avances que han seguido.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Europea

Después de la caída de Roma, el conocimiento científico se dispersó entre pequeños grupos, principalmente bajo el control de órdenes religiosas. En el Oriente, empezó un despertar de la tecnología entre los árabes, pero se hizo muy poco esfuerzo organizado para realizar trabajo científico. Por el contrario, fue un período en el cual individuos aislados hicieron nuevos descubrimientos y redescubrieron hechos científicos conocidos antes.

Fue durante este período cuando se usó por primera vez la palabra Ingeniero. La historia cuenta que alrededor del año 200 D.C se construyó un ingenio, una invención, que era una especie de catapulta usada en el ataque de las murallas de defensa de las ciudades. Cientos de años después sabemos que el operador de tal máquina de guerra era el Ingeniator, el origen de nuestro título moderno: **El Ingeniero**.

Un historiador afirma: «la principal gloria de la Edad Media no fueron sus catedrales, su épica o su escolástica: fue la construcción, por primera vez en la historia, de una civilización compleja que no se basó en las espaldas sudorosas de esclavos o peones sino primordialmente en fuerza no humana»(10). Esto porque la revolución medieval de la fuerza y la potencia es uno de los desarrollos más dramáticos e importantes de la historia. Obviamente que un estímulo para este desarrollo fue la decadencia de la institución de la esclavitud y el continuo crecimiento del cristianismo.

Las principales fuentes de potencia fueron la fuerza hidráulica, el viento y el caballo, que se concretaron en las ruedas y turbinas hidráulicas, los molinos de viento y las velas, las carretas y los carruajes.

Además se hicieron otros avances técnicos como el uso del carbón de leña y el soplo de aire para fundir el hierro eficientemente. Otro avance fue la introducción, desde China, del papel y la pólvora por los árabes, así como las ciencias de la química y la óptica que ellos desarrollaron.

Sin duda el uso del papel, la invención de la imprenta y la brújula, junto con las posibilidades de navegación, contribuyeron a la dispersión del conocimiento.

El cristianismo hizo desarrollar la construcción en expresiones tan maravillosas y sacras como las catedrales góticas y el Islam las construcciones y mezquitas de los moros. Los ingenieros medievales elevaron la técnica de la construcción, en la forma del arco gótico y los arbotantes, hasta alturas desconocidas por los romanos.

Vías, puentes, canales, túneles, diques, puertos, muelles y máquinas se construyeron en la Edad Media con un conocimiento que todavía persiste en la actualidad. El libro de bosquejos del ingeniero francés Villard de Honnecourt revela un amplio conocimiento de las matemáticas, la geometría, las ciencias naturales y la artesanía.

De esos tiempos data una máquina tan maravillosa como el reloj mecánico, que iría a influir tan marcadamente en la civilización moderna. En Asia la ingeniería también avanzó con complejas técnicas de construcción, hidráulica y metalurgia, que ayudaron a crear civilizaciones como la del imperio Mongol, cuyas grandes y bellas ciudades impresionaron a Marco Polo en el siglo XIII.



# Introducción a la Ingeniería

## La Ingeniería Moderna

Luego de repasar el nacimiento de la ingeniería en las culturas antiguas, a fin de comprender la evolución de esta rama del desempeño humano, puede entonces entenderse la historia moderna de la Ingeniería, impulsada por el descubrimiento de la imprenta de tipos móviles, por Gutenberg a mediados del siglo XV, y el uso del papel desarrollado por los chinos y llevado a Europa por los Árabes, lo cual permitió la rápida difusión de las ideas y los conocimientos.

En esta época aparece la primera división de la ingeniería en especialidades: el ingeniero militar y el ingeniero civil. El primero dedicado al desarrollo y construcción de sistemas de defensa para las ciudades y la fabricación de implementos de ataque; el segundo tenía por tarea la solución de problemas relacionados con la ciudad, con la "CIVIS", el diseño de caminos, puentes, edificios, sistemas de alcantarillado y agua potable.

Durante los siglos XVIII y XIX hay un fuerte desarrollo de la ciencia y el método científico, pero su aplicación aún es muy débil. Durante este período se realizan importantes innovaciones en las máquinas textiles. En el siglo XIX dos importantes desarrollos, la refinación del hierro y la máquina de vapor, ayudan al impulso de la revolución industrial, que a su vez obliga a un intenso avance de la tecnología. En esta época comienza un acelerado desarrollo de la ciencia y de la ingeniería. Ahora el conocimiento no es rechazado como lo había sido en los siglos pasados.

Las Universidades comienzan a impartir más y más cursos de ciencia e ingeniería, lo que resultó en gente preparada para hacer aún más contribuciones que se proyectaron al siglo veinte. A fines del siglo pasado, se empezó a dar una estrecha cooperación entre ciencia e ingeniería, lo que impulsó aún más el desarrollo de nuevos conocimientos científicos y tecnológicos. Ya en este siglo, nadie discute de la importancia de los científicos, técnicos, ingenieros, como parte importante en el desarrollo de las sociedades.

La aparición de las especialidades de ingeniería en los últimos 150 años se ha debido justamente al avance de las ciencias. Si primero se tenía la ingeniería civil y militar, al final del siglo pasado y comienzos de éste, aparecen el ingeniero mecánico, el eléctrico, ingeniero industrial, ingeniero químico, ya más reciente el ingeniero electrónico, ingeniero nuclear, ingeniero bioquímico, ingeniero de transportes y el informático. Esto se ha debido obviamente a que el avance del conocimiento por un lado y la complejidad de los problemas, a resolver, por otro, sean de tal magnitud, que hace imposible que con un solo cuerpo disciplinario aplicado por un solo hombre se puedan resolver problemas en forma práctica. Si bien los métodos de la ingeniería y sus bases son generales para cualquier especialidad, se hace necesario, por las limitaciones del género humano, formar diversos especialistas, pero que son capaces de comunicarse para poder trabajar en equipos, que es la manera moderna de abordar los problemas a resolver por los ingenieros y otros profesionales.



# Introducción a la Ingeniería

## Qué es la ingeniería?

El estudio de la ingeniería es la plataforma mediante la cual puede mejorarse todo sistema. Uno de los objetivos fundamentales de los ingenieros, consiste en adaptar la tecnología para ofrecer soluciones que satisfagan necesidades humanas. Esto generalmente implica construir o diseñar un dispositivo que alcance una meta que anteriormente no pudo alcanzar, o que no fue finalizada tan rápida, exacta o con la seguridad que se deseaba.

La Real Academia Española define la ingeniería como el estudio y aplicación, por especialistas, de las diversas ramas de la tecnología. Sus practicantes son los ingenieros. Etimológicamente, la palabra ingeniero proviene de la palabra ingenio, que significa (máquina, artificio) que, a su vez, proviene del latín ingenium, que significa facultad de razonar con prontitud y facilidad.

En la ingeniería, el conocimiento, manejo y dominio de las matemáticas y física, obtenido mediante estudio, experiencia y práctica, se aplica con juicio para desarrollar formas eficientes de utilizar los materiales y las fuerzas de la naturaleza para beneficio de la humanidad y del ambiente.

Es un arte<sup>1</sup> que requiere del juicio necesario para la adaptación del conocimiento o sus prácticas, de la imaginación para conseguir soluciones originales a problemas concretos y de la habilidad de predecir el desempeño y el costo de nuevos procesos.

Pese a que la ingeniería como tal (transformación de la idea en realidad) está intrínsecamente ligada al ser humano, su nacimiento como campo de conocimiento específico viene ligado al comienzo de la revolución industrial, constituyendo uno de los actuales pilares en el desarrollo de las sociedades modernas.

En general, se puede establecer que las funciones del ingeniero son:

- Investigación: Búsqueda de nuevos conocimientos y técnicas, de estudio y en el campo laboral.
- Desarrollo: Empleo de nuevos conocimientos y técnicas.
- Diseño: Especificar las soluciones.
- Producción: Transformación de materias primas en productos.
- Construcción: Llevar a la realidad la solución de diseño.
- Operación: Proceso de mantenimiento y administración para optimizar productividad.
- Ventas: Ofrecer servicios, herramientas y productos.
- Administración: Participar en la resolución de problemas. Planificar, organizar, programar, dirigir y controlar la construcción y montaje industrial de todo tipo de obras de ingeniería.

---

<sup>1</sup> Virtud, disposición y habilidad para hacer algo, como primera acepción, o el conjunto de preceptos y reglas necesarios para hacer bien algo, como segunda acepción.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Civil

La Ingeniería Civil es la rama de la Ingeniería que aplica los conocimientos de Física, Química y Geología a la elaboración de infraestructuras, principalmente edificios, obras hidráulicas y de transporte, en general de gran tamaño y para uso público. Tiene también un fuerte componente organizativo, que logra su aplicación en la administración del ambiente urbano, principalmente, y rural, no solo en lo referente a la construcción, sino también, al mantenimiento, control y operación de lo construido, así como en la planificación de la vida humana en el ambiente diseñado desde la ingeniería civil. Esto comprende planes de organización territorial tales como prevención de desastres, control de tráfico y transporte, manejo de recursos hídricos, servicios públicos, tratamiento de basuras y todas aquellas actividades que garantizan el bienestar de la humanidad que desarrolla su vida sobre las obras civiles construidas y operadas por ingenieros.

Debido a la gran importancia de estas infraestructuras para el desarrollo de un Estado, esta rama de la ingeniería está reconocida en todos los países, independientemente del nombre concreto que se dé a su titulación. En las diferentes universidades se imparten especialidades, según sean las necesidades del país en primera instancia y del mercado en segunda instancia.

Se podría decir que la ingeniería civil comenzó cuando los humanos empezaron a ingeniar artículos para su vida cotidiana. Los primeros hombres utilizaron algunos principios de la ingeniería para conseguir sus alimentos, pieles y construir armas de defensa como hachas, puntas de lanzas, martillos etc. El desarrollo de la ingeniería comenzó con la revolución agrícola (año 8000 AC) cuando las tribus dejaron de ser nómadas para cultivar sus productos y criar animales comestibles. Hacia el año 4000 AC, con los asentamientos alrededor de los ríos Nilo, Éufrates e Indo, se inició la civilización con escritura y gobierno.

Hasta épocas relativamente recientes, bajo el término arquitecto se englobaba a la persona que dominaba los conocimientos arquitectónicos, estructurales, geológicos, hidráulicos, etc., necesarios para la construcción de las obras civiles, militares y máquinas de las distintas épocas; comulga con esta visión los 10 libros de Marco Vitruvio (siglo I AC) "De Architectura", en los que se tratan temas hoy día asociados a la moderna arquitectura, la ingeniería civil, militar y mecánica. Es tras el Renacimiento cuando el desarrollo del conocimiento y las nuevas demandas sociales obligan a la especialización de las ramas. Puede decirse que fue la necesidad quien hizo a los primeros ingenieros civiles de la historia.

La ingeniería civil contemporánea tiene su origen entre los siglos XIX y XX, con el desarrollo de modelos matemáticos de cálculo. Los trabajos de Castigliano, Mohr o Navier entre otros, permitieron abordar analíticamente los esfuerzos internos que se producían en estructuras, caudales y suelos a las que éstas eran sometidas para estimar sus magnitudes. Esto permitió el diseño eficiente de obras civiles.

Algunas ramas o sub áreas de la ingeniería civil que se pueden citar son:

- Rama Estructural: se encarga de estimar la resistencia mínima de elementos sometidos a cargas vivas, cargas muertas y cargas eventuales (sismos, vientos, nieve, etc.), procurando un estado de servicio mínimo al menor costo posible.
- Rama Geotécnica: La ingeniería geotécnica se encarga de estimar la resistencia entre partículas del manto terrestre de distinta naturaleza, granulometría, humedad, cohesión, y de las propiedades de los

## Introducción a la Ingeniería

suelos en general, con el fin de asegurar la interacción suelo con la estructura. Además realiza el diseño de la fundación o soporte para edificios, puentes, etc.

- Rama Hidráulica: también conocida como ingeniería de recursos de agua y es una de las ramas más antiguas de la ingeniería civil, ya que está presente desde los romanos tradicionales. Se ocupa de la proyección y ejecución de obras relacionadas con el agua, sea para su uso, como en la obtención de energía hidráulica, la irrigación, potabilización, canalización, u otras, sea para la construcción de estructuras en mares, ríos, lagos, o entornos similares, incluyendo, por ejemplo, diques, represas, canales, puertos, muelles, rompeolas, entre otras construcciones. También hace referencia a las maquinas hidráulicas.
- Rama de Transporte e Infraestructura Vial: es una especialidad de la profesión de ingeniería, basada en la aplicación de las ciencias físicas, matemáticas, la técnica y en general el ingenio, en beneficio de la humanidad. Se encarga del diseño de estructuras de transporte civil, de las carreteras y elementos necesarios para un adecuado transporte de personas y materiales. Se entiende por Ingeniería de Transportes y Vías, el conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas, prácticas profesionales, principios y valores, necesarios para satisfacer las necesidades sociales sobre movilidad de personas y bienes.
- Gerencia e Ingeniería de Construcción: Es la rama de la ingeniería civil que se encarga de realizar las estimaciones de cuánto costará determinado proyecto, del tiempo que tardará en realizarse una obra, de tramitar los permisos correspondientes al momento de iniciar un proyecto, de elaborar contratos entre propietario e ingeniero, de realizar inspecciones para corroborar que todo se haga de acuerdo a los planos y especificaciones predeterminados, de realizar el calendario de actividades por el cual se registrará el contratista para realizar la obra, de realizar la gerencia del proyecto entre otros aspectos.

Sus campos de aplicación son muy variados:

- Infraestructuras del transporte: Aeropuertos, Autovías, Carreteras, Vías férreas, Puertos, Puentes, Redes de transporte urbano.
- Las obras hidráulicas: Alcantarillado, Azudes, Canales para el transporte de agua potable o regadío, Canales de navegación, Canalizaciones de agua potable, Centrales hidroeléctricas, Depuradoras, Diques, Esclusas, Muelles, Presas.
- La intervención sobre problemas de estabilidad del terreno: las estructuras que componen las obras sobre Terraplenes, Desmontes, Obras de contención de terreno, Túneles, Zapatas, Pilares, Vigas, Estribos de puentes.

En general, las obras de Ingeniería Civil implican el trabajo una gran cantidad de personas (en ocasiones cientos y hasta miles) a lo largo de lapsos que abarcan desde unas pocas semanas o meses hasta varios años. Debido al elevado coste de los trabajos que se acometen, buena parte de los trabajos que se realizan son para el Estado, o bien para grandes compañías que pretenden la explotación de una infraestructura a largo plazo (autopistas y túneles de peaje, compañías de ferrocarril, etcétera). Sin embargo, sus técnicas son también aplicadas para obras semejantes a las anteriores pero de más pequeña escala, como podrían ser:

- La contención de un terreno difícil en la excavación para la cimentación de un edificio.



## Introducción a la Ingeniería

- La ejecución de la estructura de un edificio.
- El diseño y ejecución de los sistemas de distribución de agua potable y alcantarillado de una pequeña población (incluyendo las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP), equipos de bombeo, estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR), etc.
- El diseño y urbanización de las calles de una pequeña población.

Además, son también competencia de un Ingeniero Civil:

- La planificación, diseño y control de los sistemas de transporte urbano, incluyendo el diseño de intercambiadores y la creación de nuevas líneas o modificación de las existentes.
- Adopción de nuevos sistemas de transporte que no existan en ese momento, como líneas de metro o metro ligero (más comúnmente conocido como tranvía).
- Planificación, ejecución y administración de plantas de tratamiento o incineración de residuos y vertederos.
- Labores auxiliares de ingeniería (control de calidad, ensayos de laboratorio, supervisión de temas de seguridad y salud).
- Mantenimiento de todas las anteriores

De esta forma, un Ingeniero Civil no se limita a las grandes obras de infraestructura, muy raras debido a su elevado coste.

Los conocimientos necesarios para ejercer de ingeniero civil son:

- Conocimientos de cálculo de esfuerzos en estructuras ante diferentes solicitaciones (comportamiento de las vigas de un puente ante el paso de un tren, de una presa ante la presión hidrostática del agua que retiene, de una zapata al transmitir el peso de la estructura que sustenta al terreno).
- Conocimientos de los materiales que se utilizarán en la ejecución de la obra (resistencia, peso, envejecimiento, etc.).
- Conocimientos del comportamiento del terreno ante las solicitudes de las estructuras que se apoyen en él (capacidad portante, estabilidad ante dichas solicitudes, etc.).
- Conocimientos de Hidrología para el cálculo de avenidas o caudales para el diseño de presas o azudes, dimensionamiento de luces de puentes, etc.
- Conocimiento de técnicas de cálculo de aforos para el dimensionamiento de las carreteras, etc.
- Conocimiento de los procedimientos, técnicas y maquinaria necesarios para la aplicación de los conocimientos anteriores.



## Introducción a la Ingeniería

En general, existe un gran número de posibles soluciones técnicas para un mismo problema y muchas veces ninguna de ellas es claramente preferible a otra. Es la labor de un Ingeniero Civil conocer todas ellas, para descartar las menos adecuadas y estudiar únicamente aquellas más prometedoras, ahorrando así tiempo y dinero. Es también labor del Ingeniero Civil el conocimiento de las posibles formas de ejecución de la solución adoptada o de la maquinaria disponible para ello. Debe, además, tener los conocimientos necesarios para evaluar los posibles problemas que se puedan presentar en la obra y adoptar la decisión correcta, considerando, entre otros, aspectos de carácter social y medio ambiental.

Por todo ello, además de una sólida formación, es vital en la labor de un Ingeniero Civil una dilatada experiencia laboral, que le permita reconocer a simple vista el problema y adoptar soluciones que hayan demostrado su fiabilidad en el pasado.

El trabajo de un Ingeniero Civil comienza al advertirse una determinada necesidad (un nuevo dique en un puerto, la ampliación o construcción de una carretera, una presa que dé continuidad y estabilidad al caudal de un río...). En esta etapa de planificación, los ingenieros civiles trabajan en forma integrada con otros profesionales y autoridades nacionales o locales con poder de decisión.

Entra entonces el trabajo de recopilación de los datos necesarios para el diseño de una solución a dicha necesidad, datos que pueden ser topográficos (medición de la superficie real del terreno), hidrológicos (pluviometría de una cuenca, caudal de un río, etc.), estadísticos (aforos de las carreteras o calles existentes, densidades de población), etcétera.

Para esta finalidad los diseños de las obras y sistemas más complejos se hacen en varias etapas. La primera etapa denominada de pre-factibilidad, se encarga de analizar el mayor número de soluciones posibles. Es en esta etapa en la cual los organismos competentes decidirán por ejemplo: el emplazamiento de un puerto, el trazado general de una carretera o tomarán la decisión respecto a si construir una vía férrea para transporte de minerales o un mineroducto. Para la toma de decisiones se consideran, entre otros, los siguientes puntos de vista: dificultad de la obra; costo de la obra; impacto ambiental producido por la obra. El estudio de pre-factibilidad involucra un equipo multidisciplinar de técnicos, donde además de ingenieros civiles participan ingenieros eléctricos, mecánicos, geólogos, economistas, sociólogos, ecologistas. Como resultado de esta fase se escogen 2 ó 3 soluciones para detallarlas en la etapa siguiente.

En la siguiente etapa, llamada factibilidad técnico- económica, ya se avanza mucho en los detalles constructivos, en la determinación de los costos, en el cronograma de construcción y en el flujo de caja necesario para la ejecución de la obra. En esta etapa tienen mucho peso las investigaciones de campo para detectar dificultades específicas relacionadas con la geología de las áreas en las que se intervendrá, y se detallarán los impactos ambientales, incluyendo tanto la parte física como la biótica y la social. En general es en esta fase que se escoge la solución definitiva, que será detallada en la etapa de diseño definitivo o proyecto ejecutivo.

Viene entonces el trabajo real sobre el terreno: acondicionar éste para que sea capaz de soportar las estructuras que se van a construir sobre él (llegándose en ocasiones a sustituir el terreno por otro de mayor capacidad portante si el existente no cumple las condiciones necesarias), movimientos de tierras (desmontes y terraplenes), construcción de las estructuras (pilotes, zapatas, pilares, estribos, vigas, muros de contención...)...

Sin embargo, todos estos pasos rara vez se dan de forma fluida ni, mucho menos, competen a un mismo equipo de Ingeniería. Así, a menudo son los ingenieros de la Administración correspondiente los que detectan



## Introducción a la Ingeniería

la necesidad que se tratará de solventar, mientras que en otras ocasiones la obra viene incluida dentro de un plan de actuación político (no siempre con una clara justificación técnica).

Si la obra a acometer es de gran envergadura la Administración no la ejecuta, sino que sus ingenieros elaboran un anteproyecto que es sacado a subasta pública. Entonces son los ingenieros de las diferentes empresas constructoras los que, a partir de las prescripciones técnicas del anteproyecto, elaboran diferentes alternativas. Las alternativas ofrecidas por las constructoras pueden ser muy distintas al anteproyecto y entre sí, pues cada empresa hace uso de la maquinaria y procedimientos que le son más conocidos, y la Administración elegirá la más barata de las opciones que cumplan las exigencias.

Los ingenieros que lleven a cabo la obra no tienen por qué ser (ni, generalmente, son) los que la hayan diseñado. La empresa constructora puede decidir también subcontratar diferentes trabajos a otras empresas, con lo que puede llegar a haber a diferentes empresas para una misma obra (una ejecuta los movimientos de tierras, otra las estructuras de hormigón...) cada una con su correspondiente departamento de Ingeniería y su correspondiente equipo de Ingenieros en obra.

Muy a menudo, debido a lo imprevisible del terreno se producen problemas a pie de obra que obligan a realizar modificaciones en el proyecto; en otras ocasiones la Administración puede decidir variar algunas condiciones o exigencias a medida que la obra se desarrolla y se observan problemas o posibilidades que no se habían estudiado o que en el momento en que se elaboró el anteproyecto no se consideraron importantes. Puede ocurrir que una nueva infraestructura obligue a hacer modificaciones o surja la posibilidad de que dos obras diferentes, construidas por empresas diferentes (por supuesto con diferentes equipos de Ingenieros) sean ejecutadas en conjunto.

Todo esto puede dar idea de la gran cantidad de variables que afectan al trabajo de Ingeniería Civil. Por suerte, las obras de gran envergadura son raras, y más frecuentemente el Ingeniero Civil se limita a la supervisión de la obra y a la toma de decisiones concretas en problemas concretos que no afectan al desarrollo o presupuesto general de la obra. Así, trabajos como la contención de un terreno de características habituales, la colocación de una viga pretensada o la ejecución de un firme son trabajos rutinarios que no implican cambios significativos en el proyecto.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Industrial

En la definición de los Sistemas, el Sistema Humano se va desarrollando de manera tardía, pues los otros sistemas se van dando de manera experimental o práctica. Es por ello que la Ingeniería de los sistemas de la actividad Humana aparece en los talleres y fábricas, donde su aplicación del "método científico" se da dentro de los Sistemas y la Ciencia. Aquí toma el nombre de "Ingeniería Industrial" por su papel en la Industria, como le llamo [ámbito de las Producciones Terminales: Productos - Servicios con la relación al Hombre - Máquina].

Fue Federico Winslow Taylor (1856 - 1915) quien estudio al factor humano como a la mecánica y a los materiales dentro de un sistema de producción. Se le considera el padre moderno del estudio de los tiempos en Estados Unidos. Hace de la administración una ciencia. Empezó como un operario, escalando posiciones hasta llegar a la gerencia. Empezó su trabajo de tiempos en 1881 y en 1883 desarrolló un sistema basado en el concepto de "tarea". En el concepto de tarea se propone que la administración de una empresa debe asignarle el trabajo al empleado por escrito especificándole el método, los medios y el tiempo requeridos para el trabajo. Durante su trabajo se especificó en dos áreas de trabajo. Una operativa y otra organizacional.

En Nivel Operativo: (1903) Tuvo en cuenta los siguientes principios: Asignar al trabajador la tarea más pesada posible. Nunca producir por debajo de un estándar definido. Busca incentivo en la remuneración. Elimina desperdicios de costos y materiales. Fija una base para mejorar el trabajo.

Estudia los niveles de Organización: (1911). Busca resolver la holgazanería sistemática. Los métodos empíricos ineficientes. Sistemas imperfectos por la ociosidad en el trabajo. Desconocimiento por parte de la gerencia de los procedimientos. Falta de información en las técnicas. En 1903 presenta su artículo "Shop Management" (Administración del Taller), en la cual se plantean los fundamentos de la administración científica. La implementación del estudio de tiempos para optimizar procesos. La supervisión funcional o dividida con la cual se lograba un mejor control sobre los operarios y dándole una solución más eficaz a los diferentes problemas presentados.

