

transversales tienden a desplazarlo de su posición horizontal. Por lo tanto, se necesitaba un sistema complicado para mantener la estabilidad del avión. En el diseño del aeroplano VTOL los problemas de estabilidad son de los más arduos, pues requieren mucha destreza matemática y el frecuente empleo de computadoras.

El equipo de ingenieros debía experimentar con modelos de diversas clases (Figs. 18 y 19). Por consiguiente, entre otras cosas, lo anterior significa que tenían que ser expertos en instrumentación, experimentación e interpretación de datos.

Por curioso que parezca, aun cuando este proyecto se ha realizado hasta el punto en que los modelos de trabajo se han probado en vuelo durante muchas horas, la compañía fabricante no tiene todavía un comprador definido para su aeronave. El Ejército de los Estados Unidos ha financiado el proyecto, pero la compañía no tiene ninguna garantía de que venderá algún día un aparato VTOL. Lo que tal empresa recibirá en el futuro por sus esfuerzos depende de lo bien que realicen su trabajo los siete ingenieros, y de los diseños que obtengan las compañías competidoras.

Empresas arriesgadas como ésta son cada vez más frecuentes. Una compañía vislumbra una oportunidad distante en algún tipo de creación o producto de la ingeniería, que en el presente esté considerablemente más allá de las posibilidades técnicas. Comienza luego a desarrollar su competencia técnica en el área asignando un equipo de ingenieros al diseño de uno o más modelos experimentales, como fue el caso del VTOL. Los trabajos de desarrollo son financiados a veces por organismos militares o de otra clase; en ocasiones la propia compañía costea tales trabajos con la esperanza de que la inversión efectuada lleve algún día a la obtención de contratos provechosos. A menudo, una empresa lleva a cabo tales proyectos paralelamente con compañías competidoras, originando así las cada vez más frecuentes "grandes competencias de ingeniería" que se ven en los últimos años. Ejemplos: el avión supersónico de transporte, el avión a reacción "Jumbo", el satélite de telecomunicaciones y el sistema de control de tránsito por computadora para grandes ciudades. En cada ejemplo varias empresas están en competencia técnica, que esperan que finalmente les reditúe beneficios. Esto añade un elemento que incita y causa incertidumbre en el proyecto a los ingenieros participantes.

ALGUNAS GENERALIZACIONES

Un ingeniero es un solucionador de problemas. Por lo común su problema principia al darse cuenta de una necesidad

o carencia que indudablemente puede satisfacerse mediante un dispositivo físico, una estructura o un proceso. En esta etapa es probable que las cosas sean vagas o confusas. Por ejemplo, la gerencia de una compañía fabricante de automóviles ha decidido que debe prepararse para ofrecer en el mercado un automóvil eléctrico, a fin de no quedar a la zaga de sus competidores. Su cuerpo de ingenieros tiene ya su cometido. En términos generales, la gerencia de la empresa ha especificado las características deseadas del nuevo producto, tales como la variedad aproximada de precios y la potencia nominal. La tarea restante consiste en diseñar un vehículo que satisfaga las condiciones de funcionamiento dadas. Esto es típico de los trabajos de ingeniería que se asignan. A un ingeniero se le indica la función o propósito general que debe realizarse y, quizá, algunos requisitos vagamente especificados y preferencias para una solución. Tales especificaciones o condiciones funcionales suelen ser seleccionadas por sus superiores o por el cliente, frecuentemente en colaboración con el ingeniero. Por tanto, la tarea primordial de éste es traducir un vago enunciado de lo que se requiere, en un conjunto de especificaciones concretas de un medio satisfactorio para alcanzar el objetivo propuesto.