La estandarización de las herramientas e implementos, así como las acciones y movimientos de los obreros. Logrando una producción más uniforme. La necesidad de un departamento de planificación, para esbozar los procedimientos a llevar a cabo y prever posibles problemas y sus soluciones. El uso de leyes de cálculo para hacer mejores planificaciones y procesos ahorrando tiempo. Tarjetas de instrucciones para el trabajador (Concepto de tarea), acompañado de bonificaciones al trabajador cuando este realiza su tarea exitosamente.

Un sistema de rutas y trayectoria con el cual se busca hacer una mejor organización física de la empresa, disminuyendo los tiempos de transporte de materiales y utilizando un moderno sistema de costos. Su teoría hacía perder la faceta del hombre, le faltaba comprobación científica y mecanizo el hombre. Inventó el metal frío y desarrolló el proceso (Taylor - White) de tratamiento térmico para acero.

Henri Fayol (1912) Se le considera como el padre de la Teoría Moderna de la Administración Operacional. Era Director General de uno de los más importantes complejos industriales, minero - metalúrgicos franceses y escribió su informe como un análisis de la estructura y proceso de la dirección tal y como se veía desde su nivel. Implantó dos principales categorías de conceptos y actividades denominados "principios de dirección" y "deberes directivos". Los principales deberes directivos los definió como: Cuidar que la organización humana y material esté de conformidad con el objetivo, recursos y necesidades de la empresa. Establecer una autoridad única, competente, enérgica y que sirva de guía. Armonizar las actividades y cuidar los esfuerzos. Prestar especial atención a la unidad de mando. Implanta que la "organización" es una de las funciones directivas,

Profesor Juan Manuel Jiménez Rodríguez, MBA

[jm.uaca@gmail.com](mailto:jm.uaca@gmail.com)

[www.uaca.funcionefectiva.com](http://www.uaca.funcionefectiva.com)



## Introducción a la Ingeniería

independiente de la planificación, mando, coordinación y control, aunque está relacionado con el funcionamiento. No proporciona puntos de vista que sirvan a la formulación de la estructura, pero mantiene que la "forma general de cualquier organización depende del número del personal". Analiza las responsabilidades del Director General y hace resaltar la importancia de que el mismo cuente los servicios de un "Estado Mayor". El "Estado Mayor" es un grupo de hombres dotados de la energía, conocimientos y tiempo que el Director puede carecer. Dicho Estado Mayor no tiene ningún nivel de autoridad y solo recibe órdenes del director general. En las operaciones empresariales lo divide en seis grupos da prioridad:

1. Técnicas (Producción).
2. Comerciales (Compra, Venta e Intercambio).
3. Financieras.
4. Seguridad.
5. Contables.
6. Administrativas (Planificación, Organización, Comando, Coordinación y Control).

En 1932, el término de "Ingeniería de Métodos" fue utilizado por H.B. Maynard y sus asociados, desde ahí las técnicas de métodos, como la simplificación del trabajo tuvo un progreso acelerado. Fue en la Segunda Guerra Mundial donde se impulsó la dirección industrial con un método de rigor científico debido principalmente a la utilización de la Investigación de Operaciones.

La ingeniería industrial es una rama de la ingeniería que se ocupa del desarrollo, mejora, implantación y evaluación de sistemas integrados de gente, dinero, conocimientos, información, equipamiento, energía, materiales y procesos. También trata con el diseño de nuevos prototipos para ahorrar dinero y hacerlos mejores. La ingeniería industrial está construida sobre los principios y métodos del análisis y síntesis de la ingeniería y el diseño para especificar, predecir y evaluar los resultados obtenidos de tales sistemas. En la manufactura esbelta, los ingenieros industriales trabajan para eliminar desperdicios de todos los recursos.

El término industrial se ha prestado a malentendidos. Mientras que el término aplica originalmente a la manufactura, se ha extendido a muchos otros sectores de servicios. La ingeniería industrial está estrechamente identificada también con la gestión de operaciones, ingeniería de sistemas o ingeniería de manufactura, una distinción que parece depender del punto de vista o motivos de quien la use. En el sector del cuidado de la salud los ingenieros industriales son conocidos comúnmente como ingenieros administradores o ingenieros en sistemas de salud.

Algunos autores y organizaciones han definido la Ingeniería Industrial desde diversas perspectivas, algunas de las cuales son:

- Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), antes el Engineers Council for Profesional Development ECPD): es la profesión en la cual se aplica, juiciosamente, el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales, obtenido mediante el estudio, la experiencia y la práctica, con el fin de determinar las maneras de utilizar económicamente los materiales y las fuerzas de la naturaleza en bien de la humanidad.
- American Institute of Industrial Engineering: La Ingeniería Industrial se ocupa de la planificación, el mejoramiento y la instalación de sistemas integrados por hombres, materiales y equipos. Exige conocimientos especializados y una sólida formación en ciencias (matemáticas, físicas y sociales), junto con los principios y los métodos del análisis y del proyecto, para especificar, predecir y evaluar los resultados que habrán de obtenerse de tales sistemas.

## Introducción a la Ingeniería

- Cuairán Ruidíaz, Martha. "Facultad de Ingeniería 1998-1999." de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México D.F. 1998: La ingeniería industrial integra, diseña, planea, organiza, mantiene, y controla los sistemas productivos y de servicio, conformados por hombres, máquinas, recursos económicos, de información y energía, utilizando métodos matemáticos, técnicas de ingeniería y principios de economía y administración, para la optimación e integración de los procesos industriales y de servicios para lograr un mejor nivel de vida y bienestar económico y social de los individuos. Asimismo busca una mayor competitividad, rentabilidad, productividad y calidad, así como la tecnología adecuada para el beneficio social y la preservación del ambiente.
- Ivan Dimitrie Moyasevich B. Asesor y Consultor Empresarial, Autor del Modelo CIPOD 1990 – Perú: La Ingeniería Industrial actúa en: punto, línea y dimensión, de las Producciones Terminales [bienes, servicios, mixtas u otros], de sistemas; de actividades económicas, o escenarios reales, virtuales u artificiales; bajo creatividad, inteligencia, personalidad, organización y dirección [CIPOD], valiéndose de toda herramienta de las ciencias, especialmente: matemáticas, físicas, químicas, sociales, biogenéticas, robóticas, y otras, interrelacionando con los Campos Sistémicos de la Ingeniería Industrial - CSII [Hombre - Recursos - Tecnología Mercado], tendiente al mejoramiento del medio, ámbito y calidad de vida donde se actúa. Ocupando: en la planificación (diseño, perfiles, planes presupuestos y proyectos), en el proceso (administración y producción), en la calidad de la Producción Terminal y de Vida, en el resultado (objetivos - metas) y en la evaluación de los mismos.
- Pérez Gómez Aurelio, Editorial Departamento de comunicación de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1997: "La ingeniería industrial integra, diseña, planea, organiza, mantiene y controla los sistemas productivos y de servicio de la actividad humana, conformados por hombres, mujeres, máquinas, recursos económicos, de información y energía utilizando métodos matemáticos, técnicas de ingeniería y principios de economía y administración, para la mejor utilización e integración de los procesos industriales y de servicios".
- "La ingeniería industrial tiene como función social la integración y utilización de los recursos humanos, materiales, económicos, de información y energía en los sistemas industriales y de servicios, así como incrementar la productividad, calidad, servicio y rentabilidad de cualquier sistema productivo, para lograr una mayor competitividad y un mejor nivel de vida y bienestar económico y social de los individuos".
- Salvendy, Gabriel, Manual de Ingeniería Industrial, Volumen I Editorial. Limusa - Primera Edición, 1991: Es aquella que se ocupa del diseño, mejoramiento e implantación de sistemas integrados por personas materiales equipo y energía. Se vale de los conocimientos y posibilidades especiales de las ciencias matemáticas físicas y sociales, junto con los principios y métodos del análisis y el diseño de ingeniería, para especificar, predecir y evaluar los resultados que se obtendrán de dichos sistemas.
- Sánchez Mejía Carlos, Departamento de Ingeniería industrial, Universidad Nacional Autónoma de México: Tiene como función social incrementar productividad con objeto de generar bienestar compartido para los trabajadores, técnicos, administradores, inversionistas, gobierno y consumidor, y elevar así, la calidad de vida en nuestro país. Su universo conceptual se observa en que la productividad es quizá el único concepto que las teorías económicas aceptan y que aplican en forma similar, tanto las de régimen capitalista como las inspiradas en los sistemas comunistas y socialistas.

Mucho se ha escrito sobre los pioneros de la administración, quienes surgieron durante y después de la revolución industrial en Inglaterra y Estados Unidos. Antes de la revolución industrial, los bienes los producían

Profesor Juan Manuel Jiménez Rodríguez, MBA

[jm.uaca@gmail.com](mailto:jm.uaca@gmail.com)

[www.uaca.funcionefectiva.com](http://www.uaca.funcionefectiva.com)



## Introducción a la Ingeniería

Los artesanos en el conocido sistema casero. En aquellos días la administración de las fábricas no era problema. Sin embargo, a medida que se desarrollaban nuevos aparatos y se descubrían nuevas fuentes de energía, se tuvo la necesidad práctica de organizar las fábricas para que pudieran aprovechar las innovaciones.

Quizá el primero de todos los pioneros fue Sir Richard Arkwright (1732-1792) quien inventó en Inglaterra el torno de hilar mecánico. Además creó y estableció lo que probablemente fue el primer sistema de control administrativo para regularizar la producción y el trabajo de los empleados de las fábricas.

Posteriormente, otros desarrolladores de la ingeniería industrial en el mundo fueron Frederick W. Taylor, Henri Fayol y Harrington Emerson, defensor de las operaciones eficientes y del pago de premios para el incremento de la producción, así como Henry Ford, padre de la cadena de montaje moderna utilizada para la producción en masa o producción en serie.

La máquina de vapor Máquina de vapor de Watt, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. En 1774, más o menos por la misma época en que Arkwright instalaba su sistema de control, otro inventor británico, James Watt, junto con su socio Matthew Boulton, estaban organizando una fábrica en el Soho para producir máquinas de vapor. Ellos instituyeron la capacitación técnica para los artesanos que superó por mucho cualquier tipo de capacitación que existiera en esa época y también contribuyeron mucho a normalizar la administración de las fábricas.

Subsecuentemente, sus hijos James Watt Jr. y Matthew Robinson Boulton, establecieron la primera fábrica completa de máquinas de manufactura en el mundo. Siguiendo el ejemplo de sus padres, planearon y construyeron una instalación de manufactura integrada que se adelantó mucho a su época. Entre otras cosas, instituyeron un sistema de control de costes diseñado para disminuir el desperdicio y mejorar la productividad.

Otro inglés, Charles Babbage (1792-1871), aportó muchas contribuciones significativas a la ciencia de la ingeniería industrial, ya que creó los sistemas analíticos para mejorar las operaciones, que publicó en su libro *The Economy of Machinery and Manufacturers*, el cual se distribuyó ampliamente en Inglaterra, resto de Europa y Estados Unidos. Los métodos analíticos que Babbage originó fueron lo más avanzado, por décadas, en el campo del aumento de la productividad y tienen alguna semejanza con el trabajo de Frederick Taylor.

La ingeniería industrial abarca varias áreas de actividad, tales como: ciencias de la administración, gestión de cadenas de suministro, ingeniería de procesos, investigación de operaciones, ingeniería de sistemas, ergonomía, ingeniería de calidad y reingeniería de procesos. Algunos ejemplos de las aplicaciones de la ingeniería industrial son: el diseño de nuevos sistemas de trabajo en bancos, las mejoras de operaciones y emergencias en hospitales, la distribución global de productos, y la reducción y mejora de líneas de espera en bancos, hospitales, parques temáticos y sistemas de tráfico vehicular. Los ingenieros industriales usan comúnmente estadística y simuladores informáticos, especialmente simulación de eventos discretos, para su análisis y evaluación.

Además, la ingeniería industrial ha tenido un contacto con los campos de acción las producciones de bienes y servicios evolucionando desde la Ingeniería de producción metal mecánica y química hasta cubrir otros procesos productivos de otros sectores económicos.

Los conceptos de Hombre - Máquina que inicialmente fijan la acción de la Ingeniería Industrial, en la actualidad y en los años venidos se están viendo ampliadas a otros grandes conceptos como son: Hombre - Sistemas, Hombre - Tecnología; Hombre - Globalización; Hombre - Competitividad; Hombre - Gestión del Conocimiento;



## Introducción a la Ingeniería

Hombre - Tecnología de la Información; Hombre - Biogenética Industrial; Hombre - Automatización; Hombre - Medio Ambiente; Hombre - Robótica; Hombre - Inteligencia Artificial; y muchos más inter relaciones.

Solo el Hombre ha pasado de la explosión Atómica, a la explosión Digital y Virtual, de ahí le espera un largo camino hacia las explosiones Universales de los Sistemas, donde el "Hombre - Conectividad" ya se hace real. Por ello el Ingeniero Industrial debe dirigir su educación, conocimiento - entrenamiento y experiencia, dentro de los diversos campos del desarrollo humano y de las tecnologías, debe ser capaz de determinar los factores involucrados en las Producciones Terminales, en los Valores Agregados, en los Recursos, relacionados con el Hombre y cualquier ámbito económico, seguir fortaleciendo las instituciones humanas para servir a la humanidad y las premisas y prioridades debe ser el bien común del hombre comprendiendo las leyes que rigen el funcionamiento de los Campos Sistémicos de la Ingeniería Industrial, y llevarlo a un nivel de vida, calidad y bienestar mejor.

El Desarrollo de la Ingeniería Industrial se ubica en la aplicación de técnicas, métodos y procedimientos en todos los factores que intervienen en Dirección, Procesos, Distribución y Aplicación a la Producción y de Servicios a ella y en toda la Empresa u Organización donde se actúa. Las actividades del Ingeniero Industrial se relacionan con sistemas (procesos, sub procesos, actividades, tareas, etc.) Empresariales u Organizacionales que están relacionadas con el carácter tecnológico, y son aquellos en que el hombre se integra al sistema. Es por ello que el entorno de la Ingeniería Industrial debe estar dentro de los sistemas tecnológicos, sociales y con mayor importancia en su carácter de Producciones Terminales (Bienes o Servicios) con visión productiva, vale decir la conjunción de los recursos con el valor agregado buscando los Ideales de excelencia y calidad.

La Concepción "Industrial" es amplia; no es solo manufactura, sino transformación de recursos en bienes y/o servicios con valor agregado, generando "Producciones Terminales" ofrecida al consumidor o sociedad; orientada a la Excelencia, Calidad, Competitividad y Globalización. Lo Industrial está íntimamente relacionada con las potencialidades de cada región o país y del grado de tecnologías, de procesos, sub procesos y toda actividad con valor agregado que se aplique en beneficio de una sociedad o medio.

En la actualidad el Ingeniero Industrial tendrá que estar preparado para los retos del siglo XXI, por los cambios tecnológicos, interactuar con megas empresas que aglomeran micro, pequeñas y medianas empresas hacia grandes corporaciones; estar vinculados al desarrollo de Procesos Automatizados, Robotizados y en manejo digital y virtual, con procesos interactuados en sistemas Intranet, extranet e internet donde plantas, módulos y circuitos inteligentes podrán ser manejados a largas distancias, y la tecnología de la información y comunicaciones serán adoptados a procesos inteligentes. Adecuarse al Tratamiento de Módulos de Laboratorio Lógicos de Producción Terminales para la Industria Alimentaria, Pecuaria y otras con clonaciones y tratamientos biogenéticos. La fusión de sistemas, técnicas y procesos fomentarán nuevas revoluciones industriales exigiendo al profesional a desarrollar su capacidad creadora y técnica a exigencias de las mayores demandas de las sociedades.

La Ingeniería Industrial dirige su actuación en la Planeación: Ejecutiva, Estratégica y Táctica en Ingeniería y Tecnología; que tiene como propósito de analizar, diseñar y mejorar sistemas industriales, de evaluar su comportamiento, así como de tomar decisiones mediante la aplicación de teorías matemáticas y estadísticas, de metodologías de integración de empresas y simulación, así como de los métodos de análisis y diseño de la ingeniería y de las ciencias sociales. Para ello sus principales objetivos está dirigido a:

- Responder a la necesidad de contar con un sector industrial más competitivo, con profesionales capaces de aplicar y desarrollar metodologías de planeación estratégica en tecnologías y de análisis de decisiones, habilitados en la instrumentación herramientas de vanguardia como la simulación,



## Introducción a la Ingeniería

tecnologías de información, automatización, Robótica y comunicación encaminadas al incremento de la competitividad de las empresas.

- Optimizar procesos básicos (o de apoyo), intermedios y terminales tanto de manufactura como de servicios para lograr la excelencia de la Producción Terminal de Bienes y Servicios.
- Servir con instrumentos técnicos para la investigación y capacitación, que faciliten la resolución de problemas en el ámbito local, regional y nacional.
- Dotar a un País o medio organizacional; con conocimientos y herramientas actualizadas, para que su desempeño sea eficiente en la solución de problemas de gestión de operaciones y de la productividad que se dan en las: medianas, pequeñas y micro empresas.
- Infundir a través de los profesionales de Ingeniería Industrial los valores de la ética, honestidad y profesionalismo en bien del desarrollo regional y nacional.

De esta manera podemos deducir que el Ingeniero Industrial es el profesional de ingeniería encargado de la mejora y optimización de los sistemas empresariales, sumiendo que empresa es el organismo social encargado de producir bienes y servicios para la satisfacción de las necesidades de los consumidores. Por lo tanto, serán tareas del Ingeniero Industrial la mejora y optimización de los métodos de trabajo, mejora y optimización en la utilización de los recursos humanos, materiales, financieros, equipos, etc., mejora y optimización en la utilización del espacio físico, logrando la mejor distribución de planta, mejora y reducción de costos y la satisfacción plena del consumidor entregando el producto que necesita en el momento oportuno y al precio justo.

En una sociedad como la nuestra, en vías de desarrollo, el Ingeniero Industrial debe actuar con amplios conocimientos de las nuevas tecnologías y debe ser el principal factor del desarrollo industrial, ser capaz de generar empleo e impulsar empresas lo que coadyuvará al bienestar de nuestra región que día a día se lo demanda. En consecuencia, la formación del Ingeniero Industrial debe responder al logro de un profesional que se desempeñe:

- Como Ingeniero, será capaz de diseñar, rediseñar, especificar, montar y administrar los sistemas de producción; podrá mejorar funcionamientos o procesos específicos de empresas de producción de bienes y/o servicios.
- Como Generador de Empresas, su preparación y desarrollo profesional serán las bases para que el Ingeniero Industrial pueda crear empresas de producción servicios o de bienes, asociándose interdisciplinariamente con otros profesionales tendiendo al mejoramiento continuo.
- Como Administrador, sus conocimientos del desarrollo interior de la empresa u organización le permitirá accionar planes estratégicos, de alta gerencia, desarrollar negociaciones nacionales e internacionales: su formación le permitirá tomar decisiones óptimas y mantener liderazgo y autoridad con el reconocimiento de las motivaciones y limitaciones del ser humano como parte importante dentro de la organización.
- Como Asesor-Consultor, la formación y la actividad profesional previa le permitirán al Ingeniero Industrial ofrecer servicios de Asesoría y Consultoría a empresas en los diferentes campos de su competencia tales como preparación y evaluación de proyectos, tratamiento estadístico de la

## Introducción a la Ingeniería

información, diagnóstico industrial, conducción de estudios de tiempos, movimientos e investigación de operaciones y otros. Diseño de producción.

- Como Investigador Técnico-Científico, el Ingeniero Industrial armado con las herramientas de las ciencias físico-matemáticas, así como dominando aspectos modernos de producción, Investigación de Operaciones e Informática puede ser un buscador y/o mejorador de tecnologías, procesos y equipos dentro del contexto de los sistemas de producción y Socio-Técnicos podrá aportar sus conocimientos para mejorar las condiciones de trabajo y solucionar problemas de los sistemas industriales con claro énfasis en el aspecto humano y medio ambiental. Podría participar, también, en la búsqueda de nuevos procesos, productos y materiales. Su trabajo sería, especialmente creativo y analítico.

Para ejercer de manera correcta la profesión de Ingeniero Industrial, la persona interesada en hacerlo deberá con algunas o todas de las muchas habilidades que se van a mencionar, algunas de ellas pueden ser innatas, otras se van adquiriendo y puliendo con el tiempo mediante la práctica:

- buena habilidad matemática
- agilidad en el manejo de tiempo
- aptitudes para la mecánica
- buen sentido común
- fuerte deseo por alcanzar la eficiencia y la organización
- creatividad al resolver problemas
- competencia técnica
- ingenio
- habilidades para escuchar
- habilidades para negociar
- diplomacia
- paciencia
- facilidad al interactuar con distintos grupos de individuos
- deseo continuo de aprender y conocer
- habilidad de liderazgo
- ética
- pasión por el mejoramiento

La ingeniería industrial, desde la perspectiva del estudiante, se considera generalmente como composición de cuatro áreas.

- Primero está la investigación de operaciones, que proporciona los métodos para el análisis y el diseño general de sistemas. La investigación de operaciones incluye la optimización, análisis de decisiones, procesos estocásticos y la simulación.
- En segundo lugar la producción, que incluye generalmente los aspectos tales como el análisis, implantación y control de la producción, control de calidad, diseño de recursos y otros aspectos de la manufactura de clase mundial.
- El tercero es procesos y sistemas de manufactura. El proceso de manufactura se ocupa directamente de la formación de materiales, cortado, modelado, plantación, etc. Los sistemas de manufactura se centran en la integración del proceso de manufactura, generalmente por medio de control por computadora y comunicaciones.
- Finalmente ergonomía que trata con la ecuación humana. La ergonomía física ve al ser humano como un dispositivo biomecánico mientras que la ergonomía informativa examina los aspectos cognoscitivos de seres humanos.



# Introducción a la Ingeniería

## Introducción a la Ingeniería Mecánica

La Ingeniería mecánica es una rama de la ingeniería, que usa los principios físicos, como la termodinámica, la dinámica, además de la ciencia de materiales y el análisis estructural para el análisis, diseño, fabricación y mantenimiento de sistemas mecánicos, y se encarga del diseño y análisis de centrales eléctricas, equipamiento industrial y maquinaria, sistemas de ventilación, vehículos motorizados terrestres, aéreos y marítimos, entre otras aplicaciones.

La ingeniería mecánica es un campo muy amplio de la ingeniería, que implica el uso de los principios de la física para el análisis, diseño, fabricación y mantenimiento de sistemas mecánicos. Tradicionalmente, ha sido la rama de la ingeniería que mediante la aplicación de los principios físicos ha permitido la creación de dispositivos útiles, como utensilios y máquinas.

Los ingenieros mecánicos usan principios como el calor, las fuerzas y la conservación de la masa y la energía para analizar sistemas físicos estáticos y dinámicos, contribuyendo a diseñar objetos. La Ingeniería Mecánica es la rama de las máquinas, equipos e instalaciones teniendo siempre en mente aspectos ecológicos y económicos para el beneficio de la sociedad.

Para cumplir con su labor, la ingeniería mecánica analiza las necesidades, formula y soluciona problemas técnicos mediante un trabajo interdisciplinario, y se apoya en los desarrollos científicos, traduciéndolos en elementos, máquinas, equipos e instalaciones que presten un servicio adecuado, mediante el uso racional y eficiente de los recursos disponibles.

Históricamente, esta rama de la ingeniería nació en respuesta a diferentes necesidades que fueron surgiendo en la sociedad. Se requería de nuevos dispositivos con funcionamientos complejos en su movimiento o que soportaran grandes cantidades de fuerza, por lo que fue necesario que esta nueva disciplina estudiara el movimiento y el equilibrio. También fue necesario encontrar una nueva manera de hacer funcionar las máquinas, ya que en un principio utilizaban fuerza humana o fuerza animal. La invención de máquinas que funcionan con energía proveniente del vapor, del carbón, de petroquímicos (como la gasolina) y de la electricidad trajo grandes avances.

Los campos de la ingeniería mecánica se dividen en una cantidad extensa de sub-disciplinas. Muchas de las disciplinas que pueden ser estudiadas en Ingeniería mecánica pueden tocar temas en comunes con otras ramas de la ingeniería. Un ejemplo de ellos son los motores eléctricos que se solapan con el campo de los ingenieros eléctricos o la termodinámica que también es estudiada por los ingenieros químicos.

Con el pasar del tiempo y al igual que en otras disciplinas, la ingeniería mecánica se ha ramificado en otras áreas como lo son: Administrativa, Estática (estudio del equilibrio de fuerzas, sobre un cuerpo en reposo), Dinámica (estudio de cómo las fuerzas afectan el movimiento de los cuerpos, Termodinámica y Transferencia de Calor (estudio de las causas en los cambios de temperatura y transferencia de calor en los materiales), Mecánica de los fluidos (estudio de la reacción de los fluidos bajo la acción de las fuerzas).

La ingeniería mecánica se extiende de tal forma que es capaz de abordar un problema con la racionalización de varios factores, que pueden estar afectando y que son fundamentales para hallar determinada solución.

Las aplicaciones de esta ingeniería se encuentran en los archivos de muchas sociedades antiguas de todo el mundo. En la antigua Grecia, las obras de Arquímedes (287 a. C.-212 a. C.) ha influido profundamente en la



## Introducción a la Ingeniería

mecánica occidental y Heron de Alejandría (c. 10-70 d. C.), creó la primera máquina de vapor. En China, Zhang Heng (78-139 d. C.) mejora un reloj de agua e inventó un sismómetro, y Ma Jun (200-265 d. C.) inventó un carro con diferencial de engranajes. El ingeniero chino Su Song (1020-1101 d. C.) incorporó un mecanismo de escape en su torre del reloj astronómico dos siglos antes de que cualquier fuga se pudiese encontrar en los relojes de la Europa medieval, así como la primera cadena de transmisión.

Durante los siglos VIII al XV, en la era llamada edad de oro islámica, se realizaron notables contribuciones de los musulmanes en el campo de la tecnología mecánica. Al Jaziri, quien fue uno de ellos, escribió su famoso "Libro del Conocimiento de ingeniosos dispositivos mecánicos" en 1206, en el cual presentó muchos diseños mecánicos. También es considerado el inventor de tales dispositivos mecánicos que ahora forman la base de mecanismos, tales como árboles de levas y cigüeñal.

Un hito importante en la creación de la ingeniería mecánica sucedió en Inglaterra durante el siglo XVII, cuando Sir Isaac Newton formuló las tres Leyes de Newton y desarrolló el cálculo. Newton fue reacio a publicar sus métodos y leyes por años, pero fue finalmente persuadido a hacerlo por sus colegas, tal como Sir Edmund Halley, para el beneficio de toda la humanidad.

A principios del siglo XIX en Inglaterra, Alemania y Escocia, el desarrollo de herramientas de maquinaria llevó a desarrollar un campo dentro de la ingeniería en mecánica, suministro de máquinas de fabricación y de sus motores. En los Estados Unidos, la American Society of Mechanical Engineers (ASME) se formó en 1880, convirtiéndose en la tercera sociedad de profesionales de ingeniería, después de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (1852) y el Instituto Americano de Ingenieros de Minas (1871). [4] Las primeras escuelas en los Estados Unidos para ofrecer una enseñanza de la ingeniería son la Academia Militar de Estados Unidos en 1817, una institución conocida ahora como la Universidad de Norwich en 1819, y el Instituto Politécnico Rensselaer en 1825. La educación en ingeniería mecánica se ha basado históricamente en una base sólida en matemáticas y la ciencia.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Eléctrica

La ingeniería eléctrica es el campo de la ingeniería que se ocupa del estudio y la aplicación de la electricidad, la electrónica y el electromagnetismo. Aplica conocimientos de ciencias como la física y las matemáticas para generar, transportar, distribuir y utilizar la energía eléctrica. Dicha área de la ingeniería es reconocida como carrera profesional en todo el mundo y constituye una de las áreas fundamentales de la ingeniería desde el siglo XIX con la comercialización del telégrafo eléctrico y la generación industrial de energía eléctrica. El campo, ahora, abarca una serie de disciplinas que incluyen la electrotecnia, la electrónica, los sistemas de control, el procesamiento de señales y las telecomunicaciones.

Dependiendo del lugar y del contexto en que se use, el término ingeniería eléctrica puede o no incluir la ingeniería electrónica. Cuando se hace una distinción, generalmente se considera la ingeniería eléctrica para hacer frente a los problemas asociados sistemas eléctricos de gran escala, mientras que la ingeniería electrónica trata del estudio de sistemas eléctricos a pequeña escala.

Según Thales de Miletus, en un escrito de aproximadamente 600 A.C., una forma de electricidad era conocida por los griegos antiguos, quienes encontraron que el frotamiento de piel en varias sustancias, por ejemplo el ámbar, causaba una atracción entre los dos. Los griegos observaron que los botones ambarinos podrían atraer objetos ligeros, por ejemplo pelo, y si frotaban el ámbar por bastante tiempo, podría incluso saltar una chispa. Un objeto encontrado en Iraq cerca de 1938, datado alrededor de 250 A.C. y llamado Batería de Bagdad, se asemeja a una célula galvánica y se cree que pudo haber sido utilizado para electro chapado, aunque esto es ha sido probado y es controversial.

La electricidad ha sido materia de interés científico desde principios del siglo XVII. El primer ingeniero electricista fue probablemente William Gilbert quien diseñó el "versorium<sup>2</sup>", un aparato que detectaba la presencia de objetos estáticamente cargado. Él también fue el primero en marcar una clara distinción entre electricidad magnética y estática y se le atribuye la creación del término electricidad.

La máquina de fricción fue construida aproximadamente en 1663 por Otto von Guericke, usando un globo de sulfuro frotado a mano, lo que lo ponía a rotar, luego Isaac Newton sugirió el uso de un globo de cristal. En la última parte del siglo XVIII, Benjamin Franklin, Ewald Jürgen Georg von Kleist, y Pieter van Musschenbroek, hicieron varios descubrimientos importantes referentes a las máquinas electrostáticas. La primera sugerencia de la máquina parece haber nacido de la invención de Alessandro Volta, el electrophorus. Los "dobladores" eran las primeras máquinas que rotaban. Abraham Bennet, el inventor del electroscopio de la hoja del oro, describió un "doblador" o la "máquina para multiplicar cargas eléctricas" (Phil. Transporte., 1787). En 1775 la experimentación científica de Alessandro Volta resultó en la creación del electróforo, un aparato que producía carga eléctrica estática, y por el 1800 Volta inventó la pila voltaica, el predecesor de la batería eléctrica.

Thomas Edison construyó la primera red de energía eléctrica del mundo. Sin embargo, no fue hasta el siglo XIX que las investigaciones dentro de la ingeniería eléctrica empezaron a intensificarse. Algunos de los desarrollos notables en éste siglo incluyen el trabajo de Georg Ohm, quien en 1827 midió la relación entre corriente eléctrica y la diferencia de potenciales en un conductor, Michael Faraday el que descubrió la inducción electromagnética en 1831, y James Clerk Maxwell, quien en 1873 publicó la teoría unificada de la electricidad y magnetismo en su tratado Electricity and Magnetism.

---

<sup>2</sup> Dispositivo para detectar la presencia de la electricidad estática.



## Introducción a la Ingeniería

Nikola Tesla hizo posibles las redes de transmisión de energía eléctrica de larga distancia. Durante estos años, el estudio de la electricidad era ampliamente considerado como una rama de la física y no fue hasta finales del siglo XIX que las universidades empezaron a ofrecer carreras en ingeniería eléctrica. La Universidad Técnica de Darmstadt, con sede en Alemania, tuvo la primera cátedra y facultad de ingeniería eléctrica en 1882. En 1883 la Universidad Técnica de Darmstadt y la Universidad Cornell, New York USA, empezaron a dar los primeros cursos de ingeniería eléctrica, y en 1885 el University College de Londres fundó la primera cátedra de ingeniería eléctrica en el Reino Unido. La Universidad de Missouri estableció el primer departamento de ingeniería eléctrica en los Estados Unidos en 1886.

Durante este período, el trabajo relacionado con la ingeniería eléctrica se incrementó rápidamente. En 1882, Thomas Edison encendió la primera red de energía eléctrica de gran escala, que proveía 110 voltios en corriente continua a 59 clientes en el bajo Manhattan. En 1887, Nikola Tesla llenó un número de patentes sobre una forma de distribución de energía eléctrica conocida como corriente alterna. En los años siguientes una amarga rivalidad entre Edison y Tesla, conocida como "La guerra de las corrientes", tomó lugar sobre el mejor método de distribución. Eventualmente, la corriente alterna reemplazó a la corriente continua, mientras se expandía y se mejoraba la eficiencia de las redes de distribución energética.

La ingeniería eléctrica aplica conocimientos de ciencias como la física y las matemáticas. Considerando que esta rama de la ingeniería resulta más abstracta que otras, la formación de un ingeniero electricista requiere una base matemática que permita la abstracción y entendimiento de los fenómenos electromagnéticos. Tras este tipo de análisis, ha sido posible reflejar mediante un conjunto de ecuaciones las leyes que gobiernan los fenómenos eléctricos y magnéticos. Por ejemplo, el desarrollo de las leyes de Maxwell permite describir los fenómenos electromagnéticos y forman la base de la teoría del electromagnetismo. En el estudio de la corriente eléctrica, la base teórica parte de la ley de Ohm y las leyes de Kirchhoff. Además se requieren conocimientos generales de mecánica y de ciencia de materiales, para la utilización adecuada de materiales adecuados para cada aplicación. Un ingeniero eléctrico debe tener conocimientos básicos de otras áreas afines, pues muchos problemas que se presentan en ingeniería son complejos e interdisciplinarios.

El Ingeniero Electricista, en el área de la potencia o sector eléctrico, está capacitado para desempeñarse en la planificación, diseño, proyecto, especificación, construcción y operación de sistemas eléctricos de potencia e industriales, en las áreas de generación, transmisión de energía y datos, distribución, control y protección de sistemas de potencia. Puede vincularse al sector industrial, petrolero, empresas de servicio eléctrico y empresas consultoras vinculadas al sector eléctrico nacional. Puede ejercer en el sector de fabricantes de equipos eléctricos, maquinaria electromecánica e industrial, dispositivos electrónicos de potencia y otras. También puede encontrar su campo de acción en el área de instrumentación y mediciones eléctricas o ensayo y prueba de equipos eléctricos y electrónicos de potencia.

En el área de la electrónica, se capacita en las telecomunicaciones, control de procesos, bioingeniería y el sector de servicios digitales. En cuanto a las tendencias del desempeño de la profesión, vale la pena mencionar lo siguiente: Desarrollo de sistemas en Hardware, digitales y analógicos; Desarrollo de Software; Lenguajes de programación sobre red; Desarrollo de dispositivos y sistemas de estado sólido de alta frecuencia y alta potencia; Computación óptica y cuántica; Gestión de redes de datos y de telecomunicaciones; Gestión de servicios; Comunicaciones inalámbricas ópticas; Sistemas de comunicaciones satelitales; Redes de acceso; Control óptico, adaptativo e inteligencia artificial; Robótica; Mecatrónica; Audio y Video digital, entre otros.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería Topográfica

La Topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales (planimetría y altimetría). Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, puede decirse que para un topógrafo la Tierra es plana, mientras que para un geodesta no lo es.

Al parecer el primer terreno que se delimitó fue el jardín del Edén, La Biblia además señala que en Israel había agrimensores que definían los límites de las tierras y a quién correspondía su propiedad. Proverbios 22:28 dice: "No muevas hacia atrás un lindero de antaño, que tus antepasados han hecho". Los romanos hasta tenían un dios vigilante de los límites, llamado Término, cuya representación era una piedra.

Los acueductos y las carreteras romanas, en muchos casos todavía existen, dan testimonio de los sorprendentes logros de los antiguos romanos en el campo de la Topografía. Los primeros topógrafos obtuvieron resultados impresionantes con escasos instrumentos. Alrededor del año 200 a E.C., el astrónomo, matemático y geógrafo griego Eratóstenes calculó la circunferencia del globo terrestre.

Por el año 62 E.C., Herón de Alejandría publicó la Dioptra, libro en que explicaba la aplicación de la Geometría (que significa literalmente "medición de la tierra") en la agrimensura. Entre los años 140 y 160, Claudio Tolomeo elaboró una lista de unos ocho mil sitios del mundo conocido, indicando sus latitudes y longitudes: para ello, siguió el método establecido por Hiparco.

Para el siglo XVIII, la familia Cassini completó en el transcurso de 4 generaciones, la primera medición científica del territorio nacional francés y la plasmó en el mapa conocido como La Carte de Cassini. El libro *The Shape of the World* (la forma del mundo) explica que Francia iba a la cabeza del mundo en cuanto a cartografía científica se refiere; a continuación estaba Gran Bretaña, el Estado austríaco y el alemán les seguían muy de cerca.

Las mediciones topográficas de los territorios nacionales se popularizaron en el resto de Europa durante las primeras décadas del siglo XIX. Fuera del continente europeo, en 1817 se emprendió la gran medición trigonométrica de la India para completar la cartografía del País. George Everest dirigió el estudio y en su honor se le cambió el nombre a la montaña más alta del mundo.

Las condiciones de trabajo de aquellos pioneros a veces distaban mucho de ser las mejores. Hasta 1861, según el "Historical Records of the Survey of India" (registros históricos de la medición de la India), la fibra había diezmando al equipo al equipo de agrimensores y apenas 1 de cada 70 de ellos volvió a Inglaterra. Otros sufrieron los ataques de animales salvajes o casi murieron de hambre. Con todo, les atraía el trabajo al aire libre y la medida de independencia que les proporcionaba la profesión.

Un grupo de hindúes, conocidos como pandits, se ganó una mención especial es la historia debido a su fascinante labor en Nepal y el Tíbet. Estos países habían prohibido la entrada de extranjeros mediante decretos y tratados por lo que aquellos agrimensores se disfrazaron de lamas o sacerdotes budistas, para poder entrar. Como preparación para su trabajo encubierto, cada uno había sido adiestrado exactamente para dar dos mil pasos por milla. Usaban un rosario de 100 cuentas para contar los pasos y calcular las distancias.



## Introducción a la Ingeniería

Muchos personajes como los Presidentes estadounidenses Washington, Jefferson, Lincoln y el mexicano Pascual Ortiz Rubio, ejercieron esta profesión. Hay quien atribuye el éxito político de Lincoln a su trabajo de agrimensor, que lo puso en estrecho contacto con sus compatriotas.

La palabra Topografía proviene del griego *topos*, que significa lugar, y *graphein* (grafos) que se interpreta como describir y se puede definir como la ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre utilizando medidas y considerando los tres elementos del espacio, estos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación.

En general la Topografía es la aplicación de la geometría, y por lo mismo sin el conocimiento de la geometría no sería posible que la Topografía lograra el cometido que tiene asignado, en el estudio detallado de la superficie terrestre y los procedimientos por los cuales se pueden representar todos los accidentes naturales y los hechos por la mano del hombre, que en ella existen.

La tarea del topógrafo es previa al inicio de un proyecto: un arquitecto o ingeniero proyectista debe contar con un buen levantamiento plani-almétrico ó tridimensional previo del terreno y de "hechos existentes" (elementos inmóviles y fijos al suelo) ya sea que la obra se construya en el ámbito rural ó urbano. Realizado el proyecto con base en este relevamiento, el topógrafo se encarga del "replanteo" del mismo: ubica los límites de la obra, los ejes desde los cuales se miden los elementos (columnas, tabiques...); establece los niveles o la altura de referencia. Luego la obra avanza y en cualquier momento, el ingeniero jefe de obra puede solicitar un "estado de obra" (un relevamiento in situ para verificar si se está construyendo dentro de la precisión establecida por los pliegos de condiciones) al topógrafo. La precisión de una obra varía: no es lo mismo una central nuclear que la ubicación del eje de un canal de riego.

La topografía es una ciencia geométrica aplicada a la descripción de la realidad física inmóvil circundante, es plasmar en un plano topográfico la realidad vista en campo, en el ámbito rural ó natural, de la superficie terrestre; en el ámbito urbano, es la descripción de los hechos existentes en un lugar determinado: muros, edificios, calles, entre otros.

Se puede dividir el trabajo topográfico como dos actividades congruentes: llevar "el terreno al gabinete" (mediante la medición de puntos ó relevamiento, su archivo en el instrumental electrónico y luego su edición en la computadora) y llevar "el gabinete al terreno" (mediante el replanteo por el camino inverso, desde un proyecto en la computadora a la ubicación del mismo mediante puntos sobre el terreno). Los puntos relevados o replanteados tienen un valor tridimensional, es decir, se determina la ubicación de cada punto en el plano horizontal (de dos dimensiones, norte y este) y en altura (tercera dimensión).

La Topografía es un elemento básico en las Ciencias de la Tierra, no obstante esto se le utiliza en otras áreas, se le pueden considerar como materias propedéuticas a la Geometría, La Trigonometría, la Física y la Astronomía y de esto podemos concluir que la topografía es una ciencia aplicada.

Además del conocimiento de las materias mencionadas, son necesarias cualidades personales, tales como: Iniciativa, Habilidad para el manejo de aparatos, buenas relaciones humanas y buen criterio.

El campo de acción de la Topografía es inmenso y por eso se hace sumamente necesaria. Sin un buen plano topográfico jamás se podría proyectar correctamente un edificio o lograr el trazo de un fraccionamiento, si no



# Introducción a la Ingeniería

se cuenta con curvas de nivel no sería posible lograr proyectos para presas, canales, carreteras, vías férreas, etc., no se podría determinar una pendiente necesaria para una obra de alcantarillado.

Las principales acciones de la Topografía son el trazo y el levantamiento, en donde el trazo tiene como finalidad la materialización en el terreno de lo representado en un plano, y el levantamiento la obtención de los datos necesarios para levantar un plano.

La topografía tiene un macro universo de aplicaciones tales como:

- Levantamientos de terrenos en general, para la localización de linderos, medición y división de áreas, así como la ubicación de terrenos en planos que así lo requieran.
- Localización, proyecto, trazo y construcción de vías de comunicación tales como: caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión eléctrica, acueductos, etc.
- La Topografía subterránea tiene como finalidad fijar y controlar la posición de trabajos dentro del planeta y relacionarlos con las obras que se localizan sobre la superficie terrestre.
- Levantamientos catastrales realizados con el propósito de ubicar límites de propiedades y valorar los inmuebles para determinar los impuestos correspondientes.
- La topografía urbana tiene por objeto realizar operaciones para la disposición de lotes, construcción de calles, sistemas de agua potable y sistemas de alcantarillado.
- La topografía hidrográfica estudia la configuración de los océanos, lagos, ríos, etc., para propósitos de navegación, suministro de agua o construcción subacuática.
- La topografía, además, se usa para instalar maquinaria y equipo industrial, en la construcción de barcos y aviones, para preparar mapas geológicos y forestales, en la navegación por control electrónico para fijar la situación de puntos determinados sobre los planos empleados, etc.

La Topografía para su estudio, se divide en las siguientes partes:

- **Topología.**- Estudia las leyes que determinan las formas del terreno.
- **Topometría.**- Establece los métodos geométricos de medida.
- **Planografía.**- Es la representación gráfica de los resultados, constituye el dibujo topográfico.

De lo anterior se puede decir que la Topografía, según las operaciones que se realicen para representar el terreno, se divide en tres partes denominadas:

- **Planimetría.**- Estudia los instrumentos y métodos utilizados para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa forma una figura similar a la del terreno.
- **Altimetría.**- Determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con relación a una superficie de comparación, la cual generalmente corresponde al nivel medio del mar.
- **Agrimensura.**- Es la utilización de los procedimientos necesarios para medir el área de los terrenos y para fraccionarlos.



# Introducción a la Ingeniería

## Ingeniería de Sistemas

La Ingeniería de sistemas es un modo de enfoque interdisciplinario que permite estudiar y comprender la realidad, con el propósito de implementar u optimizar sistemas complejos. Puede verse como la aplicación tecnológica de la teoría de sistemas a los esfuerzos de la ingeniería, adoptando en todo este trabajo el paradigma sistémico. La ingeniería de sistemas integra otras disciplinas y grupos de especialidad en un esfuerzo de equipo, formando un proceso de desarrollo estructurado.

Una de las principales diferencias de la ingeniería de sistemas respecto a otras disciplinas de ingeniería tradicionales, consiste en que la ingeniería de sistemas no construye productos tangibles. Mientras que los ingenieros civiles podrían diseñar edificios o puentes, los ingenieros electrónicos podrían diseñar circuitos, los ingenieros de sistemas tratan con sistemas abstractos con ayuda de las metodologías de la ciencia de sistemas, y confían además en otras disciplinas para diseñar y entregar los productos tangibles que son la realización de esos sistemas.

Otro ámbito que caracteriza a la ingeniería de sistemas es la interrelación con otras disciplinas en un trabajo transdisciplinario.

Esta área de la ingeniería comenzó a desarrollarse en la segunda parte del siglo XX con el veloz avance de la ciencia de sistemas. Las empresas empezaron a tener una creciente aceptación de que la ingeniería de sistemas podía gestionar el comportamiento impredecible y la aparición de características imprevistas de los sistemas (propiedades emergentes). Las decisiones tomadas al comienzo de un proyecto, cuyas consecuencias pueden no haber sido entendidas claramente, tienen una enorme implicación más adelante en la vida del sistema.

Un ingeniero de sistemas debe explorar estas cuestiones y tomar decisiones críticas. No hay métodos que garanticen que las decisiones tomadas hoy serán válidas cuando el sistema entre en servicio años o décadas después de ser concebido, pero hay metodologías que ayudan al proceso de toma de decisiones. Ejemplos como la metodología de sistemas blandos (Soft Systems Methodology), la dinámica de sistemas, modelo de sistemas viables (Viable System Model), teoría del Caos, teoría de la complejidad, y otros que también están siendo explorados, evaluados y desarrollados para apoyar al ingeniero en el proceso de toma de decisiones.

Puede establecerse que la Ingeniería de Sistemas es la aplicación de las ciencias matemáticas y físicas, para desarrollar sistemas que utilicen económicamente los materiales y fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad. Una definición especialmente completa -y que data de 1974- nos la ofrece un estándar militar de las fuerzas aéreas estadounidenses sobre gestión de la ingeniería, señalando que Ingeniería de Sistemas es la aplicación de esfuerzos científicos y de ingeniería para:

1. transformar una necesidad de operación en una descripción de parámetros de rendimiento del sistema y una configuración del sistema a través del uso de un proceso interactivo de definición, síntesis, análisis, diseño, prueba y evaluación;
2. integrar parámetros técnicos relacionados para asegurar la compatibilidad de todos los interfaces de programa y funcionales de manera que optimice la definición y diseño del sistema total;
3. integrar factores de fiabilidad, mantenibilidad, seguridad, supervivencia, humanos y otros en el esfuerzo de ingeniería total a fin de cumplir los objetivos de coste, planificación y rendimiento técnico.



## Introducción a la Ingeniería

Muchos de los campos relacionados podrían ser considerados con estrechas vinculaciones a la ingeniería de sistemas. Muchas de estas áreas han contribuido al desarrollo de la ingeniería de sistemas como área independiente.

- **Sistemas de Información:** Un Sistema de Información o (SI) es un conjunto de elementos que interactúan entre sí con el fin de apoyar las actividades de una empresa o negocio. No siempre un Sistema de Información debe estar automatizado (en cuyo caso se trataría de un sistema informático), y es válido hablar de Sistemas de Información Manuales. Normalmente se desarrollan siguiendo Metodologías de Desarrollo de Sistemas de Información.
- **El equipo computacional:** el hardware necesario para que el sistema de información pueda operar. El recurso humano que interactúa con el Sistema de Información, el cual está formado por las personas que utilizan el sistema. Un sistema de información realiza cuatro actividades básicas: entrada, almacenamiento, procesamiento y salida de información. es la actualización de datos reales y específicos para la agilización de operaciones en una empresa.
- **Investigación de operaciones** La Investigación de Operaciones o (IO) se enseña a veces en los departamentos de ingeniería industrial o de matemática aplicada, pero las herramientas de la IO son enseñadas en un curso de estudio en Ingeniería de Sistemas. La IO trata de la optimización de un proceso arbitrario bajo múltiples restricciones.
- **Ingeniería de sistemas cognitivos** La ingeniería de sistemas cognitivos es una rama de la ingeniería de sistemas que trata los entes cognitivos, sean humanos o no, como un tipo de sistemas capaces de tratar información y de utilizar recursos cognitivos como la percepción, la memoria o el procesamiento de información. Depende de la aplicación directa de la experiencia y la investigación tanto en psicología cognitiva como en ingeniería de sistemas. La ingeniería de sistemas cognitivos se enfoca en cómo los entes cognitivos interactúan con el entorno. La ingeniería de sistemas trabaja en la intersección de:
  1. El desarrollo de la sociedad en esta nueva era
  2. Los problemas impuestos por el mundo
  3. Las necesidades de los agentes (humano, hardware, software)
  4. La interacción entre los varios sistemas y tecnologías que afectan (y/o son afectados por) la situación.