Invariablemente hay numerosas formas de lograr el propósito especificado, muchas de las cuales, si no es que la mayoría, son desconocidas para el ingeniero al principio de su proyecto. A él le corresponde descubrir y explorar un cierto número de posibilidades. Los conocimientos que ha adquirido por su preparación y experiencia son una fuente importante, pero no la única de tales soluciones; también tiene que emplear su ingenio. Al evaluar las diversas posibilidades debe confiar excesivamente en su juicio o criterio personal, el que utiliza en vez de efectuar una investigación exhaustiva de todas las alternativas (algo que obviamente no tiene tiempo de realizar). El juicio o criterio personal, que se adquiere con la experiencia, es un exigente aspecto del trabajo diario de un ingeniero. La capacidad creativa necesaria para inventar soluciones, y el criterio utilizado en su evaluación, significan que la práctica de la ingeniería tiene más de arte que lo que el lector podría haber supuesto.

En casi todo proyecto de ingeniería hay un aire de urgencia. A menudo se fija una fecha límite para obtener una solución, y usualmente hay presiones que urgen a tener resultados tan pronto como sea posible. En consecuencia, el ingeniero, por lo general, debe recomendar una solución mucho antes que haya tenido tiempo de descubrir todas las posibilidades.

El grado en que intervienen consideraciones económicas en los trabajos de ingeniería difícilmente puede ser exagerado. Si la sociedad ha de beneficiarse con las creaciones de un ingeniero, éstas deben ser soluciones que los usuarios a quienes se destinan puedan adquirir. Además, una empresa privada no inicia una aventura que no tenga una prometedora posibilidad de rendir un atractivo rédito a la inversión. En los organismos de servicio público se requiere también un valor satisfactorio de la razón de beneficio a costo. Aun cuando una solución lograda por un ingeniero pueda desempeñar admirablemente la función propuesta, tal solución se desechará si no produce una ganancia neta al negocio o a la sociedad. En consecuencia, el ingeniero debe tener un marcado interés en los costos: el costo de desarrollar, y el de realizar y el de utilizar su solución.

A un ingeniero debe interesarle la productibilidad de sus creaciones, tanto desde un punto de vista técnico (¿puede hacerse realmente?), como económico (¿podrá hacerse a un costo admisible?). Los proyectistas del puente-túnel de la Bahía de Chesapeake consideraron cuidadosamente los efectos de diferentes rutas y características estructurales posibles sobre el costo de construcción de la obra. De manera similar, se espera que el proyectista del diagnosticador especifique un dispositivo que pueda fabricarse en grandes cantidades a un precio admisible para el comprador en potencia y que proporcione utilidades a la compañía.

En la mayor parte de los problemas de ingeniería hay objetivos o metas conflictivas. Tal vez el fabricante de automóviles quisiera que su auto eléctrico fuese cómodo, seguro, potente, ligero y de bajo costo, y que tuviera además gran capacidad de carga, pero no podría obtener todo esto. El auto no puede ser el mejor en *todos* esos aspectos. Si el proyectista hace todo lo posible para obtener la velocidad y potencia máximas, tendrá que sacrificar algunas otras cosas, probablemente en comodidad, precio y capacidad. Y así sucedería también si tratase de hacer de su diseño lo último en lo referente a cualquier característica de funcionamiento. Al final, el ingeniero tendrá que hallar el mejor balance entre los criterios en conflicto. Esto no es tarea fácil.

La comunicación o contacto con la gente requiere la mayor cantidad del tiempo de trabajo de un ingeniero, mientras que el estar sentado ante su mesa o tablero de dibujo le consume un tiempo mucho menor de lo que generalmente se piensa. Una sorprendente proporción de su tiempo se emplea haciendo consultas, dando instrucciones, contestando preguntas, proporcionando consejos o recomendaciones, intercambiando ideas y buscando aprobación. Consecuentemente, la

incapacidad de mantener relaciones personales satisfactorias puede llegar a ser un severo obstáculo para el éxito de un ingeniero.