Algunas veces designados como ingeniería humana o ingeniería de factores humanos, esta rama además estudia la ergonomía en diseño de sistemas. Sin embargo, la ingeniería humana suele tratarse como otra especialidad de la ingeniería que el ingeniero de sistemas debe integrar.

Habitualmente, los avances en ingeniería de sistemas cognitivos se desarrollan en los departamentos y áreas de Informática, donde se estudian profundamente e integran la inteligencia artificial, la ingeniería del conocimiento y el desarrollo de interfaces hombre-máquina (diseños de usabilidad).de la ciencia.

El origen del nombre de Ingeniería de Sistemas se remonta a las definiciones planteadas por IBM (década del 70) y la Bell Telephone (decada del 60), ambas diferentes.

Como sabemos IBM es una transnacional dedicada, principalmente a la fabricación de computadoras en diferentes plataformas. Su área inicial de desarrollo, la fabricación de computadoras (amparadas en las técnicas de electrónica digital, arquitectura de computadoras, teoría de sistemas operativos y en otras ciencias y



## Introducción a la Ingeniería

técnicas pertenecientes a la Computación) se ha complementado con el desarrollo posterior de las áreas de Ing. de Software e Informática. Este proceso de evolución no solo es lógico dentro de la óptica comercial sino que nos demuestra que el interés inicial se basó fundamentalmente en el equipo (hardware). No nos extrañe entonces que las especialidades de trabajo definidas por IBM se hayan establecido en función a este interés.

A diferencia de la anterior definición, la propuesta de la Bell Telephone es radicalmente distinta. La Ing. de Sistemas es un componente de la Técnica Creativa Organizativa, proceso general de definición y desarrollo de nuevos productos seguido por la Bell Telephone y los Laboratorios Bell y que está compuesto por las siguientes etapas:

- Estudio de Sistemas.
- Plan Exploratorio.
- Plan de Desarrollo.
- Estudio durante el Desarrollo.
- Prosecución Técnica.

En cuanto a la Ingeniería de Sistemas de Información, en general la carrera se divide en distintas ramas que incluyen materias provenientes de:

- Ingeniería: Análisis matemático, Álgebra, Lógica, Probabilidades y estadística, Geometría Analítica, Química y Física.
- Programación: Algoritmos, Estructuras de datos, Sintaxis y semántica de lenguajes, Paradigmas de programación.
- Informática: Arquitectura de computadoras, Sistemas operativos, Bases de datos, Redes cableadas e inalámbricas.
- Sistemas: Análisis de sistemas, Diseño de sistemas, Ingeniería en software, Investigación operativa.
- Complementarias: Legislación, Economía, Idioma (Inglés en general), metodología de la investigación, Ingeniería en calidad.
- Interdisciplinarias: Modelización numérica, Simulación, Teoría de control, Inteligencia artificial, Aplicaciones en tiempo real, Reingeniería, Proyecto final.

Las incumbencias básicas de esta ingeniería son:

1. Participar en la toma de decisiones estratégicas de una organización y asesorar, en concordancia con las mismas, acerca de las políticas de desarrollo de sistemas de información.
2. Evaluar, clasificar y seleccionar proyectos de sistemas de información y evaluar y seleccionar alternativas de asistencia externa.
3. Planificar, efectuar y evaluar los estudios de factibilidad inherentes a todo proyecto de diseño de sistemas de información y de modificación o reemplazo de los mismos, así como también los sistemas de computación asociados.
4. Planificar, dirigir, ejecutar y controlar el relevamiento, análisis, diseño, desarrollo, implementación y prueba de sistemas de información.
5. Evaluar y seleccionar los sistemas de programación disponibles con miras a utilización en sistemas de información.
6. Evaluar y seleccionar, desde el punto de vista de los sistemas de información, los equipos de procesamiento y comunicación y los sistemas de base.
7. Organizar y dirigir el área de sistemas; determinar el perfil de los recursos humanos necesarios y contribuir a su selección y formación.

## Introducción a la Ingeniería

8. Participar en la elaboración de programas de capacitación para la utilización de sistemas de información.
9. Determinar y controlar el cumplimiento de las pautas técnicas que rigen el funcionamiento y la utilización de recursos informáticos en cada organización.
10. Elaborar métodos y normas a seguir en cuestión de seguridad y privacidad de la información procesada y/o generada por los sistemas de información; participar en la determinación de las acciones a seguir en esta materia y evaluar su aplicación.
11. Elaborar métodos y normas a seguir en cuestión de salvaguarda y control de los recursos, físicos y lógicos, de un sistema de computación; participar en la determinación de las acciones a seguir en esta materia y evaluar su aplicación.
12. Desarrollar modelos de simulación, sistemas expertos y otros sistemas informáticos destinados a la resolución de problemas y asesorar en su aplicación.
13. Realizar auditorías de áreas de sistemas y centros de cómputos así como de los sistemas de información utilizados.
14. Realizar arbitrajes, pericias y tasaciones referidas a los sistemas de información y a los medios de procesamiento de datos.
15. Realizar estudios e investigaciones conducentes a la creación y mejoramiento de técnicas de desarrollo de sistemas de información y nuevas aplicaciones de la tecnología informática existente.



# Introducción a la Ingeniería

## Capítulo 2 Conceptos Generales

### El Sistema Internacional de Unidades

#### Resolución de Problemas Introducción

En la actualidad, la resolución de problemas es considerada una parte esencial de la educación superior. Mediante la resolución de problemas, los estudiantes experimentan la potencia y utilidad de las ciencias en el mundo que les rodea. En primera instancia, estableceremos que para el área de ingeniería un problema es el planteamiento de una situación cuya respuesta desconocida debe obtenerse a través de métodos científicos.

Es necesario diferenciar los problemas de los ejercicios, referido este último concepto al trabajo práctico que en el aprendizaje de ciertas disciplinas sirve de complemento y comprobación de la enseñanza teórica. En los ejercicios se puede decidir con rapidez si se sabe resolver o no; se trata de aplicar un algoritmo que se puede conocer o ignorar. Pero, una vez localizado, se aplica y basta.

En los problemas no es evidente el camino a seguir; incluso puede haber varios; y desde luego no está codificado y enseñado previamente. Hay que apelar a conocimientos dispersos, y no solo a la matemática; hay que relacionar saberes procedentes de campos diferentes, hay que poner a punto relaciones nuevas. Por tanto, un "problema" sería una cuestión a la que no es posible contestar por aplicación directa de ningún resultado conocido con anterioridad, sino que para resolverla es preciso poner en juego conocimientos diversos, matemáticos o no, y buscar relaciones nuevas entre ellos. Pero además tiene que ser una cuestión que nos interese, que nos provoque las ganas de resolverla, una tarea a la que estemos dispuestos a dedicarle tiempo y esfuerzos. Como consecuencia de todo ello, una vez resuelta nos proporciona una sensación considerable de placer. E incluso, sin haber acabado el proceso, sin haber logrado la solución, también en el proceso de búsqueda, en los avances que vamos realizando, encontraremos una componente placentera.

Respecto a los problemas es conveniente añadir algunos comentarios sobre los mismos:

- Los algoritmos que se suelen explicar en clase, o que aparecen en los libros de texto, resuelven grupos enteros de problemas. Lo que pasa es que si no situamos previamente los problemas a los que responden, estamos dando la respuesta antes de que exista la pregunta. Y en ese contexto no es difícil de adivinar el poco interés con que se recibe la misma.
- Las situaciones existen en la realidad. Los problemas los alumbramos nosotros. Pasan a ese estatus cuando los asumimos como un reto personal y decidimos en consecuencia dedicarle tiempo y esfuerzos a procurar resolverlos.
- La resolución de un problema añade algo a lo que ya conocíamos; nos proporciona relaciones nuevas entre lo que ya sabíamos o nos aporta otros puntos de vista de situaciones ya conocidas, suponen el aporte de la creatividad.

## Introducción a la Ingeniería

- Existe un fuerte componente de compromiso personal en el análisis de los problemas y en la importancia que tiene la manera en que se asuman.

### Rasgos que caracterizan a los problemas

Una vez que tenemos un problema, podemos establecer que los principales rasgos los que caracterizan son:

- No son cuestiones con trampas ni acertijos. Es importante hacer esta distinción en la enseñanza porque los estudiantes, cuando se les plantean problemas, tienden a pensar que si no hay (o al menos ellos no lo recuerdan directamente) un algoritmo para abordarlos ni se les ocurre ningún procedimiento, seguro que lo que sucede es que tiene que haber algún tipo de trampa. La práctica sistemática resolviendo problemas hace que esa percepción habitual vaya cambiando.
- Pueden o no tener aplicaciones, pero el interés es por ellos mismos. Así como hay otras cuestiones cuya importancia proviene de que tienen un campo de aplicaciones (y sin descartar que los problemas las tengan), el interés de los problemas es por el propio proceso. Pero a pesar de ello, los problemas suelen llevar a desarrollar procesos que, más tarde, se pueden aplicar a muchos otros campos.
- Representan un desafío a las cualidades deseables en un estudiante. Parece obvio para todo el mundo que existen cualidades que distinguen a las personas que resuelven problemas con facilidad, aunque si se tienen que señalar cuáles son es difícil hacerlo.
- Una vez resueltos apetece proponerlos a otras personas para que a su vez intenten resolverlos. Una vez resuelto el desafío, se hace necesario proponer a otros el problema para verificar su solución o comparar los medios utilizados para resolverlos.
- Parecen a primera vista algo abordable, no dejan bloqueado, sin capacidad de reacción. Y puede pasar que alguna solución parcial sea sencilla o incluso inmediata. Desde un punto de vista psicológico, sólo nos planteamos aquello que somos capaces (o al menos eso creemos) de resolver. Por eso, si un problema sólo lo es para nosotros cuando lo aceptamos como tal, difícil es que nos "embarquemos" en una aventura que nos parezca superior a nuestras fuerzas.
- Al resolverlos proporcionan un tipo de placer difícil de explicar pero agradable de experimentar. La componente de placer es fundamental en todo desafío intelectual, si se quiere que sea asumido con gusto y de manera duradera. Incluso, en la enseñanza, la incorporación de esos factores a la práctica diaria pueden prefigurar la inclinación de los estudios futuros.

# Introducción a la Ingeniería

## Pautas a seguir en la resolución de problemas

Una vez señaladas las características de los problemas, hay que referirse a la importancia que tiene resolver problemas. Pensemos que, como dice Polya<sup>3</sup> (1945), «sólo los grandes descubrimientos permiten resolver los grandes problemas, hay, en la solución de todo problema, un poco de descubrimiento»; pero que, si se resuelve un problema y llega a excitar nuestra curiosidad, «este género de experiencia, a una determinada edad, puede determinar el gusto del trabajo intelectual y dejar, tanto en el espíritu como en el carácter, una huella que durará toda una vida».

Para resolver problemas no existen fórmulas mágicas; no hay un conjunto de procedimientos o métodos que aplicándolos lleven necesariamente a la resolución del problema (aún en el caso de que tenga solución). Pero de ahí no hay que sacar en consecuencia una apreciación ampliamente difundida en la sociedad: la única manera de resolver un problema sea por "ideas luminosas", que se tienen o no se tienen.

Es evidente que hay personas que tienen más capacidad para resolver problemas que otras de su misma edad y formación parecida. Estas personas suelen ser las que aplican (generalmente de una manera inconsciente) toda una serie de métodos y mecanismos que suelen resultar especialmente indicados para abordar los problemas. Son los, procesos que se llaman "heurísticos"<sup>4</sup>: operaciones mentales que se manifiestan típicamente útiles para resolver problemas. El conocimiento y la práctica de los mismos es justamente el objeto de la resolución de problemas, y hace que sea una facultad entrenable, un apartado en el que se puede mejorar con la práctica. Pero para ello hay que conocer los procesos y aplicarlos de una forma planificada, con método.

Es ya clásica, y bien conocida, la formulación que hizo Polya (1945) de las cuatro etapas esenciales para la resolución de un problema, que constituyen el punto de arranque de todos los estudios posteriores:

1. *Comprensión del problema.* ¿Cuál es la incógnita? ¿Cuáles son los datos? ¿cuál es la condición? ¿Es la condición suficiente para determinar la incógnita? ¿Es insuficiente? ¿Redundante? ¿Contradictoria? Parece, a veces, una etapa innecesaria pero es de una importancia capital, sobre todo cuando los problemas a resolver no son de formulación estrictamente matemática. Es más, es la tarea más difícil, por ejemplo, cuando se ha de hacer un tratamiento ingenieril: entender cuál es el problema que tenemos que abordar. Se debe leer el enunciado despacio para determinar ¿cuáles son los datos? (lo que conocemos) y ¿cuáles son las incógnitas? (lo que buscamos) Hay que tratar de encontrar la relación entre los datos y las incógnitas. Si se puede, se debe hacer un esquema o dibujo de la situación.
2. *Concepción de un plan para resolverlo.* Hay que plantearlo de una manera flexible y recursiva, alejada del mecanicismo: ¿este problema es parecido a otros que ya conocemos?, ¿se puede plantear el problema de otra forma?, ¿es posible imaginar un problema parecido pero más sencillo?, si se puede

---

<sup>3</sup> George Pólya (13 de diciembre de 1887 – 7 de septiembre de 1985) fue un matemático Húngaro que trabajó en una gran variedad de temas matemáticos, incluidas las series, la teoría de números, geometría, álgebra, análisis matemático, la combinatoria y la probabilidad. En sus últimos años, invirtió un esfuerzo considerable en intentar caracterizar los métodos generales que usa la gente para resolver problemas, y para describir cómo debería enseñarse y aprender la manera de resolver problemas.

<sup>4</sup> Técnica de la indagación y del descubrimiento. En algunas ciencias, manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, como por tanteo, reglas empíricas, etc.

## Introducción a la Ingeniería

suponer que el problema ya está resuelto ¿cómo se relaciona la situación de llegada con la de partida?, ¿Se utilizan todos los datos cuando se hace el planteamiento de la solución?

3. *Ejecución del planteamiento de la solución.* También hay que plantearla de una manera flexible y recursiva, alejada del mecanicismo. Y tener en cuenta que el pensamiento no es lineal, que hay saltos continuos entre el diseño del plan y su puesta en práctica. Al ejecutar el plan se debe comprobar cada uno de los pasos. ¿Se puede ver claramente que cada paso es correcto? Antes de hacer algo se debe pensar: ¿qué se consigue con esto? Se debe acompañar cada operación realizada de una explicación contando lo que se hace y para qué se hace. Cuando se tropieza con alguna dificultad que nos deja bloqueados, se debe volver al principio, reordenar las ideas y probar de nuevo.
4. *Visión retrospectiva, comprobar los resultados.* Es la más importante en la vida diaria, porque supone la confrontación con contexto del resultado obtenido por el modelo del problema que hemos realizado, y su contraste con la realidad que queríamos resolver. Leer de nuevo el enunciado y comprobar que lo que se pedía es lo que se ha averiguado. Debemos fijarnos en la solución. ¿Parece lógicamente posible? ¿Se puede comprobar la solución? ¿Hay algún otro modo de resolver el problema? ¿Se puede hallar alguna otra solución? Se debe acompañar la solución de una explicación que indique claramente lo que se ha hallado. Se debe utilizar el resultado obtenido y el proceso seguido para formular y plantear nuevos problemas.

Hay que pensar que no basta con conocer técnicas de resolución de problemas: se pueden conocer muchos métodos pero no cuál aplicar en un caso concreto. Por lo tanto hay que enseñar también a los alumnos a utilizar los instrumentos que conozca, con lo que nos encontramos en un nivel metacognitivo<sup>5</sup>, que es donde parece que se sitúa la diferencia entre quienes resuelven bien problemas y los demás.

Dentro de las líneas de desarrollo de las ideas de Polya, Alan Schoenfeld<sup>6</sup> da una lista de técnicas heurísticas de uso frecuente, que se agrupa en tres fases:

1. **Análisis:** Trazar un diagrama. Examinar casos particulares. Probar a simplificar el problema.
2. **Exploración:** Examinar problemas esencialmente equivalentes. Examinar problemas ligeramente modificados. Examinar problemas ampliamente modificados.
3. **Comprobación de la solución obtenida:** ¿Verifica la solución los criterios específicos siguientes: a) ¿Utiliza todos los datos pertinentes? b) ¿Está acorde con predicciones o estimaciones razonables? c) ¿Resiste a ensayos de simetría, análisis dimensional o cambio de escala?? ¿Verifica la solución los criterios generales siguientes: a) ¿Es posible obtener la misma solución por otro método? b) ¿Puede quedar concretada en caso particulares? c) ¿Es posible reducirla a resultados conocidos? d) ¿Es posible utilizarla para generar algo ya conocido?

Finalmente, hacemos una recopilación de las estrategias más frecuentes que se suelen utilizar en la resolución de problemas. Según S. Fernández (1992) serían:

---

<sup>5</sup> Capacidad que tenemos de autoregular el propio aprendizaje, es decir de planificar qué estrategias se han de utilizar en cada situación, aplicarlas, controlar el proceso, evaluarlo para detectar posibles fallos, y como consecuencia... transferir todo ello a una nueva actuación.

<sup>6</sup> Matemático norteamericano.

## Introducción a la Ingeniería

- Ensayo-error.
- Empezar por lo fácil, resolver un problema semejante más sencillo.
- Manipular y experimentar manualmente.
- Descomponer el problema en pequeños problemas (simplificar).
- Experimentar y extraer pautas (inducir).
- Resolver problemas análogos (analogía).
- Seguir un método (organización).
- Hacer esquemas, tablas, dibujos (representación).
- Hacer recuento (conteo).
- Utilizar un método de expresión adecuado: verbal, algebraico, gráfico, numérico (codificar, expresión, comunicación).
- Cambio de estados.
- Sacar partido de la simetría.
- Deducir y sacar conclusiones.
- Conjeturar.
- Principio del palomar.
- Analizar los casos límite.
- Reformular el problema.
- Suponer que no (reducción al absurdo).
- Empezar por el final (dar el problema por resuelto).

Dos consideraciones importantes:

1. La primera hace referencia a que el contexto en el que se sitúen los problemas tiene una gran importancia.
2. La segunda es que la única manera de aprender a resolver problemas es resolviendo problemas; es muy bueno conocer técnicas y procedimientos, pero vistos en acción, no sólo a nivel teórico, porque si no, es un conocimiento vacío.



# Introducción a la Ingeniería

## Desarrollo de algunas estrategias de resolución de problemas

Si consideramos un problema como una situación que se presenta en la que se sabe más o menos, o con toda claridad, a dónde se quiere ir, pero no se sabe cómo; entonces resolver un problema es precisamente aclarar dicha situación y encontrar algún camino adecuado que lleve a la meta.

A veces no sabremos si la herramienta adecuada para la situación está entre la colección de técnicas que dominamos o ni siquiera si se ha creado una técnica que pueda ser suficientemente potente para resolver el problema. Esta es precisamente la circunstancia del investigador y, por otra parte, ésta es la situación en la que nos encontramos a veces en nuestra vida normal.

La destreza para resolver genuinos problemas es un verdadero arte que se aprende con paciencia y considerable esfuerzo, enfrentándose con tranquilidad, sin angustias, a multitud de problemas diversos, tratando de sacar el mejor partido posible de los muchos seguros fracasos iniciales, observando los modos de proceder, comparándolos con los de los expertos y procurando ajustar adecuadamente los procesos de pensamiento a los de ellos. Es la misma forma de transmisión que la de cualquier otro arte, como el de la pintura, la música, etc.

Algunas estrategias son:

- i. Comenzar resolviendo un problema semejante más fácil.
- ii. Hacer experimentos, observar, busca pautas, regularidades, hacer conjeturas, tratar de demostrarlas.
- iii. Dibujar una figura, un esquema, un diagrama.
- iv. Escoger un lenguaje adecuado, una notación apropiada.
- v. Inducción.
- vi. Supongamos que no es así.
- vii. Supongamos el problema resuelto.
- viii. Si tenemos una receta y estamos seguros de que se ajusta al problema, apliquémosla.



# Introducción a la Ingeniería

## Ley de Murphy Historia y generalidades

La Ley de Murphy es una forma cómica y mayoritariamente ficticia de explicar los infortunios en todo tipo de ámbitos que, a grandes rasgos, se basa en el adagio siguiente: «Si algo puede salir mal, saldrá mal.» Esta frase, que denota una actitud “pesimista”, resignada y burlona a la vez ante el devenir de acontecimientos futuros, sería aplicable a todo tipo de situaciones, desde las más banales de la vida cotidiana hasta otras más trascendentes. La ley fue enunciada por Edward A. Murphy Jr., un ingeniero de desarrollo que trabajó durante un breve período en experimentos con cohetes sobre rieles puestos en práctica por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en 1949.

Existen diferentes teorías sobre el origen de la Ley de Murphy y sobre los detalles de cómo fue formulada inicialmente. Durante el período de 1947-1949 se desarrolló un plan denominado MX981 en campo Muroc (llamado más tarde Base Aérea Edwards) destinado a probar la resistencia humana a las fuerzas G durante una desaceleración rápida. Las pruebas usaban un cohete sobre rieles con una serie de frenos en un extremo.

Las pruebas iniciales usaban un muñeco humanoide, atado a una silla en el trineo, pero las que siguieron fueron hechas con John Paul Stapp, capitán en ese entonces, reemplazando al muñeco. Con esto se cuestionó la precisión de la instrumentación utilizada para medir las fuerzas G que el capitán Stapp experimentaba. Edward Murphy propuso utilizar medidores electrónicos de esfuerzo sujetos al arnés de Stapp para medir la fuerza ejercida sobre ellos por la rápida desaceleración. El asistente de Murphy cableó el arnés y se hizo una primera prueba utilizando un chimpancé. Sin embargo, los sensores dieron una lectura de cero.

Entonces se advirtió que se había producido un error en la instalación: cada sensor se había cableado al revés. En este momento Murphy formuló su famoso enunciado. Según George Nichols, otro ingeniero que estaba presente, Murphy, frustrado, le echó la culpa a su asistente, diciendo: «Si esa persona tiene una forma de cometer un error, lo hará». La versión de Nichols es que la «Ley de Murphy» salió en una conversación entre otros miembros del equipo; fue luego condensada a «Si puede ocurrir, ocurrirá» y llamada la ley de Murphy de forma socarrona por lo que Nichols percibía como arrogancia por parte de Murphy.

Asimismo, hay otras versiones. Algunos, incluyendo a Robert Murphy, el hijo de Edward, niegan la versión de Nichols, y sostienen que la frase se originó por parte de Edward Murphy. De acuerdo con Robert Murphy, la frase de su padre fue algo así como «Si hay más de una forma de hacer un trabajo y una de ellas culminará en desastre, alguien lo hará de esa manera». De cualquier forma, la frase salió a la luz pública por primera vez durante una conferencia de prensa en la que a Stapp se le preguntó por qué nadie resultó con heridas de importancia durante las pruebas con el cohete. Stapp replicó que fue porque se tomó en consideración la ley de Murphy. Luego citó la ley y dijo que en general significaba que era importante considerar todas las posibilidades antes de hacer una prueba.

En 1952 se cambió la frase a «Todo lo que pueda salir mal, pasará» en un epígrafe del libro *The Butcher: The Ascent of Yerupaja* de John Sack; posiblemente el primer uso impreso del nombre de Murphy en relación con la ley está en el libro de 1955 de Lloyd Mallan Men, *Rockets and Space Rats*. Irónicamente, la frase con la que se suele citar esta ley ("Lo que pueda salir mal, saldrá mal"), nunca fue pronunciada por Edward Murphy. En realidad es la Ley de Finagle de los Negativos Dinámicos. Esta frase fue popularizada por el escritor de ciencia ficción Larry Niven en varias historias sobre mineros de asteroides, que tenían una religión y cultura que incluía el miedo y la adoración del dios Finagle y su "profeta demente" Murphy.



# Introducción a la Ingeniería

## El espíritu de la ley

Sin importar la composición exacta y el origen de la frase, su espíritu conlleva el principio de diseño defensivo; el anticipar los errores que el usuario final probablemente cometerá. Los sensores de fuerza G de Murphy fallaron porque existían dos formas diferentes de conectarlos; una de ellas resultaría en lecturas correctas mientras que la otra resultaría en ausencia de lecturas. El usuario final —el asistente de Murphy en la versión histórica— podía escoger cómo conectar los cables. Cuando escogió incorrectamente, los sensores no hicieron su trabajo apropiadamente.

En la mayor parte de la tecnología bien diseñada para el uso por el consumidor común y corriente, las conexiones incorrectas se hacen difíciles. Por ejemplo, el disco de 3,5 pulgadas usado en muchos ordenadores personales no cabría fácilmente en la disquetera a menos que esté orientado correctamente. En contraste, el disco de 5,25 pulgadas podía ser insertado en una variedad de orientaciones que podían dañar el disco o la disquetera. Los discos compactos permiten una orientación incorrecta —el disco puede ser insertado al revés—. Un diseñador defensivo reconoce el hecho de que el disco puede ser insertado de manera errónea y por lo tanto alguien eventualmente lo hará.

Desde su primer anuncio público la ley de Murphy se ha esparcido rápidamente a otras culturas técnicas relacionadas con la ingeniería aeroespacial, especialmente en computación. Rápidamente sus variantes han pasado a la imaginación popular, mutando a su vez. Generalmente el espíritu de la ley captura la tendencia general a enfatizar las cosas negativas que ocurren en la vida; en este sentido, la ley es típicamente formulada como una variante de «Si algo puede salir mal, saldrá mal»; una variante frecuentemente conocida como ley de Finagle.



# Introducción a la Ingeniería

## Enfatización de lo negativo

Un ejemplo frecuentemente citado de esta tendencia a enfatizar lo negativo, es que, cada vez que una rebanada de pan untada de mantequilla cae al suelo, la gente tiende a recordar más vívidamente las veces en que cayó con el lado de la mantequilla hacia el suelo, puesto que si cayera con la mantequilla hacia arriba tendría menos consecuencias. Por lo tanto, uno tiene la impresión de que el pan siempre cae con la mantequilla hacia abajo, sin importar la verdadera probabilidad de cada ocurrencia.

Leyes como la de Murphy son una expresión directa de tales perversidades en el orden del universo. Existe una demostración física para el hecho de que efectivamente la tostada tiene mayor probabilidad de caer del lado de la mantequilla, pero es debido a otros factores. El factor principal es la altura de la mesa, por la que la tostada tiene 'tiempo' de darse media vuelta no por el peso de la mantequilla como errónea e intuitivamente se supone, sino por la rotación propia a las condiciones iniciales de la caída, pero no hay altura suficiente para dar más de media vuelta. Robert Matthews, investigador de la Aston University en Birmingham recibió en 1996 el Premio Ig Nobel de física por un estudio sobre un derivado de la ley de Murphy, es decir por la demostración del caso de la tostada en base a las constantes fundamentales.

Se han desarrollado mutaciones adicionales de la ley y sus corolarios, muchas de ellas meta-leyes de alguna clase. Por ejemplo, la analogía del pan con mantequilla podría expandirse a: «La probabilidad de que una rebanada de pan untada de mantequilla caiga con el lado de la mantequilla hacia abajo, es proporcional al precio de la alfombra».

La cultura popular ha desarrollado más de trescientos corolarios de la Ley de Murphy, pero algunos estudiosos los resumen en 14 corolarios:

1. Si algo puede salir mal saldrá mal.
2. Todo lleva más tiempo del que usted piensa.
3. Si existe la posibilidad de que varias cosas vayan mal, la que cause más perjuicios será la única que vaya mal.
4. Si usted intuye que hay cuatro posibilidades de que una gestión vaya mal y las evita, al momento aparecerá espontáneamente una quinta posibilidad.
5. Cuando las cosas se dejan a su aire, suelen ir de mal en peor.
6. En cuanto se ponga a hacer algo, se dará cuenta de que hay otra cosa que debería haber hecho antes.
7. Cualquier solución entraña nuevos problemas.
8. Es inútil hacer cualquier cosa a prueba de tontos, porque los tontos son muy ingeniosos.
9. La naturaleza siempre está de parte de la imperfección oculta.
10. La madre Naturaleza es una perezosa.
11. Es imposible enseñar algo a alguien que cree saberlo.
12. Cuando se intente demostrar que algo no funciona, funcionará. Esta ley es aplicable en vice versa.
13. No puedes ganar más de 3 veces seguidas.
14. Si te despiertas de buen humor, siempre habrá algo que vuelva malo el día.



# Introducción a la Ingeniería

## Teoría de la decisión Partes de la teoría

La teoría de la decisión es una área interdisciplinaria de estudio, relacionada con casi todos los participantes en ramas de la ciencia, ingeniería principalmente la psicología del consumidor (basados en perspectivas cognitivo-conductuales). Conciernen a la forma y al estudio del comportamiento y fenómenos psíquicos de aquellos que toman las decisiones (reales o ficticios), así como las condiciones por las que deben ser tomadas las decisiones óptimas.

Se pueden distinguir, dentro de la teoría de la decisión:

1. La teoría de la decisión normativa o prescriptiva, que busca los criterios racionales de la decisión así como las motivaciones humanas en diferentes situaciones.
2. La teoría de la decisión descriptiva, que se trata de explicar el comportamiento de quien toma decisiones en situaciones reales, con información imperfecta.

La mayor parte de la teoría de la decisión es normativa o prescriptiva, es decir concierne a la identificación de la mejor decisión que pueda ser tomada, asumiendo que una persona que tenga que tomar decisiones sea capaz de estar en un entorno de completa información, capaz de calcular con precisión y completamente racional. La aplicación práctica de esta aproximación prescriptiva (de cómo la gente debería hacer y tomar decisiones) se denomina análisis de la decisión y proporciona una búsqueda de herramientas, metodologías y software para ayudar a las personas a tomar mejores decisiones. Las herramientas de software orientadas a este tipo de ayudas se desarrollan bajo la denominación global de Sistemas para la ayuda a la decisión (decision support systems, abreviado en inglés como DSS).

Como parece obvio que las personas no se encuentran en estos entornos óptimos y con la intención de hacer la teoría más realista, se ha creado un área de estudio relacionado que se encarga de la parte de la disciplina más positiva o descriptiva, intentando describir qué es lo que la gente realmente hace durante el proceso de toma de decisiones. Se pensó en esta teoría debido a que la teoría normativa, trabaja sólo bajo condiciones óptimas de decisión y a menudo crea hipótesis, para ser probadas, algo alejadas de la realidad cotidiana. Los dos campos están íntimamente relacionados; no obstante, es posible relajar algunas presunciones de la información perfecta que llega al sujeto que toma decisiones, se puede rebajar su racionalidad y así sucesivamente, hasta llegar a una serie de prescripciones o predicciones sobre el comportamiento de la persona que toma decisiones, permitiendo comprobar qué ocurre en la práctica de la vida cotidiana.

# Introducción a la Ingeniería

## Tipos de decisiones

Existen tipos de decisión que son interesantes desde el punto de vista del desarrollo de una teoría, estos son:

- ✓ Decisión sin riesgo entre mercancías inconmensurables (mercancías que no pueden ser medidas bajo las mismas unidades). Esta área es importante cuando se ha de tomar la decisión de elegir, por ejemplo, entre comprar una tonelada de cañones y tres toneladas de mantequilla, o dos toneladas de cañones y una de mantequilla. Se trata de un estudio clásico dentro del área de microeconomía y es interesante la consideración que se hace bajo el dominio de la teoría de la decisión.
- ✓ Elección bajo impredecibilidad. Esta área representa el principal esfuerzo de investigación en la teoría de la decisión. El procedimiento se basa en el valor esperado ya conocido en el siglo XVII. El filósofo francés Blaise Pascal ya lo enunciaba en sus famosas dudas, contenidas en su Pensamientos, publicado en 1670. La idea del valor esperado consiste en que cuando afrontamos con un número de acciones, cada una de ellas con un número de resultados asociados a una probabilidad diferente, el procedimiento racional es identificar todos los posibles resultados de las acciones, determinar sus valores (positivos o negativos) y sus probabilidades asociadas que resultan de cada acción y, al multiplicar los dos valores, se obtiene el valor esperado. La acción elegida deberá ser aquella que proporcione el mayor valor esperado. En 1738, Daniel Bernoulli publicó un documento influyente denominado Exposición de una nueva Teoría sobre la Medida del Riesgo, en la que emplea la paradoja de San Petersburgo para mostrar que el valor esperado debe ser normativamente erróneo. Proporciona un ejemplo con un mercante holandés que intenta decidir si asegurar la carga que quiere enviar desde Ámsterdam a San Petersburgo en invierno, cuando se sabe que hay un 5% de posibilidad de perder la carga durante el viaje. En su solución, define por primera vez la función de utilidad y calcula la utilidad esperada en vez del valor financiero.

En el siglo XX el interés por este tema fue reiniciado por un artículo de Abraham Wald en 1939 señalando los dos temas centrales de la estadística ortodoxa de aquel tiempo: los test de hipótesis estadísticas y la teoría de la estimación estadística, que podrían ser aspectos especiales del problema general de la decisión. Este artículo introduce muchos de los ingredientes actuales de la moderna teoría de la decisión, incluyendo funciones de pérdida, función de riesgo, reglas de decisión admisibles, distribuciones a priori, teoría de Bayes de la decisión, y reglas minimax para la toma de decisión. La frase "teoría de la decisión" fue empleada por primera vez en el año 1950 por E. L. Lehmann.

El crecimiento de la teoría de probabilidad subjetiva, procedente del trabajo de Frank Ramsey, Bruno de Finetti, Leonard Savage y otros, extendiendo el ámbito de la teoría de la utilidad a situaciones donde sólo la teoría de la probabilidad subjetiva puede ser empleada. En este tiempo se asume que en economía la gente se comporta como agentes racionales humanos que toman decisiones bajo riesgo. El trabajo de Maurice Allais y Daniel Ellsberg mostró que no es tan fácilmente formalizar estas situaciones. La teoría prospectiva de Daniel Kahneman y Amos Tversky dio lugar a la economía comportacional. En esta teoría se enfatiza en las capacidades humanas (opuestas a lo normativamente correcto) en la toma de decisiones basada en "pérdidas y ganancias", la gente es más focalizada en los cambios en sus estados de utilidad y en la estimación subjetiva a menudo sesgada por anclaje.



## Introducción a la Ingeniería

La duda de Pascal es un ejemplo clásico de elección ante incertidumbre. La incertidumbre, de acuerdo con Pascal, está en saber si Dios existe. Las creencias o escepticismos personales sobre la elección de creer en su existencia.

- ✓ Elección intertemporal: estudio del valor relativo que la gente asigna a dos o más bienes en diferentes momentos del tiempo. Esta área concierne a un tipo de tomas de decisión donde intervienen una serie de acciones en diferentes instantes de tiempo. Por ejemplo, si recibiera una gran cantidad de euros en un instante de tiempo, podría gastarlos en unas vacaciones de lujo, proporcionándome un placer inmediato, o por el contrario podría invertirlo en un plan de pensiones, que me proporcionaría un beneficio en el futuro. Surge la pregunta de cuál es la decisión óptima, la respuesta depende parcialmente de factores tales como el valor de esperanza de vida, la inflación, el interés, la confianza en el sistema de pensiones, etc. Sin embargo aunque todos estos factores fueran tomados en cuenta a la hora de tomar la decisión, el comportamiento humano se desvía de las predicciones de la teoría prescriptiva, dando lugar a modelos alternativos en los que, por ejemplo, el interés objetivo se reemplaza por un descuento subjetivo.
- ✓ Decisiones sociales: decisiones tomadas en grupo o bajo una estructura organizativa

### Decisiones complejas

Otras áreas de la teoría de la decisión conciernen con la dificultad de tomar decisiones debido en parte a la "complejidad" de cálculo de las expectativas, o bien por la complejidad de la propia organización que tiene que tomar las decisiones. En tales casos la teoría no se fija tanto en obtener un cálculo basado en cómo se desvía una decisión real de una óptima, sino en la medida de la dificultad de determinar el comportamiento óptimo a la hora de tomar la decisión. Un ejemplo de esta teoría puede encontrarse en el Club de Roma, que ha desarrollado un modelo de crecimiento económico y de recursos basado en un modelo que puede ayudar a los políticos a tomar decisiones en situaciones complejas.

### Paradoja de la elección

Se ha observado en muchos casos que existe la paradoja de que muchas capacidades de elegir puede dar lugar a una pobre decisión o incluso a una elección errónea. En algunas ocasiones se ha analizado el problema desde una parálisis del análisis, real o percibido, o incluso desde una ignorancia racional. Un gran número de investigadores incluido Sheena S. Iyengar y Mark R. Lepper ha publicado estudios basados en este fenómeno. Una popularización de este análisis fue realizado por Barry Schwartz en su libro *The Paradox of Choice*.

### Etapas de la toma de decisión para dar solución a un problema

1. Identificación y diagnóstico del problema
2. Generación de soluciones alternativas
3. Selección de la mejor manera
4. Evaluación de alternativas
5. Evaluación de la decisión
6. Implantación de la decisión



# Introducción a la Ingeniería

## Componentes de la decisión

La técnica de tomar decisiones en un problema está basada en cinco componentes primordiales:

1. Información: Estas se recogen tanto para los aspectos que están a favor como en contra del problema, con el fin de definir sus limitaciones.
2. Conocimientos: Si quien toma la decisión tiene conocimientos, ya sea de las circunstancias que rodean el problema o de una situación similar, entonces estos pueden utilizarse para seleccionar un curso de acción favorable.
3. Experiencia: Cuando un individuo soluciona un problema en forma particular, ya sea con resultados buenos o malos, esta experiencia le proporciona información para la solución del próximo problema similar.
4. Análisis: No puede hablarse de un método en particular para analizar un problema, debe existir un complemento, pero no un reemplazo de los otros ingredientes. En ausencia de un método para analizar matemáticamente un problema es posible estudiarlo con otros métodos diferentes. Si estos otros métodos también fallan, entonces debe confiarse en la intuición.
5. Juicio: El juicio es necesario para combinar la información, los conocimientos, la experiencia y el análisis, con el fin de seleccionar el curso de acción apropiado. No existen substitutos para el buen juicio.

## Importancia de la toma de decisiones

En el momento de tomar una decisión es importante ya que por medio de esta podemos estudiar un problema o situación que es valorado y considerado profundamente para elegir el mejor camino a seguir según las diferentes alternativas y operaciones. También es de vital importancia para la administración ya que contribuye a mantener la armonía y coherencia del grupo, y por ende su eficiencia.

En la Toma de Decisiones, podemos considerar un problema y llegar a una conclusión válida, significa que se han examinado todas las alternativas y que la elección ha sido correcta. Uno de los enfoques más competitivos de investigación y análisis para la toma de las decisiones es la investigación de operaciones. Puesto que esta es una herramienta importante para la administración de la producción y las operaciones.

La toma de decisiones, se considera como parte importante del proceso de planeación cuando ya se conoce una oportunidad y una meta, el núcleo de la planeación es realmente el proceso de decisión, por lo tanto dentro de este contexto el proceso que conduce a tomar una decisión se podría visualizar de la siguiente manera:

- ✓ Elaboración de premisas.
- ✓ Identificación de alternativas.
- ✓ Evaluación de alternativas en términos de la meta deseada.
- ✓ Elección de una alternativa, es decir, tomar una decisión.



# Introducción a la Ingeniería

## Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta que permite conformar un cuadro de la situación actual de la empresa u organización, permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico preciso que permita en función de ello tomar decisiones acordes con los objetivos y políticas formulados.

El término FODA es una sigla conformada por las primeras letras de las palabras Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (en inglés SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). De entre estas cuatro variables, tanto fortalezas como debilidades son internas de la organización, por lo que es posible actuar directamente sobre ellas. En cambio las oportunidades y las amenazas son externas, por lo que en general resulta muy difícil poder modificarlas.

El análisis FODA surgió de una investigación conducida por el Stanford Research Institute entre 1960 y 1970. Sus orígenes nacen de la necesidad descubrir por qué falla la planificación corporativa. La investigación fue financiada por las empresas del Fortune 500, para averiguar qué se podía hacer ante estos fracasos. El equipo de investigación consistía de Marion Doshier, Dr Otis Benepe, Albert Humphrey, Robert Stewart y Birger Lie.

### Historia

Todo comenzó como una tendencia, la planificación corporativa, que aparentemente apareció por primera vez en DuPont, en 1949. Para 1960, todas las empresas del Fortune 500 tenían un “gerente de planificación corporativa” (o cargo equivalente); asociaciones de “planificadores corporativos a largo plazo” comenzaron a surgir por todo Estados Unidos y Gran Bretaña.

Sin embargo, se desarrolló una opinión unánime en todas las empresas acerca de que la planificación corporativa, en la forma de planificación a largo plazo, no estaba funcionando, no se recuperaba la inversión, y era un gasto costoso y fútil.

Se pensaba que gestionar el cambio y establecer objetivos realistas que reflejaran las convicciones de los responsables, era difícil y generalmente resultaba en compromisos cuestionables. La realidad seguía siendo que, a pesar de los planificadores a largo plazo, el único eslabón faltante era cómo lograr que el equipo gerencial aprobara y se comprometiera con una serie de programas de acción.

Para crear este eslabón, comenzando en 1960, Robert F. Stewart de SRI en Menlo Park, California, lideró un equipo de investigadores para tratar de descubrir que estaba mal en la planificación corporativa, y luego conseguir alguna solución, o crear un sistema que permitiera a los equipos gerenciales aprobar y comprometerse en el trabajo de desarrollo, algo que hoy en día denominamos “manejo del cambio”.

La investigación fue desarrollada entre 1960 y 1969. Mil cien empresas y organizaciones fueron entrevistadas, y se diseñó un cuestionario de 250 preguntas para ser completado por unos 5000 ejecutivos. Siete hallazgos clave llevaron a la conclusión de que, en las corporaciones, los jefes ejecutivos debían ser los jefes de planificación, y que sus directores inmediatos funcionales, debían ser su equipo de planificación. El Dr. Otis Benepe definió una “Cadena de lógica”, que se convirtió en el sistema medular diseñado para arreglar el eslabón necesario para obtener la aprobación y compromiso:



## Introducción a la Ingeniería

- |               |              |  |
|---------------|--------------|--|
| 1. Valores    | 4. Búsqueda  | 7. Actuar                                  |
| 2. Evaluar    | 5. Selección | 8. Monitorear y repetir los pasos 1, 2 y 3 |
| 3. Motivación | 6. Programar |  |

Se descubrió que no se podía cambiar los valores del equipo, ni establecer los objetivos para el mismo, así que se comenzó, como primer paso, haciendo la pregunta de “evaluación”, es decir ¿qué hay de bueno y de malo sobre las operaciones? ¿qué hay de bueno y de malo sobre el presente y el futuro? Establecieron que lo que es bueno en el presente es Satisfactorio, lo bueno en el futuro es una Oportunidad, lo malo en el presente es una Falta y malo en el futuro es una Amenaza. Esto se llama análisis SOFA (SOFT en inglés).

Cuando esto se presentó a Urick y Orr en 1964, en el seminario de planificación a largo plazo en el Dolder Grand en Zurich, Suiza, ellos cambiaron la falta a debilidades (W de weaknesses) y lo denominaron análisis SWOT (FODA). El SWOT fue entonces promovido en Gran Bretaña por Urick y Orr como ejercicio. Pero como tal, no era de utilidad. Lo que hacía falta era ordenar los asuntos en las categorías de planificación:

1. **Producto** (qué estamos vendiendo)
2. **Proceso** (cómo lo estamos vendiendo)
3. **Cliente** (a quién le estamos vendiendo)
4. **Distribución** (cómo se lo hacemos llegar)
5. **Finanzas** (cuales son los precios, costos e inversiones)
6. **Administración** (y cómo administramos todo esto)

El segundo paso era entonces “qué debe hacer el equipo” sobre los asuntos en cada categoría. El proceso de planificación se diseñó entonces mediante ensayo y error, y resultó finalmente en el proceso de 17 pasos, comenzando por el SOFT/SWOT, con cada asunto registrado por separado en una página, denominada “asunto de planificación”.

El primer prototipo fue probado y publicado en 1966, basado en el trabajo realizado en “Erie Technological Corp” en Erie Pennsylvania. En 1970 el prototipo se llevó a Gran Bretaña, bajo el patrocinio de W H Smith & Sons plc, y completado hacia 1973. El programa operacional fue utilizado para fusionar el negocio de molino y horneado de CWS con el de J W French Ltd.

El proceso se ha utilizado exitosamente desde entonces. Para el 2004, este sistema ha sido completamente desarrollado, y se ha probado en los problemas de establecer y aprobar objetivos anuales realistas sin depender de consultores externos o recursos costosos.

### Los siete hallazgos de la investigación

Los hallazgos fundamentales nunca se publicaron, porque se creía eran muy controversiales. Esto fue lo que se halló:

1. Una empresa está dividida en dos partes: el negocio base, más el negocio de desarrollo. Esto fue redescubierto por el Dr. Peter Senge de MIT en 1998, y publicado en su libro La Quinta Dimensión. La cantidad del negocio de desarrollo que se convierte en operacional, es mayor o igual que lo que reflejan los libros, en un período de 5 a 7 años. Esto fue una gran sorpresa y provocó la necesidad de descubrir un método mejor para planificar y manejar el cambio.



## Introducción a la Ingeniería

2. El Dr. Hal Eyring publicó sus hallazgos sobre “Justicia Distribuida”, que indicaba que toda persona mide lo que obtiene de su trabajo y lo divide entre lo que aporta a este. Este ratio lo compara con las demás personas; si no es igual, la persona primero re-percibe, y segundo, desacelera si sus exigencias adicionales no son satisfechas.
3. La introducción de un planificador corporativo distorsiona el sentido de “juego justo” en los altos niveles gerenciales, haciendo imposible el trabajo del planificador corporativo.
4. La brecha entre lo que la organización puede hacer, y lo que en realidad hace, es de cerca de 35%.
5. El ejecutivo más alto supervisa más al área de la que proviene. Así, si el ejecutivo en jefe viene del área de finanzas, supervisará mucho más dicho departamento.
6. Hay 3 factores que separan la excelencia de la mediocridad:
  - ✓ Atención especial a la procura (adquisición, compra)
  - ✓ Planes departamentales para mejorar a corto plazo, por escrito
  - ✓ Educación continua de los altos ejecutivos
7. Se requiere de alguna forma de documentación formal para obtener aprobación para el trabajo de desarrollo. En otras palabras, no se puede resolver el problema con sólo dejar de planificar.

### En conclusión

Al ordenar los asuntos del SWOT en las 6 categorías de planificación, uno puede obtener un sistema que presente una forma práctica de asimilar información interna y externa sobre la unidad de negocio, delineando las prioridades a corto y largo plazo, y permitiendo una forma sencilla de construir un equipo de trabajo que pueda lograr los objetivos de crecimiento de las ganancias.

Este método captura las aprobaciones y compromisos colectivos de aquellos que ultimadamente tienen que hacer el trabajo de alcanzar o sobrepasar los objetivos establecidos. Le permite al líder del equipo definir y desarrollar acciones coordinadas y orientadas a los objetivos, que apuntalan los objetivos generalmente aprobados entre los distintos niveles de la jerarquía de la empresa.



# Introducción a la Ingeniería

## Liderazgo

### Generalidades

Liderazgo es el conjunto de habilidades que posee una persona para influir en otra persona o conjunto de personas, haciendo que trabajen positivamente en el logro de metas y objetivos. También se entiende como la capacidad de tomar la iniciativa, gestionar, convocar, promover, incentivar, motivar y evaluar a una persona, grupo o equipo.

Implica que hay una persona, sea o no líder, que puede influir y motivar a los demás, sus seguidores. En los estudios sobre liderazgo se hace énfasis en la capacidad de persuasión e influencia, variables que tradicionalmente son denominadas carisma cuando se poseen juntas. Sin embargo, los estudios actuales en psicología y sociología han concluido que el carisma no tiene la importancia que históricamente se le había otorgado y que hay otros factores que son más determinantes a la hora de construir el liderazgo.

### Definición

Según el Diccionario de la Lengua Española, liderazgo se define como: “la dirección, jefatura o conducción de un partido político, de un grupo social o de otra colectividad.” A su vez, el Diccionario de Ciencias de la Conducta, lo define como: “las cualidades de personalidad y capacidad que favorecen la guía y el control de otros individuos”. Otra definición puede ser: “El liderazgo es un intento de influencia interpersonal, dirigido a través del proceso de comunicación, al logro de una o varias metas”.