Las relaciones humanas de un ingeniero no terminan aquí. Una parte importante de su trabajo consiste en descubrir y evaluar necesidades humanas; por ejemplo, la necesidad de nuevas fuentes de agua dulce o potable, y los tipos, capacidades y cantidades de purificadores de agua que se requieran. Además, debe tener interés en la aceptación de sus soluciones por el público y, por lo tanto, debe familiarizarse con el modo en que la gente utilizará sus obras, la forma en que reaccionará ante ellas y las características preferidas por los usuarios potenciales. También es de su responsabilidad prever e interesarse en los efectos de sus obras o creaciones sobre la gente, a gran escala; por ejemplo, la influencia del puente-túnel en la vida de la población que lo utilizará. Así, pues, el ingeniero está fuertemente comprometido con las necesidades sociales, así como con la aceptación y efectos de sus obras.

Su relación con la gente y con los asuntos económicos significa que una gran parte de sus problemas no son técnicos (pero ciertamente no son más fáciles), más de lo que cree la gente común. (Quizá convenga que el lector tenga presente esto; le ayudará a entender por qué debe cursar un cierto número de materias no técnicas.)

En general, el resultado del trabajo de un ingeniero es algo tangible: un aparato físico, una estructura o un proceso, como lo ilustran el diagnosticador, el desalador de agua, la máquina productora de interruptores, el puente-túnel y el avión VTOL. Tal hecho es, probablemente, el motivo de un concepto erróneo común acerca de la ingeniería. Como el *resultado* del trabajo de un ingeniero es un dispositivo, una estructura, una máquina o un mecanismo, la gente cree que los ingenieros pasan la mayor parte de su tiempo trabajando en esas cosas, como un mecánico, un reparador de televisores o un técnico de laboratorio. Pero éste no es, generalmente, el caso. Un ingeniero suele realizar la mayor parte de la resolución de problemas con trabajo abstracto. Trabaja mucho más con información (es decir, examinando hechos y observaciones, calculando, pensando y comunicando ideas) que con cosas u objetos tangibles. Además, los técnicos son usualmente los encargados de construir los prototipos de las obras o creaciones del ingeniero cuando es necesario, de manera que éste tiene pocas ocasiones de "trabajar con las manos". Así, pues, el trabajo en ingeniería es muy diferente de lo que cree la mayoría de la gente. Y, lo que es más importante, un joven a quien le guste desarmar automóviles, construir y reparar aparatos electrónicos o jugar con sustancias químicas, proba-

blemente no tendrá más éxito o hallará más satisfacciones en el trabajo de ingeniería que otra persona sin esas inclinaciones innatas.

La mayor parte de las obras de ingeniería descritas en este libro son sistemas complejos, en vista de los miles de componentes que contienen y las complicadas interrelaciones existentes entre éstos. Como consecuencia de tal complejidad, que es bastante típica de los trabajos de ingeniería actuales, y de la amplia variedad de clases de conocimientos que se requieren para los proyectos, muchos problemas de ingeniería son manejados por equipos de ingenieros de diversas especialidades. El caso en que un solo ingeniero diseña completamente un aparato o estructura, es cada vez más raro (y tal individuo muy raramente está recién egresado de la escuela de ingeniería). Por ejemplo, intervienen cientos de ingenieros en el diseño de una nave espacial, que se dividen en equipos: uno encargado de diseñar el subsistema de propulsión, otro del subsistema de dirección o guía, y así sucesivamente para muchos subsistemas más.

A medida que se vean y se lea acerca de obras de ingeniería notables, y a menudo asombrosas, se llega a la conclusión de que no todo el trabajo de ingeniería que está detrás de ellas es desafiante y refinado. Una cierta cantidad de ese trabajo carece de atractivo alguno y es una actividad tediosa y cargada de detalles, pero este tipo de trabajo se halla en la ingeniería y en cualquier otra ocupación. Por supuesto, los dibujantes y los técnicos libran al ingeniero de una parte de esa tarea. Asimismo, las computadoras realizan, cada vez más, muchos de los cálculos repetidos o rutinarios que anteriormente tenían que hacer "a mano" los ingenieros, pero no es posible escapar completamente de esas labores.