Podemos entonces decir que existen tantas definiciones del liderazgo como que personas han tratado de definirlo. En este documento entenderemos el liderazgo como: “el proceso de dirigir las actividades laborales de los miembros de un grupo y de influir en ellas.”

Esta definición tiene cuatro implicaciones importantes.

- ➔ En primer término, el liderazgo implica a otras personas; a los empleados o seguidores. Los miembros del grupo, dada su voluntad para aceptar las órdenes del líder, ayudan a definir la posición del líder y permiten que transcurra el proceso de liderazgo; si no hubiera a quien mandar, las cualidades de liderazgo del gerente serían irrelevantes.
- ➔ En segundo término, el liderazgo entraña una distribución desigual del poder entre los líderes y los miembros del grupo. Los miembros del grupo no carecen de poder; pueden dar forma, y de hecho lo hacen, a las actividades del grupo de distintas maneras. Sin embargo, por regla general, el líder tendrá más poder.
- ➔ El tercer aspecto del liderazgo es la capacidad para usar las diferentes formas del poder para influir en la conducta de los seguidores, de diferentes maneras. De hecho algunos líderes han influido en los soldados para que mataran y algunos líderes han influido en los empleados para que hicieran sacrificios personales para provecho de la compañía. El poder para influir nos lleva al cuarto aspecto del liderazgo.
- ➔ El cuarto es la combinación de los tres primeros, pero con el reconocimiento de que el liderazgo es cuestión de valores. James MC Gregor Burns argumenta que el líder que para por alto los componentes morales del liderazgo pasará a la historia como un mandrín o algo peor. El liderazgo moral se refiere a los valores y



# Introducción a la Ingeniería

requiere que se ofrezca a los seguidores suficiente información sobre las alternativas para que, cuando llegue el momento de responder a la propuesta del liderazgo de un líder, puedan elegir con inteligencia.

La palabra "liderazgo" en sí misma puede significar un grupo colectivo de líderes, o puede significar características especiales de una figura célebre (como un héroe). También existen otros usos para esta palabra, en los que el líder no dirige, sino que se trata de una figura de respeto, como una autoridad científica, gracias a su labor, a sus descubrimientos, a sus contribuciones a la comunidad. Junto con el rol de prestigio que se asocia a líderes inspiradores, un uso más superficial de la palabra "liderazgo" puede designar a entidades innovadoras, aquellas que durante un período toman la delantera en algún ámbito, como alguna corporación o producto que toma la primera posición en algún mercado.

Algunos autores definen al líder como "la persona capaz de inspirar y asociar a otros con un sueño". Por eso es tan importante que las organizaciones tengan una misión con alto contenido trascendente, ya que es una manera muy poderosa de reforzar el liderazgo de sus directivos.

Existe una regla fundamental en el liderazgo que es la base para que un buen líder, cualquiera que éste sea, lleve a cabo un liderazgo efectivo. La mayoría de los autores la nombran la regla de oro en las relaciones personales, y es fácil, sencilla y muy efectiva: "No pongas a las personas en tu lugar: ponte tú en el lugar de las personas". En pocas palabras, así como trates a la personas, así ellas te tratarán.

## Categorías y tipos de líder

Existen diversos tipos de liderazgo que están determinados por tres aspectos, por un lado por la formalidad en su elección, y por el otro por la relación que se establezca entre líder y seguidores y por el tipo de influencia que ostente el líder sobre aquellos a quienes manda.

Por la formalidad en su elección, nos encontraremos con:

1. Liderazgo formal, el cual es preestablecido por la organización y se basa en aspectos funcionales y operacionales, y que representa la dirección de un grupo de trabajo de forma oficial o designada; Cuando el liderazgo es necesario en una organización, comúnmente por el cargo, hablamos de líderes formales. Así, este líder debe tener ciertas capacidades: habilidad comunicacional, capacidad organizativa y eficiencia administrativa, lo que equivale a decir que un buen líder es una persona responsable, comunicativa y organizada.
2. Liderazgo informal, el cual es emergente en el grupo, es el reconocimiento por los miembros de la institución de una manera informal de que tiene gran influencia, pero de una manera libre, sin ánimo retributivo y de forma carismática. En los estudios sociológicos de desarrollo comunitario por observación participativa, estas personas son claves para el trabajo de campo. En la década de 1970, varios sociólogos españoles estudiaron el tema del papel de los 'líderes informales', como un tema relevante de la sociología de la organización.

En cuanto a la relación que se establezca entre líder y seguidores podemos distinguir:

1. Liderazgo dictador: es aquel en el que el líder fuerza sus ideas en el grupo, es inflexible, le gusta ordenar y destruir la creatividad de los demás. En general, la consecuencia de este liderazgo es la inconformidad de los miembros del equipo, la poca efectividad y el incumplimiento de los objetivos.

## Introducción a la Ingeniería

2. Liderazgo autocrático: es aquel en el que la voluntad del líder es ley suprema, el líder es el único que toma decisiones y organiza el grupo, no necesita justificar las decisiones que toma, lo que genera grandes injusticias y desigualdades en el grupo.
3. Liderazgo democrático: es aquel en el que el líder asume y representa la voluntad del grupo y equipo, por lo que existe una responsabilidad compartida en todos sus componentes, ya que toma las decisiones tras discutir las con el grupo, quien opina y elige entre las alternativas de solución que presenta el líder. En general, la consecuencia de este liderazgo es equilibrio de responsabilidades y acciones, aunque el equipo tiene una reacción más lenta ante la toma de decisiones.
4. Liderazgo liberal o laissez faire: es aquel en el que el líder promueve una libertad plena entre los integrantes del equipo, por lo que cada uno actúa según su propia conveniencia y consideración, ya que el líder delega las decisiones al grupo, los integrantes del grupo gozan de total libertad para decidir. En general, la consecuencia de este liderazgo es la pérdida de visión conjunta, poca efectividad y mala calidad de las acciones y decisiones.
5. Liderazgo paternalista: es aquel en el que el líder asume una actitud que es una modalidad del autoritarismo, en el que ejerce el poder combinando decisiones arbitrarias e inapelables, con elementos sentimentales y concesiones graciosas, ya que toma las decisiones entregando recompensas y castigos a sus seguidores de acuerdo a si cumplen o no las consignas. En general, la consecuencia de este liderazgo es injusticia, desigualdad y falta de efectividad.

En cuanto al tipo de influencia que ostente el líder sobre sus subordinados, podemos distinguir:

1. Liderazgo transaccional: es aquel en el que los miembros del grupo reconocen al líder como tal y como autoridad, por lo que como consecuencia se logra entendimiento de los objetivos y metas a lograr, incrementándose la efectividad y satisfacción. El líder proporciona los recursos considerados válidos para el grupo.
2. Liderazgo transformacional o carismático: es aquel en el que el líder tiene la capacidad de modificar valores, creencias y actitudes de sus seguidores, y la cualidad de motivar con facilidad la atención y la admiración de otros gracias a una personalidad "magnética" o de apariencia. Las principales acciones de un líder carismático son: discrepancias con lo establecido y deseos de cambiarlo, propuesta de una nueva alternativa con capacidad de ilusionar y convencer a sus seguidores, y el uso de medios no convencionales e innovadores para conseguir el cambio y ser capaz de asumir riesgos personales.
3. Liderazgo auténtico: es aquel en el que el líder se concentra en liderarse a sí mismo primero. Es un líder con mucho autoconocimiento, ecuánime, espiritual, compasivo y generoso. Solo una vez que se lidera la propia mente se puede liderar a los demás.
4. Liderazgo lateral: es aquel entre personas del mismo rango dentro de una organización, se realiza entre personas del mismo rango dentro de una organización u organigrama o también se puede definir como el proceso de influir en las personas del mismo nivel organizacional para lograr objetivos en común con la organización.
5. Liderazgo en el trabajo: es aquel que se ejerce dentro del ámbito laboral. En las empresas se evalúan dos características importantes en los ejecutivos, con la intención de verificar su capacidad de dirección: por un

## Introducción a la Ingeniería

lado la aptitud y por otro la actitud. La primera se obtiene con el aprendizaje de nuevos métodos y procedimientos; por ejemplo, la capacidad de construir un balance, un flujo de caja, distribución de planta o un plan de marketing. Pero en muchos casos estos conocimientos no son aplicables, porque los gerentes carecen de una buena actitud, es decir, de un comportamiento adecuado que intente implementar dichos métodos. Entre las actitudes más solicitadas y requeridas está la habilidad de liderazgo, la misma que puede cultivarse pero que, según muchos autores, es parte de la personalidad individual. ¿Cómo saber si nosotros estamos configurados como líderes y, en caso contrario, cómo desarrollar estas habilidades en nuestra persona? Es un tema de amplio debate y estudio, pero es necesario descubrir si tenemos algo de líderes y qué cosas nos faltan para lograr serlo a cabalidad.

En la opinión de expertos en Desarrollo Organizacional, existen pocos tipos de liderazgo. En opinión de otros, no es que existan varios tipos de liderazgo: el liderazgo es uno y, como los líderes son personas (individuos con características personales definidas), las clasificaciones corresponden a la forma como ejercen o han adquirido la facultad de dirigir, circunstancia que no necesariamente implica que sea un líder.

Se pueden mencionar tres tipos de liderazgo que se refieren a formas variadas de autoridad:

- ➔ Líder tradicional: es aquél que hereda el poder por costumbre o por un cargo importante, o que pertenece a un grupo familiar de élite que ha tenido el poder desde hace generaciones. Ejemplos: un reinado.
- ➔ Líder legítimo: es aquella persona que adquiere el poder mediante procedimientos autorizados en las normas legales. El líder ilegítimo es el que adquiere su autoridad a través del uso de la ilegalidad, pero ni siquiera se le puede considerar líder, puesto que una de las características del liderazgo es precisamente la capacidad de convocar y convencer, así que un "liderazgo por medio de la fuerza" no es otra cosa que carencia del mismo. Es una contradicción, porque lo único que puede distinguir a un líder es que tenga seguidores: sin seguidores no hay líder.
- ➔ Liderazgo desarrollador: De acuerdo con esta clasificación, existen varios estilos de liderazgo:
  - ✓ Líder autócrata: un líder autócrata asume toda la responsabilidad de la toma de decisiones, inicia las acciones, dirige, motiva y controla al subalterno.
  - ✓ Líder emprendedor: un líder que adopta el estilo participativo utiliza la consulta para practicar el liderazgo. No delega su derecho a tomar decisiones finales y señala directrices específicas a sus subalternos, pero consulta sus ideas y opiniones sobre muchas decisiones que les incumben.
  - ✓ Líder liberal: mediante este estilo de liderazgo, el líder delega a sus subalternos la autoridad para tomar decisiones.
  - ✓ Líder proactivo: este tipo de liderazgo promueve el desarrollo del potencial de las personas, de la forma que un jardinero cuida y potencia su jardín.
  - ✓ Líder audaz: este tipo de persona es capaz de relacionarse con muchas instituciones y personas, persuasivo, crítico, con mirada positiva. Tiene la capacidad de consultar a las demás personas para luego tomar decisiones.



# Introducción a la Ingeniería

El liderazgo también puede clasificarse así:

1. Liderazgo individual: ejemplo a seguir.
2. Liderazgo ejecutivo: planificación, organización, dirección y control de un proyecto.
3. Liderazgo institucional.

## La Credibilidad, base del liderazgo exitoso

Según los autores del libro, *"La Credibilidad: Como se gana, se pierde, y porque la gente la reclama"*, la clave del liderazgo exitoso tiene base en la credibilidad. La credibilidad se define como tener la cualidad de ser creíble o parecer verdadero. La credibilidad es importante para cualquier líder ya que las personas están más dispuestas a seguir a alguien si pueden creer lo que esa persona dice y hace. Se debe recordar que hay una gran diferencia entre dirección y liderazgo.

Hay seis disciplinas que son clave para obtener credibilidad:

1. Descubrirse a sí mismo
2. Apreciar a los constituyentes
3. Afirmar valores compartidos
4. Desarrollar capacidad
5. Servir un propósito
6. Sostener la esperanza

Las Cuatro Estrategias del Liderazgo Efectivo, según Warren Bennis, autor del libro *"Leaders: The Strategies for Taking Charge"* en el que introduce cuatro estrategias fundamentales para líderes que buscan efectividad, son:

1. Atención mediante visión - Un líder debe captar la atención de los trabajadores mediante una visión clara y simple.
2. Sentido mediante comunicación - Un líder debe crear significado sobre su visión mediante una comunicación clara y concisa.
3. Confianza mediante posicionamiento - Un líder debe transmitir confianza a sus trabajadores mediante el posicionamiento estratégico de sus acciones.
4. La utilidad de uno mismo - Para llegar a motivar a los trabajadores un líder debe primero conocerse a sí mismo.



# Introducción a la Ingeniería

## Los dilemas humanos del liderazgo

Abraham Zalesnik, profesor e investigador de Harvard Business School, en su artículo *“Los Dilemas Humanos del Liderazgo”* contextualiza los conflictos internos que sufre quien ocupa posiciones de liderazgo (cualquiera que sea la fuente del poder que le permite ejercerlo) bajo el esquema del enfoque situacional, dentro de la corriente de la teoría de la dependencia, expuesta por Fieldler y Dessler, la cual propone tres factores como determinantes de la eficacia del liderazgo: relación líder miembro, poder de posición y estructura de la tarea.

Señala que esos tres factores son fuente de conflictos internos para los ejecutivos, ya que buscan la aprobación de sus jefes y subalternos, la posición de poder es igualmente catalizador de sentimiento de soledad y la poca estructura y predictibilidad de la tarea del ejecutivo puede llegar a agobiarlo.

Establece que el origen principal de los dilemas que enfrentan los líderes está en sus propios conflictos internos. Para tener éxito en las decisiones difíciles y los inevitables conflictos de intereses en las organizaciones se requiere que el ejecutivo resuelva o maneje sus conflictos internos de forma que su actuación no refleje sentimientos mixtos que confundan a los subalternos.

Algunos pensadores consideran que el texto expone básicamente los conflictos internos que enfrentan los ejecutivos, como resultado de su posición jerárquica y de la competencia que enfrentan en su camino a la cima, de los cuales los dilemas o disyuntivas que enfrentan no son sino una causa secundaria. Ellos señalan que la causa fundamental que da origen a los conflictos internos, inherentes a posiciones de liderazgo, es el poco grado de conocimiento que tiene de sí mismo el ejecutivo.

Difieren con el autor en la afirmación de que los líderes están expuestos a los conflictos internos comunes, ya que es precisamente la superior capacidad que tienen en el manejo de las presiones y la hostilidad, lo que los distingue de sus seguidores y hace que estos últimos sigan a los primeros. Un individuo que es presa de las ansiedades no puede dar a los seguidores el sentimiento de seguridad y guía que motiva la relación líder-seguidor.

Así pues, consideran que lo señalado por Zalesnik es una descripción de los dos tipos básicos de conflictos internos que acompañan al ejecutivo al ocupar posiciones de autoridad. Señalan que un líder no se acobarda ante posiciones de autoridad, porque se sabe capaz y digno de dirigir los destinos del grupo hacia el bienestar común. Con lo anterior no buscan atribuir al líder un absoluto dominio de sus emociones, pero sí un sensato manejo de las mismas, de lo cual carece quien no es líder.

En suma, señalan que Zalesnik confunde en este artículo al ejecutivo o gerente con el líder, atribuyendo a los líderes conflictos que no son propios de su grado de desarrollo emocional y humano, sino propios de quienes no son líderes y ocupan posiciones de autoridad. Tal parece que el mismo autor se dio cuenta de ello cuando escribió, catorce años después, su artículo titulado "Gerentes y líderes: ¿son diferentes?".

Encontrando el sentido práctico del artículo, presenta un conjunto de situaciones con las cuales puede identificarse un ejecutivo carente de liderazgo, lo que le permite estar alerta y detectar cuando las emociones perjudican su desempeño eficiente. Las seis ideas que sugiere el psicoanalista y consultor para resolver y manejar conflictos interiores son dignas de reconocimiento, por ser congruentes con la naturaleza emocional humana (en su necesidad de autoconocimiento para triunfar), con la trascendencia del papel de las ideas y su divulgación (en el éxito organizacional) y el carácter alternante del dominio que tienen los opuestos para lograr el equilibrio, todo lo anterior, encaminado al bienestar de cada individuo.

## Introducción a la Ingeniería

Por lo anterior, a continuación se presentan los aspectos fundamentales del artículo, para su conocimiento, análisis y entendimiento.

### ***La tendencia a proyectarse***

La proyección es un mecanismo mental que se caracteriza por la tendencia a colocar los conflictos en el mundo exterior, esto es, asumir una actitud propia y atribuírsela a otra persona. Esto no significa que los conflictos no se basen en las relaciones entre el individuo y su entorno.

Conviene al ejecutivo separar las condiciones internas de las que existen externamente. Al poner atención a las condiciones internas, el ejecutivo puede tratar más razonablemente las situaciones susceptibles de control, es mucho más fácil controlarse a uno mismo que controlar y cambiar el mundo en que se vive.

Formas de conflicto interior en los ejecutivos:

1. Ansiedad de posición, se refiere a los dilemas que frecuentemente experimentan los individuos que están en altos niveles jerárquicos.
2. Ansiedad de competición, se refiere a los sentimientos generados en el camino a la cumbre.

### ***Ansiedad de posición***

Proviene de la distancia que fija la autoridad entre líderes y subordinados. Cuando el individuo adquiere cierto éxito y reconocimiento laboral, ocurre un cambio en sus relaciones con los demás. Deja de recibir estímulo y apoyo, al tiempo que sus mecenas se convierten en sus adversarios. Sus relaciones con sus pares dejan la camaradería, pasando al retraimiento, cautelosidad y distancia. Está ahora dividido entre las responsabilidades de su recién adquirida autoridad y su fuerte necesidad de afecto.

Esto se debe a que cuando un individuo tiene la capacidad de controlar y afectar las acciones de otro, entonces el sentimiento que gobierna sus relaciones tiende a ser la distancia y (en el mejor de los casos) respeto, pero no la cordialidad y amistad.

Otro generador de ansiedad de posición es el temor a la agresión y las represalias, lo que les da un sentimiento de soledad. Lo último se debe a que el ejecutivo debe asumir y sostener posiciones sobre cuestiones controvertidas. La agresión debe tomarse con razonable desprendimiento, para poder tolerarla.

Reacción de los ejecutivos ante el conflicto entre ejercer autoridad y ser queridos:

- Una reacción puede ser abolir rangos, descartando todos los símbolos de posición y autoridad, para ganar simpatías haciendo el papel de “buen camarada”. Esto va desde proclamar una política de puerta abierta, hasta democratizar el trabajo proclamando la igualdad de conocimientos, de experiencia y de posición. Esta reacción fracasa tarde o temprano, porque el ejecutivo se ve inmovilizado para decidir, y todas las cuestiones se tratan con igual grado de seriedad, sin considerar su trascendencia. Lo anterior reduce la eficiencia del trabajo y aborta el propósito de su conducta, porque los subalternos llegan a abrigar un profundo y callado sentimiento de menosprecio, porque se destruyen los incentivos para la realización, y en casos extremos produce impotencia y rabia.



## Introducción a la Ingeniería

- Hiperactividad, saltar de un proyecto a otro sin concluirlo, usando la táctica de ofrecer un blanco cambiante.
- Asumir posiciones ambiguas, evasivas o indefinidas respecto de los asuntos que intervienen en el trabajo.

La ansiedad mencionada anteriormente no es una agresión hostil, sino un estira y afloja que acompaña a la solución de problemas, donde el ejecutivo que es una persona fuerte es capaz de forjarse una posición y defenderla con firmeza, y de ceder ante argumentos convincentes. Estos ejecutivos son capaces de aceptar la agresión, y la fomentan porque no creen que autoridad signifique omnipotencia. La capacidad de ceder ante ideas mejores provoca que los demás aprecien a la persona.

Humildad no es el comportamiento ejecutivo modesto, vacilante y condescendiente que con frecuencia es falsa modestia para evitar las agresiones.

### ***Ansiedad de competición***

El segundo tipo de conflicto interior es la ansiedad de competición. El mundo laboral es esencialmente competitivo. Existe competencia en el estira y afloja de la toma de decisiones y solución de problemas. Existe competencia en la lucha por los altos puestos jerárquicos. El gerente que no asimile lo anterior será relativamente ineficiente. Hay dos tipos de ansiedad de competición:

- Temor del fracaso.- Este consiste en la profunda sensación que tiene la persona de que todo lo que emprenda está condenado al fracaso. A estas personas les falta un fuerte sentimiento de identidad, carecen de amor propio y abandonan la empresa antes de fracasar. La persona no cumple con lo que se espera de ella y se refugia en el anonimato. Puede deberse a la adopción de normas fabulosas de rendimiento, por lo que compite internamente con metas inalcanzables. Puede corregirse sólo si la persona es capaz de examinar su mundo interior competitivo y compararlo con la realidad, para modificar esa estructura con normas sensatas.
- Temor del éxito.- Es contraparte del temor al fracaso. Llamado también “Complejo de Macbeth”, se integra por preocupaciones presentes en cierto grado en todas las personas. Involucra sentimientos de culpa que surgen de la idea de que el éxito sólo se obtiene perjudicando a otro. También intervienen la inquietud y la desconfianza, teme que otros lo envidien y busquen desplazarlo. Puede manifestarse en varias formas; una es luchar falsamente para alcanzar una meta, y sabotearse a sí mismo cuando esta puede conseguirse. El autosabotaje es un proceso de deshacer, evitar el éxito y con ello el sentimiento de culpa. Este proceso es llamado a menudo sacar la derrota de las mandíbulas de la victoria.

### ***Manejo del conflicto interno***

Los conflictos de interés existen dentro de los individuos, es engañoso buscar las causas del conflicto exclusivamente en fuerzas externas. Los conflictos internos forman parte del desarrollo emocional del individuo, y están ligados al liderazgo.

Los conflictos internos tienen sus raíces en los esfuerzos del individuo por obtener alguna autonomía y control sobre su ambiente. La toma de decisiones y la acción en las organizaciones es una corriente continua de intercambios de influencias, donde las fuentes de poder son muchas. La condición emocional interna del individuo se verá reflejada en las manifestaciones que produce la obtención de poder. Para resolver y manejar conflictos internos, sugiero:

## Introducción a la Ingeniería

1. *Reconocer y aceptar la diversidad de motivaciones.* El control de las propias reacciones necesita una comprensión exacta de las motivaciones de uno mismo. Se requiere aceptar los sentimientos socialmente inaceptables, como la rivalidad, antipatía, rebelión, cólera y desprecio, para conocer la propia reacción ante determinadas situaciones, con el fin de ganar flexibilidad de pensamiento y acción. Es benéfico integrar pensamiento y sentimiento, para evitar pérdida de energía y deficiencia administrativa.
2. *Establecer un firme sentimiento de identidad.* Liderar requiere un sentimiento de identidad, saber quién es uno y quién no es. Esto permite aquella libertad de acción y pensamiento que es tan necesaria para el liderazgo. Igualmente significativa es la integración creativa del pasado de uno, aceptar lo que uno es, para desarrollar una personalidad única que va más allá de los estereotipos que se ofrecen como modelos.
3. *Mantener constancia y continuidad en la respuesta.* Se relaciona íntimamente con el sentimiento de identidad la constancia en la manera como uno se representa y se presenta ante los demás. La inconstancia confunde a los compañeros de trabajo y perjudica a los subalternos en especial, ya que ellos tienen derecho a un sentimiento de seguridad que proviene de experimentar una razonable continuidad en el comportamiento del jefe.
4. *Hacerse selectivo en actividades y relaciones.* Para evitar un gasto inútil de energía emocional se necesita seleccionar cuidadosamente los asuntos en que se toma parte. Se necesita decir “no” sin temor de pérdida de estimación. Esto implica que uno no necesite la estimación de otras personas para aumentar la autoestima.
5. *Aprender a comunicar.* La solución del conflicto, tanto interno como externo, depende de las capacidades de comunicar de las personas. Conviene desarrollar una viva conciencia de las propias reacciones y trate de hacer conocer a los demás sus opiniones y actitudes, para evitar que la reacción emerja en momentos inoportunos, aumentando la confusión y preocupación de los receptores, con deterioro de la comunicación.
6. *Vivir dentro de un patrón cíclico de vida.* La utilización eficiente de la energía (indispensable para resistir las tensiones de un papel difícil) implica alternar entre actitudes activas y pasivas. Se compara con el ciclo de velar y dormir. Velar indica actividad, atención constante a los problemas, y la tensión de la concentración y acción. Dormir es pasividad, olvidarse de las preocupaciones del mundo exterior. Este patrón se aplica a realidades como trabajo o juego, hablar o escuchar, etc.

# Introducción a la Ingeniería

## ¿Eficiencia, eficacia o efectividad?

**Eficiencia:** consiste en la medición de los esfuerzos que se requieren para alcanzar los objetivos. El costo, el tiempo, el uso adecuado de factores materiales y humanos, cumplir con la calidad propuesta, constituyen elementos inherentes a la eficiencia. Los resultados más eficientes se alcanzan cuando se hace uso adecuado de estos factores, en el momento oportuno, al menor costo posible y cumpliendo con las normas de calidad requeridas

**Eficacia:** consiste en la medición de los resultados alcanzados en función de los objetivos que se han propuesto, presuponiendo que esos objetivos se mantienen alineados con la visión de la empresa o proyecto. La mayor eficacia se logra en la medida en que las distintas etapas, necesarias para arribar a esos objetivos, se cumplen de manera organizada y ordenada, sobre la base de su prioridad e importancia.

**Efectividad:** se encuentra en el equilibrio entre la eficiencia y la eficacia, entre la producción de los resultados deseados y la capacidad de producción. Es un balance entre eficiencia y eficacia, de forma tal que se logran los objetivos al menor coste posible y en el momento oportuno.

### Análisis de los Conceptos

La eficiencia es de naturaleza cualitativa, en condiciones ordinarias se propende a la optimización, lo que implica eficiencia; la eficacia es de naturaleza cuantitativa, en condiciones extraordinarias se debe cumplir la misión aún a costa de los medios. Es importante entender que la eficacia no es un defecto, pues una alta eficiencia depende de seguir estrictamente los lineamientos de la planificación, pero es conocido que la planificación debe ser flexible, pues existen variables influyentes, especialmente las del entorno, que producen cambios que de no poderse actuar en ellos podrían producir el fracaso, es en estas contingencias donde la eficacia se impone. Por otra parte, la efectividad es un balance entre lo cualitativo y lo cuantitativo, la cuantificación del cumplimiento de la meta, no importa si ésta se logra en forma eficiente o en forma efectiva, lo que se busca es lograr la meta al menor coste posible. En algunos casos, se acepta la efectividad como el logro de una meta acertadamente seleccionada en el proceso de planificación, es decir, la hipótesis que producía la solución idónea al problema o necesidad existente.

Debe mencionarse que se usa la palabra coste para denominar no solo al costo (valor monetario) de un bien o servicio, sino a la conjunción de costos económicos, costos sociales, costos ambientales, etc., de ese bien o servicio. Es una acepción más amplia, no registrada por las autoridades lingüísticas del idioma español, pero nacida de la necesidad de nombrar diferenciadamente el costo asociado a una acción humana, la afección que dicha acción causa a la sociedad, a la naturaleza y a todas aquellas variables que son, de una u otra manera, afectadas negativamente por dicha acción.

### Diferencias entre Eficiencia y Eficacia

EFICIENCIA	EFICACIA
Énfasis en los medios	Énfasis en los resultados
Hacer las cosas correctamente	Hacer las cosas correctas
Resolver problemas	Lograr metas
Ahorrar gastos	Aumentar creación de valores

## Introducción a la Ingeniería

EFICIENCIA	EFICACIA
<b>Cumplir tareas y obligaciones</b>	Obtener resultados
<b>Capacitar a los subordinados</b>	Proporcionar eficacia a subordinados
<b>Enfoque reactivo: Del pasado al presente</b>	Enfoque proactivo: Del futuro al presente
<b>Pregunta principal</b>	
<b>¿Cómo podemos hacer mejor lo que hacemos?</b>	<b>¿Qué es lo que deberíamos estar haciendo?</b>

Según Peter Drucker, un líder debe tener un desempeño eficiente y eficaz a la vez, pero, aunque la eficiencia es importante, la eficacia es aún más decisiva. Siguiendo con Drucker muchos directivos fracasan por no concentrarse en la eficacia.

Adicional, Drucker señala errores básicos que destruyen o impiden la eficacia en las organizaciones. Algunos de ellos son:

- No ser uno mismo pretendiendo seguir el modelo de otra persona.
- En las empresas, especialmente las de familia, elegir el sucesor porque es igual a uno.
- La controversia entre popularidad y eficacia directiva.

En síntesis, culmina Drucker, para ser respetado lo mejor es dar el ejemplo y el mejor ejemplo es ser eficaz y obtener resultados.

Stephen R. Covey dice que sus Siete Hábitos son de efectividad porque se basan en principios y brindan los máximos beneficios posibles a largo plazo.

### Eficiencia y Eficacia dentro de una organización

A partir de las definiciones de eficacia y eficiencia se pueden graficar las distintas situaciones que pueden presentarse y como afectan a la organización dependiendo del sector del cuadrante en que se encuentre. Puede también hacerse un análisis particular de cada sector, partiendo de la premisa de que para que una organización funcione debe tener, al menos, un mínimo nivel de eficacia y eficiencia en sus procedimientos. Lo peor que le puede ocurrir en una organización es tener bajos niveles de eficiencia y eficacia. Esto genera una actitud vegetativa. Su partida de defunción está en marcha. No tiene posibilidades de competir.

Tampoco es lógico pensar que se puede desenvolver normalmente la organización donde la preponderancia de uno de los factores sobre el otro sea abrumadora. Uno no puede imaginarse lo que puede suceder en un ente con un alto grado de eficacia y muy baja eficiencia (alcanzar los objetivos a cualquier precio). La adrenalina será altísima, pero cuando se mide el costo de alcanzar los objetivos trazados, muchas sonrisas se transformarán en muecas.

Cuando se haya puesto como objetivo alcanzar un grado de eficiencia por sobre todas las cosas, seguramente no pasará nada extraordinario o fuera de lo normal, pero esto también puede conducir a la desaparición, aunque sin demasiado ruido, de la organización. Se puede inmovilizar al ente y causar perjuicios muy altos e irreversibles, teniendo en cuenta la velocidad del cambio que debe producirse en las organizaciones para poder perdurar en este mundo altamente globalizado.

Lo peor que puede ocurrir en una organización es tener bajos niveles de eficiencia y eficacia. Esto genera una actitud vegetativa. No tiene posibilidades de competir.



UACA

## Introducción a la Ingeniería

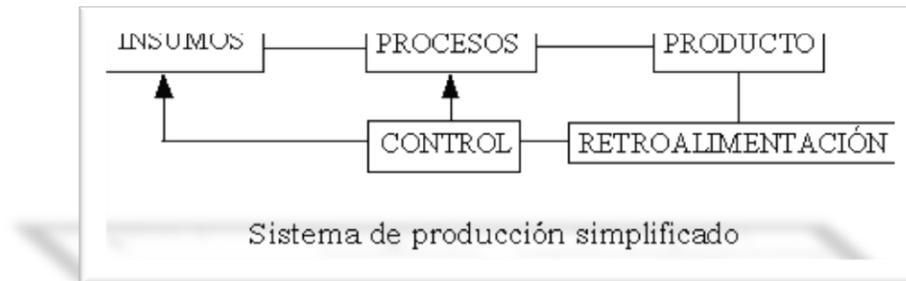
Sin duda una situación donde la Administración de la organización se desenvuelva en un alto grado de eficacia y que alcance los objetivos planteados al menor costo posible (mayor eficiencia), forma parte del ideal de todo emprendedor o de su máximo responsable. La búsqueda de un alto grado de eficacia, lograda en forma eficiente debe formar parte de la visión de la organización y formar parte vital de la misión de sus líderes.

Un líder se considerará satisfecho de haber cumplido su función y deberá ser reconocido su éxito, cuando alcance el justo equilibrio entre eficacia y eficiencia en su gestión. No sólo a nivel personal, sino transmitiéndola a todos los componentes de su grupo de trabajo. La composición de un equipo de trabajo debe procurar que sus integrantes estén conformados por una adecuada dosificación de eficacia y eficiencia a través de sus actitudes y aptitudes. En este caso se está hablando de lograr la efectividad.

## Sistemas

### Sistema

Un sistema es un conjunto de objetos unidos entre sí con un fin común. Puede entonces decirse que un sistema de producción es un conjunto de objetos y/o seres vivientes, que se relacionan entre sí para procesar insumos y convertirlos en el producto definido por el objetivo del sistema. Un sistema puede estar constituido de subsistema, que son conjuntos que pueden considerarse por sí solos como sistemas, pero que a la vez componen un sistema total mayor que ellos mismos.



**Retroalimentación:** Es la función efectuada por los controles que consiste en analizar lo que se está produciendo, compararlo con un criterio preestablecido por los objetivos del sistema y así tomar acciones según el resultado de esta comparación.

**Ruido en el Sistema:** Es cuando existe una deficiencia por mal funcionamiento del sistema. Este ruido puede ser producido por los componentes del sistema o por el medio ambiente que rodea al sistema. En el caso de los sistemas insumo-producto, para eliminar el ruido es necesario corregir o sustituir el componente del sistema que no funciona bien.

**Estabilidad del Sistema:** Es la propiedad para resistir perturbaciones, evitando que se deje de cumplir con el objetivo del sistema. Para lograr la estabilidad, es necesario que los ruidos y perturbaciones, ocasionales o casuísticas, sean compensados adecuadamente, de forma tal que su afección al sistema se vea anulada.

**Ambiente del Sistema:** Es el medio en que se encuentra inmerso el sistema y lo constituye todo aquello que lo rodea y que puede influir en su funcionamiento. El ambiente está constituido por el interno y el entorno, dos medios sobre los cuales la organización puede o no tener influencia.

**Parámetro en el Sistema:** Es el nombre genérico que define a las principales características globales del sistema, para ser más precisos el insumo, el proceso, los dispositivos de control, el producto.

### Clasificación de sistemas

- a) Físicos y Abstractos.
  - i. Físicos: son aquellos sistemas que existen físicamente.
  - ii. Abstractos: son aquellos que solo existen en forma conceptual o en la mente de alguien.

## Introducción a la Ingeniería

- b) Naturales y Artificiales.
  - i. Los naturales: son aquellos elaborados por la naturaleza.
  - ii. Los artificiales: son aquellos elaborados por el hombre.
  
- c) Abiertos y Cerrados.
  - i. Abiertos: son aquellos donde es muy difícil predecir su comportamiento. La retroalimentación existente no es controlable y en algunos casos es subjetiva.
  - ii. Sistemas cerrados: son aquellos que tienen objetivos, insumos, productos y relaciones claramente determinados por lo que el control, retroalimentación y pronóstico pueden ser establecidos de manera precisa y objetiva.
  
- d) Técnicos y Civiles o Sociales.
  - i. Los sistemas técnicos: son los que integran y aplican la tecnología para alcanzar una meta.
  - ii. Los sistemas civiles o sociales: son los que tienen como finalidad la satisfacción de un objetivo social.
  
- e) Por Proceso: a continuación la clasificación de los sistemas productivos en base a su proceso:
  - i. Sistemas continuos: Los sistemas productivos de flujo continuo son aquellos en los que las instalaciones se uniforman en cuanto a las rutas y los flujos en virtud de que los insumos son homogéneos, en consecuencia puede adoptarse un conjunto homogéneo de procesos y de secuencia de procesos. Cuando la demanda se refiere a un volumen grande de un producto estandarizado, las líneas de producción están diseñadas para producir artículos en masa. La producción a gran escala de artículos estándar es características de estos sistemas.
  - ii. Sistemas intermitentes: Las producciones intermitentes son aquellas en que las instalaciones deben ser lo suficientemente flexibles para manejar una gran variedad de productos y tamaños. Las instalaciones de transporte entre las operaciones deben ser también flexibles para acomodarse a una gran variedad de características de los insumos y a la gran diversidad de rutas que pueden requerir estos. La producción intermitente será inevitable, cuando la demanda de un producto no es lo bastante grande para utilizar el tiempo total de la fabricación continua. En este tipo de sistema la empresa generalmente fabrica una gran variedad de productos, para la mayoría de ellos, los volúmenes de venta y consecuentemente los lotes de fabricación son pequeños en relación a la producción total. El costo total de mano de obra especializado es relativamente alto; en consecuencia los costos de producción son más altos a los de un sistema continuo.
  - iii. Sistemas modulares: Hacen posible contar con una gran variedad de productos relativamente altos y al mismo tiempo con una baja variedad de componentes. La idea básica consiste en desarrollar una serie de componentes básicos de los productos (módulos) los cuales pueden ensamblarse de tal forma que puedan producirse un gran número de productos distintos.
  - iv. Sistemas por proyectos: El sistema de producción por proyectos es a través de una serie de fases; es este tipo de sistemas no existe flujo de producto, pero si existe una secuencia de operaciones, todas las tareas u operaciones individuales deben realizarse en una secuencia tal que contribuya a los objetivos finales del proyecto. Los proyectos se caracterizan por el alto costo y por la dificultad que representa la planeación y control administrativo.



## Introducción a la Ingeniería

- f) Por finalidad: a continuación la clasificación de los sistemas de producción en base a su finalidad:
- i. Primarios: están sujetos a factores incontrolables (agrícola y de extracción). Estos sistemas pueden operar como sistemas continuos o intermitentes, dependiendo de la demanda en el mercado. Cabe señalar que la industria del petróleo forma parte no sólo del sistema de extracción, sino también de la transformación.
  - ii. Secundarios: son los de transformación y artesanal (Industria del vidrio, del Acero, Petroquímica, automotriz, papelera, la de alimentos, etc.). Estos sistemas funcionan como continuos e intermitentes dependiendo de las necesidades y de la demanda del mercado. La característica de la industria de la transformación es una gran división del trabajo aplicado a la producción en masa.
  - iii. Terciarios: engloban todo el sistema productivo o de servicios.

## Productividad

### Concepto de Productividad

Este concepto ha sido definido por diversos organismos internacionales, según la perspectiva que éstos tengan de ella, en general son:

OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico): Productividad es igual a producción dividida por cada uno de sus elementos de producción.

OIT (Organización Internacional del Trabajo): Los productos son fabricados como resultados de la integración de cuatro elementos principales: tierra, capital, trabajo y organización. La relación de estos elementos a la producción es una medida de la productividad.

EPA (Agencia Europea de Productividad): Productividad es el grado de utilización efectiva de cada elemento de producción. Es sobre todo una actitud mental. Busca la constante mejora de lo que existe ya. Está basada sobre la convicción de que uno puede hacer las cosas mejor hoy que ayer, y mejor mañana que hoy. Requiere esfuerzos continuados para adaptar las actividades económicas a las condiciones cambiantes y aplicar nuevas técnicas y métodos. Es la firme creencia del progreso humano.

El concepto más generalizado de productividad es el siguiente:  $Productividad = \frac{Insumos}{Recursos\ empleados}$

De esta forma se puede ver la productividad no como una medida de la producción, ni de la cantidad que se ha fabricado, sino como una medida de lo bien que se han combinado y utilizado los recursos para cumplir los resultados específicos logrados. Esta definición de productividad se asocia con el logro de un producto eficiente, enfocando la atención específicamente en la relación del producto con el insumo utilizado para obtenerlo. Pero igual que han evolucionado otros conceptos, ha evolucionado el concepto de productividad y sobre todo han influido en ello los cambios que se han operado en la manera en que en el mercado empresarial contemporáneo se considera la **Calidad**.

La productividad evalúa la capacidad del sistema para elaborar los productos que le son requeridos (que se adecuan al uso) y a la vez el grado en que se aprovechan los recursos utilizados, es decir el valor agregado. Para realizar esta evaluación, requiere valorar una serie de tiempos improductivos, que se consideran a continuación.

### Tiempos improductivos

#### *Tiempo improductivo aplicable al producto*

Debe considerarse el tiempo improductivo aplicable al producto como el tiempo que se desperdicia debido a que, por efectos de diseño, se debe tener lapsos sin producción, períodos en que no se puede producir. En este tema existen una serie de conceptos que es necesario conocer:

- El estudio previo del producto y el análisis del valor, reducen el exceso de contenido de trabajo debido a deficiencias de diseño.
- La especialización y la normalización permiten emplear procedimientos de gran producción.

## Introducción a la Ingeniería

- El estudio del mercado, de la clientela y de los productos garantiza normas acertadas de calidad.
- La investigación del producto y el análisis del valor reducen el contenido del trabajo debido al exceso de material.

### *Tiempo improductivo aplicable al método o proceso*

Cuando se tiene el diseño del producto listo, debe procederse a implementar el proceso de forma tal que:

- La planificación del proceso asegure la elección de maquinaria apropiada.
- La planificación y la investigación del proceso garanticen la buena marcha de los procedimientos.
- La planificación del proceso y el estudio de métodos aseguren la elección acertada de las herramientas.
- El estudio de los métodos reduzca el contenido de trabajo imputable a la mala disposición de los locales.
- El estudio de métodos y la formación del operario reduzcan el contenido de trabajo imputable a malos métodos de trabajo.

### *Tiempo improductivo aplicable a la dirección de la empresa*

La empresa como tal, desde su cúspide ejecutiva hasta la operativa, produce tiempos inactivos por efecto de la mala planificación, la incorrecta correlación de sus integrantes y otros aspectos más. La dirección de la empresa debe buscar que:

- La comercialización y la especialización reduzcan el tiempo de inactividad debido a la variedad de productos.
- La normalización reduzca la inactividad debida a períodos cortos de producción.
- La investigación del producto reduzca el tiempo improductivo debido a cambios de diseño.
- El control de la producción basado en la medición del trabajo reduzca la inactividad debido a la mala planificación.
- El control de materiales reduce la inactividad por falta de materias primas.
- La conservación reduzca la inactividad de hombres y máquinas por averías.
- La conservación reduzca el tiempo improductivo debido al mal estado de las instalaciones.
- La mejora de las condiciones de trabajo permita trabajar con mayor regularidad.
- Las medidas de seguridad reduzca el tiempo improductivo debido a accidentes.

### *Tiempo improductivo por el trabajador*

El trabajador involucrado directamente en el proceso, forma parte de los generadores de tiempo improductivo, por razones inherentes a su naturaleza, a continuación algunas acciones acertadas para disminuir estas afectaciones.

- Una buena política de personal y los incentivos reducen el tiempo improductivo debido a ausencias, etc.
- La política de personal y la formación de los operarios reducen el tiempo improductivo debido a negligencia.
- El conocimiento de las medidas de seguridad reduce el tiempo improductivo debido a accidentes.



# Introducción a la Ingeniería

## Calidad

### Historia de la calidad

La calidad no es un tema nuevo ya que desde los tiempos de los jefes tribales, reyes y faraones han existido los argumentos y parámetros sobre calidad. El Código de Hammurabi (1752 A.C.), declaraba: “Si un albañil construye una casa para un hombre, y su trabajo no es fuerte y la casa se derrumba matando a su dueño, el albañil será condenado a muerte”. Los inspectores fenicios, cortaban la mano a quien hacía un producto defectuoso, aceptaban o rechazaban los productos y ponían en vigor las especificaciones gubernamentales. Alrededor del año 1450 A.C., los inspectores egipcios comprobaban las medidas de los bloques de piedra con un pedazo de cordel. Los mayas también usaron este método. La mayoría de las civilizaciones antiguas daban gran importancia a la equidad en los negocios y cómo resolver las quejas, aun cuando esto implicara condenar al responsable a la muerte, la tortura o la mutilación.

Con el pasar de los años, en el siglo XIII, empezaron a existir los aprendices y los gremios, por lo que los artesanos se convirtieron tanto en instructores como en inspectores, ya que conocían a fondo su trabajo, sus productos y sus clientes, y se empeñaban en que hubiera calidad en lo que hacían, a este proceso se le denominó control de calidad del operario. El gobierno fijaba y proporcionaba normas y, en la mayor parte de los casos, un individuo podía examinar todos los productos y establecer un patrón de calidad único. Este estado de los parámetros de aplicación de la calidad podía florecer en un mundo pequeño y local, pero el crecimiento de la población mundial exigió más productos y, por consecuencia, una mayor distribución a gran escala, en la primera guerra mundial también se dio al control de la calidad del capataz.

Es así que con la ayuda de la Revolución industrial, la producción en masa de productos manufacturados se hizo posible mediante la división del trabajo y la creación de partes intercambiables; sin embargo, esto creó problemas para los que estaban acostumbrados a que sus productos fueran hechos a la medida.

El sistema industrial moderno comenzó a surgir a fines del siglo XIX en los Estados Unidos, donde Frederick Taylor fue el pionero de la Administración Científica; suprimió la planificación del trabajo como parte de las responsabilidades de los trabajadores y capataces y la puso en manos de los Ingenieros Industriales, que se les conoce como Ingenieros de Métodos y Tiempos.

En el siglo XX se desarrolló una era tecnológica que permitió que las masas obtuvieran productos hasta entonces reservados sólo para las clases privilegiadas. Fue en este siglo cuando Henry Ford introdujo en la producción de la Ford Motor Company la línea de ensamblaje en movimiento. La producción de la línea de ensamblaje dividió operaciones complejas en procedimientos sencillos, capaces de ser ejecutados por obreros no especializados, dando como resultado productos de gran tecnología a bajo costo. Parte de este proceso fue una inspección para separar los productos aceptables de los no aceptables. Fue entonces cuando la calidad era sólo la responsabilidad del departamento de fabricación. Muy pronto se hizo evidente que la prioridad del director de la producción era cumplir con los plazos fijados para fabricación en lugar de preocuparse por la calidad. Perdería su trabajo si no cumplía con las demandas de la producción, mientras que sólo recibiría una sanción si la calidad era inferior. Eventualmente la alta dirección llegó a comprender que la calidad sufría a causa de este sistema, de modo que se creó un puesto separado para un inspector jefe.

Entre 1920 y 1940 la tecnología industrial cambió rápidamente. La Bell System y su subsidiaria manufacturera, la Western Electric, estuvieron a la cabeza en el control de la calidad instituyendo un departamento de



## Introducción a la Ingeniería

ingeniería de inspección que se ocupara de los problemas creados por los defectos en sus productos y la falta de coordinación entre su departamentos. George Edwards y Walter A. Shewhart, como miembros de dicho departamento, fueron sus líderes. Edwards declaró: “Existe el control de la calidad cuando artículos comerciales sucesivos tienen sus características más cercanas al resto de sus compañeros y más aproximadamente a la intención del diseñador de lo que sería el caso si no se hiciera la aplicación. Para mí, cualquier procedimiento, estadístico u otro que obtenga los resultados que acabo de mencionar es control de calidad, cualquier otro que no obtenga estos resultados no los es”. Edwards acuñó la frase «seguridad en la calidad» y la defendía como parte de la responsabilidad de la administración.

En 1924 el matemático Walter A. Shewhart introdujo el Control de la Calidad Estadístico, lo cual proporcionó un método para controlar económicamente la calidad en medios de producción en masa. Shewhart se interesó en muchos aspectos del control de la calidad. Aunque su interés primordial eran los métodos estadísticos, también estaba muy consciente los principios de la ciencia de la administración y del comportamiento, siendo él la primera persona en hablar de los aspectos filosóficos de la calidad. El punto de vista de que la calidad tiene múltiples dimensiones es atribuible únicamente a Shewhart.

En 1935, E. S. Pearson desarrolló el British Standard 600 para la aceptación de muestras del material de entrada, el cual fue sucedido por el British Standard 1008, adaptación del 4I U.S. Z –1 Standard desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial. La Segunda Guerra Mundial apresuró el paso de la tecnología de la calidad. La necesidad de mejorar la calidad del producto dio por resultado un aumento en el estudio de la tecnología del control de la calidad. Fue en este medio ambiente donde se expandieron rápidamente los conceptos básicos del control de la calidad. Muchas compañías pusieron en vigor programas de certificación del vendedor. Los profesionistas de la seguridad en la calidad desarrollaron técnicas de análisis de fracasos para solucionar problemas; los técnicos de la calidad comenzaron a involucrarse en las primeras fases del diseño del producto y se iniciaron las pruebas del comportamiento ambiental de los productos.

En 1946 se instituyó la ASQC (American Society for Quality Control) y su presidente electo, George Edwards, declaró en aquella oportunidad: “La calidad va a desempeñar un papel cada vez más importante junto a la competencia en el costo y precio de venta, y toda compañía que falle en obtener algún tipo de arreglo para asegurar el control efectivo de la calidad se verá forzada, a fin de cuentas, a verse frente a frente a una clase de competencia de la que no podrá salir triunfante”. En se mismo año, Kenichi Koyanagi fundó la JUSE (Union of Japanese Scientists and Engineers) con Ichiro Ishikawa como su primer presidente. Una de las primeras actividades de la JUSE fue formar el Grupo de Investigación del Control de la Calidad (Quality Control Research Group: QCRG) cuyos miembros principales fueron Shigeru Mizuno, Kaoru Ishikawa y Tetsuichi Asaka, quienes desarrollaron y dirigieron el control de la calidad japonés, incluyendo el nacimiento de los círculos de la calidad.

Después de acabar la Segunda Guerra Mundial Japón estaba frente a la reconstrucción del país, y las fuerzas de ocupación estadounidenses decidieron apoyarlo en la reconstrucción de su economía con el fin de evitar que recuperara su capacidad bélica. Para eso Estados Unidos envió a un grupo de expertos para ayudar en su labor. Sin embargo, antes debían ganarse la confianza de los japoneses, que los veían como meros enemigos, por lo que se lanzaban a través de la radio mensajes pro-EE.UU. Lamentablemente Japón no contaba con radios, y se propuso montar unas fábricas orientadas a su fabricación. Pero, como se contaba con mano de obra inexperta, el resultado fue la mala calidad de las radios creadas. Para sanar este problema se creó el NETL (National Electric Testing Laboratory), sin embargo poco tiempo después se reconoció que esa estrategia no era buena, y se decidió reorientar los esfuerzos a la capacitación de esta nueva generación de administradores japoneses. Esto se consiguió gracias al programa realizado por la organización llamada Unión de Científicos e Ingenieros del Japón.



## Introducción a la Ingeniería

Entre los temas de capacitación se incluyó el control estadístico de la calidad, este tema fue aplicado gracias a los aportes de Walter A. Shewhart. La JUSE vio en esta temática una razón de la victoria de los EE.UU en la guerra, por lo que solicitaron a la CCS que les recomendaran a expertos en este tema para poder profundizar y reforzar el tema. Debido a que Shewhart no estaba disponible, se les recomendó a un profesor de la Universidad de Columbia, que había estudiado y ampliado los temas Shewhart; este profesor era W. Edwards Deming. Ya en 1947 Deming había estado en Japón como parte de una misión de observación económica, por lo que ya lo conocían los japoneses, lo que facilitó su incorporación como instructor.

En 1950 W. Edwards Deming, un hombre dedicado a la estadística que había trabajado en la Bell System con George Edwards y Walter A. Shewhart, fue invitado a hablar ante los principales hombres de negocios del Japón, quienes estaban interesados en la reconstrucción de su país al término de la Segunda Guerra Mundial, e intentando entrar en los mercados extranjeros y cambiando la reputación del Japón de producir artículos de calidad inferior. Deming los convenció de que la calidad japonesa podría convertirse en la mejor del mundo al instituirse los métodos que él proponía.

Muchas empresas comienzan a trabajar con el concepto de “Sistema Integral de Calidad”, que afecta al diseño, la fabricación y la comercialización, produciéndose un fenómeno singular que afectó a la comercialización y economía industrial de muchos países, como consecuencia del despegue de la industria japonesa, aplicando los conceptos del aseguramiento de la calidad y la prevención.

Los industriales japoneses aprendieron las enseñanzas de Deming y la calidad japonesa, la productividad y su posición competitiva se mejoraron y reforzaron, para ser lo que son hoy en día. Es por ello que cada año se otorga en el Japón los muy deseados Premios Deming al individuo que muestre logros excelentes en teoría o en la aplicación del control de la calidad por estadísticas, o aquella persona que contribuya notablemente a la difusión de las técnicas del control de calidad por estadísticas, así como a su aplicación. Las compañías japonesas que han obtenido dichos premios incluyen Nissan, Toyota, Hitachi y Nipon Steel. En 1989, la Florida Power and Light Company fue la primera compañía extranjera en ganar el premio Deming.

En los años 1960 y 1970, Armand V. Feigenbaum fijó los principios básicos del control de la calidad total (Total Quality Control, TQC): el control de la calidad existe en todas las áreas de los negocios, desde el diseño hasta las ventas. Hasta ese momento todos los esfuerzos en la calidad habían estado dirigidos a corregir actividades, no a prevenirlas. Es así que en 1958, un equipo japonés de estudio de control de la calidad, dirigido por Kaoru Ishikawa, visitó a Feigenbaum en General Electric; al equipo le gustó el nombre TQC y lo llevó consigo al Japón; sin embargo, el TQC japonés difiere del de Feigenbaum.

Con la Guerra de Corea se incrementó aún más el énfasis en la confiabilidad y ensayos del producto final. A pesar de todos los ensayos adicionales realizados, ello no capacitaba las firmas para hacerle frente a sus objetivos de calidad y confiabilidad, de modo que empezaron surgir los programas del conocimiento y mejoramientos de la calidad en las áreas de la fabricación e ingeniería. El aseguramiento de la calidad en la industria de los servicios (Service Quality Assurance: SQA) también se empeñó a enfocarse al uso de los métodos de la calidad en los hoteles, bancos, gobierno y otros sistemas de servicios.

En 1954, Joseph Juran fue invitado al Japón para explicar a administradores de nivel superior y medio el papel que les tocaba desempeñar en la obtención de las actividades del control de la calidad. Su visita fue el inicio de una nueva era de la actividad del control de la calidad, dirigiendo la senda de las actividades hacia esta y basadas tecnológicamente en fábricas hacia un interés global sobre la misma en todos los aspectos de la administración en una organización. En uno de sus libros más importantes, *Managerial Breakthrough*



# Introducción a la Ingeniería

("Adelanto Administrativo"), él responde la pregunta de muchos administradores, "¿para qué estoy aquí?". Él explica que los administradores tienen dos funciones básicas:

- a. Romper los procesos existentes para llegar a nuevos niveles de rendimiento, y
- b. Mantener los procesos mejorados en sus nuevos niveles de rendimiento.

Estas nociones básicas con capitales en el respaldo de la filosofía del TQC tal como se conoce hoy en día. Otro libro importante es Quality Control Handbook (Manual del Control de la Calidad), una guía para el mejoramiento de la calidad.

A mediados y finales de los años 1950 se le dio nombre al TQC por los trabajos hechos por Armand V. Feigenbaum, pero sus conceptos se desarrollaron tomando como base las obras de Deming y Juran. El TQC extendió el concepto de la calidad para incluir esta en diseño y en el rendimiento, así como también el punto de vista tradicional de la misma. El TQC requiere que todos los empleados participen en las actividades de mejoramientos de la calidad, desde el presidente de la junta de directores hasta los obreros, pasando por quienes atienden a los clientes y toda la comunidad.

A finales de los años 1960 los programas de la calidad se habían extendido a través de la mayoría de las grandes corporaciones estadounidenses. Esta industria ocupaba la primera posición en los mercados mundiales, mientras que Europa y Japón continuaban su reconstrucción.

La competencia extranjera empezó a ser una amenaza para las compañías estadounidenses en los años 70's. La calidad de los productos japoneses, en especial en las ramas automotrices y de artículos electrónicos, comenzó a sobrepasar la calidad de los productos elaborados en Estados Unidos. Los consumidores fueron haciéndose más sofisticados al decidir sus compras y empezaron a pensar en el precio y calidad en términos de la duración del producto. El aumento del interés por parte del consumidor en la calidad y competencia extranjera obligó a los administradores estadounidenses a preocuparse cada vez más por la calidad.

El final de los años 70's y el principio de los 80's fue marcado por un empeño en la calidad en todos los aspectos de los negocios y organizaciones de servicios, incluyendo las finanzas, ventas, personal, mantenimientos, administración, fabricación y servicio. La reducción en la productividad, los altos costos, huelgas y alto desempleo hicieron que la administración se volviera hacia el mejoramiento en la calidad como medio de supervivencia organizacional.

## Conceptualización

La calidad es una propiedad inherente de cualquier objeto, que permite que este sea comparado con cualquier otro de su misma especie. La palabra calidad tiene múltiples significados, entre ellos que es un conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.

Se puede establecer que la calidad de un producto o servicio es la percepción que el cliente tiene del mismo, es una fijación mental del consumidor que asume conformidad con dicho producto o servicio y la capacidad del mismo para satisfacer sus necesidades. Por tanto, debe definirse en el contexto que se esté considerando, por ejemplo, la calidad del servicio postal, del servicio dental, del producto, de vida, etc.



# Introducción a la Ingeniería

Desde la perspectiva de la producción, La calidad puede definirse como la conformidad relativa con las especificaciones, a lo que al grado en que un producto cumple las especificaciones del diseño, entre otras cosas, mayor su calidad o también como comúnmente es encontrar la satisfacción en un producto cumpliendo todas las expectativas que busca algún cliente, siendo así controlado por reglas las cuales deben salir al mercado para ser inspeccionado y tenga los requerimientos estipulados por las organizaciones que hacen certificar algún producto.

Desde una perspectiva de valor, la calidad significa aportar valor al cliente, esto es, ofrecer unas condiciones de uso del producto o servicio superiores a las que el cliente espera recibir y a un precio accesible. También, la calidad se refiere a minimizar las pérdidas que un producto pueda causar a la sociedad humana mostrando cierto interés por parte de la empresa a mantener la satisfacción del cliente.

Una visión actual del concepto de calidad indica que calidad es entregar al cliente no lo que quiere, sino lo que nunca se había imaginado que quería y que una vez que lo obtenga, se dé cuenta que era lo que siempre había querido.

## Definiciones formales

Algunas definiciones de organizaciones reconocidas y expertos del mundo de la calidad son:

1. *ISO 9000*: "Calidad: grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos"
2. *Real Academia de la Lengua Española*: "Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie"
3. *Philip Crosby*: "Calidad es cumplimiento de requisitos"
4. *Joseph Juran*: "Calidad es adecuación al uso del cliente".
5. *Armand V. Feigenbaum*: "Satisfacción de las expectativas del cliente".
6. *Genichi Taguchi*: "Calidad es la menor pérdida posible para la sociedad".
7. *William Edwards Deming*: "Calidad es satisfacción del cliente".
8. *Walter A. Shewhart*: "La calidad como resultado de la interacción de dos dimensiones: dimensión subjetiva (lo que el cliente quiere) y dimensión objetiva (lo que se ofrece).

Nunca se debe confundir la calidad con niveles superiores de atributos del producto o servicio, sino que debe relacionarse con la obtención regular y permanente de los atributos del bien ofrecido que satisfaga a los clientes para los que ha sido diseñado.

En general, asumiremos que la calidad es la adecuación al uso de un determinado producto, partiendo del hecho que la misma se ve afectada por tres factores relevantes: el usuario o cliente, el productor y la sociedad representada por el gobierno.



# Introducción a la Ingeniería

Así las cosas, desde la perspectiva del cliente adecuación al uso implica que el producto o servicio debe cumplir con las expectativas para el cual fue adquirido, siempre que la adquisición sea racional. Una adquisición racional es aquella en la cual se conoce el uso para el cual se desea adquirir un producto o servicio y se conocen las características generales del mismo.

Desde la perspectiva del productor, adecuación al uso significa que los productos son diseñados y fabricados bajo especificaciones que le permiten satisfacer la calidad demandada por los clientes, pero también le permite competir con el mercado y lograr los beneficios que le facilitan permanecer en el tiempo<sup>7</sup>.

Desde la perspectiva de la sociedad, adecuación al uso significa que el producto o servicio serán creados y operados garantizando los mínimos costes para la sociedad. En esta perspectiva, coste se considera como la suma de los costos económicos, ambientales, sociales, de oportunidad, en general, como la suma tanto de los costos internos de la producción como de las externalidades de ella: uso, desecho, relación ambiental, etc.

## Factores relacionados con la calidad

Para conseguir una buena calidad en el producto o servicio hay que tener en cuenta tres aspectos importantes (dimensiones básicas de la calidad):

1. Dimensión técnica: engloba los aspectos científicos y tecnológicos que afectan al producto o servicio.
2. Dimensión humana: cuida las buenas relaciones entre clientes y empresas.
3. Dimensión económica: intenta minimizar costes.

Otros factores relacionados con la calidad son:

1. Cantidad justa y deseada de producto que hay que fabricar y que se ofrece.
2. Rapidez de distribución de productos o de atención al cliente.
3. Precio exacto (según la oferta y la demanda del producto).

También deben tenerse en cuenta los parámetros de la calidad:

Calidad de diseño: grado en el que un producto o servicio se ve reflejado en su diseño.

Calidad de conformidad: grado de fidelidad con el que un producto o servicio reproduce su diseño.

Calidad de uso: grado de usabilidad del producto: facilidad de uso, seguridad, fiabilidad, etc.

El cliente es el nuevo objetivo: las nuevas teorías sitúan al cliente como parte activa de la calificación de la calidad de un producto, intentando crear un estándar en base al punto subjetivo de un cliente. La calidad de un producto no se va a determinar solamente por parámetros puramente objetivos sino incluyendo las opiniones de un cliente que usa determinado producto o servicio.

---

<sup>7</sup> Permanecer en el tiempo es el fin último de toda empresa, siendo la generación de utilidades, penetración de mercados, consolidación de la marca y otros factores de similar índole, la consecuencia de la búsqueda de este fin.



# Introducción a la Ingeniería

## Capítulo 3 Sistema Internacional de Unidades

Historia

¿Qué es el SI?

Ámbito de aplicación

Unidad coherente



# Introducción a la Ingeniería

## Capítulo 4 Los proyectos de ingeniería Generalidades

El desarrollo de Proyectos en la Ingeniería es una actividad que ha existido desde la antigüedad, gracias a la cual las grandes civilizaciones que hoy estudiamos en la historia, tuvieron tanto éxito y una repercusión trascendental en la historia de la humanidad. Si atendemos a la tradición histórica de los proyectos de ingeniería, estos en sus orígenes estuvieron casi siempre ligados a la creación y planificación de infraestructuras, bien a través de la construcción de obras civiles o a través de la construcción de obras militares.

En la época de la Ingeniería Romana es cuando empiezan a definirse y planificarse asuntos claves como la gestión de los costos, la planificación temporal de los equipos de trabajo para la ejecución de los proyectos, o la aplicación de soluciones estandarizadas y normalizadas.

El gran avance en el campo del desarrollo de proyectos se produjo a partir de la Revolución Industrial, y principalmente durante la Segunda Guerra Mundial, cuando por una parte los grandes esfuerzos realizados durante el desarrollo de la guerra<sup>8</sup>, hicieron necesario una muy detallada planificación y gestión de los recursos, siendo además precedidos por su integración en los sistemas industriales y empresariales, procesos de optimización y estudio, de forma que transformaron de una manera definitiva lo que hasta entonces habían sido los procesos de administración por Proyectos, en toda una disciplina de investigación: la gestión de Proyectos.

Los proyectos de ingeniería no son actividades de rutina, cotidianas u operaciones y sus parámetros de definición y control<sup>9</sup> exigen la participación de las más diversas áreas de la organización e institucionales, para minimizar los riesgos que los éstos envuelven<sup>10</sup>. En la toma de decisiones en los proyectos son consideradas las opiniones de sectores tan diversos como: Mercadeo, Ingeniería del producto, Ingeniería de procesos, Operación y Mantenimiento. Un plan concebido y aprobado por todas las partes implicadas tiene más posibilidades de alcanzar el éxito.

El ciclo de vida de un proyecto se compone de varias fases características, no siempre bien diferenciadas, pero que deben ser analizadas individualmente para prever las necesidades básicas de cada una. Estas fases son las siguientes:

- ➔ Concepción
- ➔ Viabilización
- ➔ Implantación
- ➔ Operación

Durante el desarrollo de las diversas fases del ciclo de vida, los requisitos de la organización y las funciones que participan varían, pero si el proyecto es muy importante para la empresa, la estructura transitoria necesaria será en todo momento vinculada a la Dirección y/o Presidencia de la empresa.

---

<sup>8</sup> Por ejemplo el Proyecto Manhattan, que desarrolló la primera bomba atómica, o la creación de las bombas V2 alemanas.

<sup>9</sup> Objeto de proyecto; presupuesto; programación, etc.

<sup>10</sup> Financieros, económicos, imagen de la empresa, expansiones / adecuaciones futuras, impacto ambiental, entre otros.



# Introducción a la Ingeniería

## El proceso de ejecutar proyectos en ingeniería

### Definición de proyecto de Ingeniería

El concepto de proyecto no es algo que resulte fácil ni trivial de definir, si atendemos a la definición que nos da el real Diccionario de la Lengua, encontramos que proyecto es:

- Diseño o pensamiento de ejecutar algo.
- Planta o disposición que se forma para un tratado, o para la ejecución de una cosa de importancia, anotando y extendiendo todas las circunstancias principales que deben concurrir para su logro.
- Conjunto de escritos, cálculos y dibujos que se hacen para dar una idea de cómo ha de ser y lo que ha de costar una obra de arquitectura o ingeniería.

Tal y como citábamos anteriormente, los primeros proyectos se desarrollaron en el campo de la Ingeniería Civil, y el Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos de España define el proyecto como “el conjunto de documentos que definen una obra, de tal manera que un facultativo distinto del autor puede dirigir con arreglo a los mismos las obras o trabajos correspondientes”.

Sin embargo existen otra serie de autores y asociaciones que tienen otra definición de lo que es un proyecto, así según el manual de gestión del grupo industrial ABB “un proyecto es un trabajo no repetitivo, que debe planificarse y realizarse según unas especificaciones técnicas, y con objetivos de costes, inversiones y plazos prefijados”, y autores como David I. Cleland, el proyecto es “la combinación de recursos humanos y no humanos reunidos en una organización temporal para conseguir un propósito determinado”.

Así pues, y tomando en consideración todas las posibles concepciones, tomaremos como definición:

*Conjunto de tareas interdependientes orientadas a un fin específico, con una duración predeterminada, una planificación estructurada y una ejecución coordinada y sistematizada.*

Por tanto en todo proyecto de Ingeniería nos encontraremos al menos con:

- Un Propósito u objetivo bien definido, con el fin de cubrir una necesidad que cubrir o satisfacer.
- Documentación descrita con claridad, sin dejar espacio para la ambigüedad.
- Unos medios para su ejecución y órganos para su control.
- Una planificación técnica.
- Un estudio económico.
- Una organización temporal.
- Un proceso no repetitivo, y con resultados únicos.

### Características principales de los proyectos

En general se considera que un proyecto se caracteriza por:

- ✓ **Temporalidad:** en la definición del proyecto se establecen claramente su fecha de comienzo y fecha de finalización, que pueden verse alteradas por distintos motivos, pero un proyecto no puede extenderse indefinidamente. Esta propiedad no tiene que aplicarse a los objetivos o resultados del propio

## Introducción a la Ingeniería

proyecto, que pueden ser un producto que se fabrique mientras el mercado lo demande, es decir, indefinidamente.

- ✓ **Producto, Servicio o Resultado único:** Los proyectos tienen por objetivo el desarrollo de algo que no haya sido hecho hasta entonces, por tanto algo único, y esto es válido incluso cuando habiendo proyectos que aparentemente parezca que replican otros, porque parecen tener unos mismos objetivos y mismas condiciones, en realidad no lo son, puesto que el simple hecho de cambiar de emplazamiento, o de los medios de los que se dispone, hacen que el desarrollo de ese producto o servicio cambie completamente, y sea algo nuevo.
- ✓ **Desarrollo progresivo:** El hecho de que el resultado de cada proyecto es único, implica que el desarrollo del proyecto para conseguir este objetivo también lo es, por lo tanto es indispensable proceder en su ejecución de una forma progresiva, estructurada y planificada.

### Desarrollo de un proyecto

A la hora de planificación y puesta en marcha de todo proyecto de ingeniería, es necesario establecer una serie de referencias que nos permitan delimitar tanto el ámbito de acción del propio proyecto (objetivos), como las fases en la evolución del mismo, las herramientas e instrumentos a utilizar, y los planes de trabajo necesarios para la consecución de los resultados y objetivos previstos. Todo ello forma parte de lo que podríamos llamar actividades de desarrollo del proyecto.

#### Objetivos

En toda planificación, planteamiento y desarrollo de un proyecto, un concepto básico es la definición del objetivo, que se fundamenta en tres variables fundamentales: el resultado, el coste y los plazos temporales. Para poder decir que se han logrado los objetivos del proyecto completamente, tendremos que alcanzar una calidad final de los resultados, ajustados a un determinado coste, y en unos plazos de tiempo pre-establecidos. El incumplimiento de alguna de estas facetas provocara el que el proyecto no se pueda considerar como exitoso íntegramente.

Por regla general, tanto el costo económico como los plazos son fijados previamente al comienzo del proyecto, y por tanto son los factores que más se pueden tener en cuenta a la hora de analizar una correcta gestión de todo el proyecto. Los resultados sin embargo pueden estar supeditados a factores externos, o tecnológicos, por lo que no guardan una dependencia directa y total con la gestión.

A su vez, los tres términos muestran una interdependencia, de forma que cuanto más ambiciosos son los resultados, mayores son los costes y más largos los plazos de ejecución. Así pues, los tres objetivos forman un sistema en el que la modificación de un aspecto afecta los restantes.

La mayor garantía para evitar situaciones conflictivas y la única forma de poder controlar el proyecto de modo satisfactorio, es que los objetivos hayan sido definidos desde el principio, identificándolos con la suficiente de claridad y precisión.

Para completar con éxito un Proyecto, se deben cumplir con los objetivos dentro de las especificaciones técnicas, de costo y de plazo de terminación.



# Introducción a la Ingeniería

## Planteamiento

Una vez identificados claramente los objetivos, se puede proceder al planteamiento del proyecto, que debe de tener como fin la resolución final de los objetivos. Para ello el primer paso debe de ser la definición del problema/s a resolver, comenzando por un análisis completo de resultados, costes y plazos, una modelización de los recursos y medios de los que disponemos, una búsqueda de soluciones, y un proceso de toma de decisiones sobre qué solución adoptar para obtener el resultado esperado. En este proceso aparece un factor que determina claramente el devenir de todo el proyecto, que es parte fundamental de una buena gestión, el cual es el proceso de toma de decisiones.

## Etapas y ciclos de vida

El ciclo de vida es un conjunto de las diferentes fases sucesivas en las que son agrupadas las distintas actividades y tareas a desarrollar en todo proyecto de Ingeniería. Según el modelo de ciclo de vida que se aplique, el orden y número de las fases, y las tareas que las componen pueden variar de un proyecto a otro. Además pueden establecerse interrelaciones, y procesos de realimentación entre las distintas fases, de forma que resultados parciales de unas pueden contribuir a cerrar o redefinir ciertas actividades de las anteriores, estableciendo cierto grado de paralelismo temporal en el desarrollo de las mismas.

En el desarrollo de los ciclos de vida de los proyectos se establecen una serie de resultados intermedios de cada una de las fases, que además sirven como puntos de control para poder realizar una evaluación de la evolución de proyecto, los que reciben el nombre de hitos ó milestones.

## Planificación

El éxito de todo proyecto depende en gran medida de una cuidada planificación previa a la inicialización, durante su realización y desarrollo, así como a la finalización y entrega de resultados. Se trata por tanto de un proceso que no puede definirse como una etapa temporalmente determinada en la vida del proyecto, puesto que está presente en todas y cada una de las etapas del mismo.

Durante todo proyecto es necesario gestionar los recursos, estimar los costes de las tareas, controlar los procesos, es decir planificar las actuaciones dentro del mismo. Sin embargo se habla de una “etapa de planificación” que, si bien no es estrictamente correcto, se denomina así porque durante ese periodo de tiempo se realiza la mayor parte de las acciones orientadas a planificar todas las actividades y aspectos de los que consta el proyecto. Sin embargo estos parámetros que se planifican son siempre variables, por lo que el proceso de planificación debe de extenderse a lo largo de toda la vida del proyecto, a fin de adaptar los valores finalmente obtenidos al desarrollo cotidiano del mismo. Lo que permite esta planificación, es prever un comportamiento futuro, y plantear las posibles medidas necesarias en cada caso.

Esta “etapa de planificación” se extiende a lo largo de lo que se conoce como las dos fases del pre -proyecto, como son las fases de estudio y viabilidad, y al inicio de la fase de ejecución. En las primeras, será necesaria realizar una evaluación de los aspectos técnicos, económicos (tanto de financiación como de rentabilidad), como de recursos humanos, que nos llevaran a una estimación de los recursos empleados y los costes del proyecto. En la segunda, la planificación se produce una vez aprobado el proyecto por el cliente. Lo que busca toda planificación es conseguir el balance más beneficioso posible entre recursos y los objetivos.