(En la página 223 pueden hallarse obras de referencia para éste y otros capítulos, cuya lectura se sugiere).

Ejercicios

1. Tómense tres problemas usuales del hogar, de la escuela o de otro lado, y defínanse en función de los estados *A* y *B*.
2. ¿Qué supone usted que hace un ingeniero cuando debe resolver un problema y no hay teoría científica sobre la que pueda basar su solución?
3. Considérese un dispositivo o una estructura comunes, e inténtese descubrir algunos de los objetivos conflictivos que probablemente haya tenido que afrontar quien los pro-

yectó, para llegar a la solución. (Por ejemplo, en la mayoría de los casos el proyectista tiene que resolver el conflicto, maximizar el número y la efectividad de las funciones que realizará el dispositivo y minimizar su costo de fabricación.) Para este fin se podría elegir una cámara fotográfica, un aparato doméstico o una herramienta eléctrica.

4. En casi todos los casos un ingeniero debe proponer una solución a un problema en un lapso bastante limitado. ¿Cuáles imagina usted que sean las consecuencias de esta restricción? (Por ejemplo, ¿de qué puede echar mano?, ¿qué sacrificios deberán hacerse?, ¿qué tendrá que abandonar y que a un perfeccionista le agradaría no omitir?)
5. Descríbase un proyecto de ingeniería, siguiendo en el mayor grado posible los estudios de los casos presentados en este capítulo. Deberán incluirse cosas tales como las circunstancias que originaron el proyecto, los problemas difíciles o poco comunes que se encontraron, el resultado final y los beneficios consiguientes. Proyectos que pueden elegirse: cambio de lugar del templo de Abu Simbel (por la construcción de la presa de Asuán, en Egipto); laminador de alta velocidad, controlado automáticamente, para la fabricación de láminas o planchas de acero; sistema de tránsito rápido para el área de la bahía de San Francisco; sistema de reservación de asientos basado en computadoras; en líneas de aerotransporte; el avión a reacción "Jumbo"; los satélites de comunicaciones "Intelsat"; una planta de energía nuclear; el puente de Verrazano-Narrows.

Los orígenes de la ingeniería moderna

EL HOMBRE siempre ha dedicado mucho trabajo al desarrollo de dispositivos y estructuras que hagan más útiles los recursos naturales. Inventó el arado para hacer que el suelo fuera más productivo y pudiera rendir más alimentos; la sierra, para transformar la madera del árbol en objetos útiles; el molino de viento, para convertir en trabajo útil las fuerzas de los vientos; la máquina de vapor, para transformar en trabajo mecánico la energía latente de los combustibles. Estos y miles de otros aparatos, máquinas y estructuras, son los resultados de una incesante búsqueda. En los primeros tiempos, a medida que las diversas ocupaciones iban desarrollándose, aparecieron, junto con los sacerdotes, médicos y maestros, los expertos dedicados a crear los dispositivos y obras mencionados. A esos primitivos ingenieros se debe la creación de armas, fortificaciones, caminos, puentes, barcos y otras obras y artefactos. Su actividad puede rastrearse fácilmente hasta la época de los antiguos imperios, y las evidencias de sus notables obras persisten todavía, especialmente las calzadas, acueductos y obras de defensa construidas por los romanos.

Tales hombres fueron los predecesores del ingeniero de la era moderna. La diferencia más significativa entre aquellos antiguos ingenieros y los de nuestros días, es el conocimiento en que se basan sus obras. Los primitivos ingenieros diseñaban puentes, máquinas y otras obras de importancia sobre la base de un conocimiento práctico o empírico, el sentido común, la experimentación y la inventiva personal. El "saber hacer" era una acumulación de experiencias adquiridas principalmente por medio del sistema del aprendizaje, y a la cual contribuía cada individuo. 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.

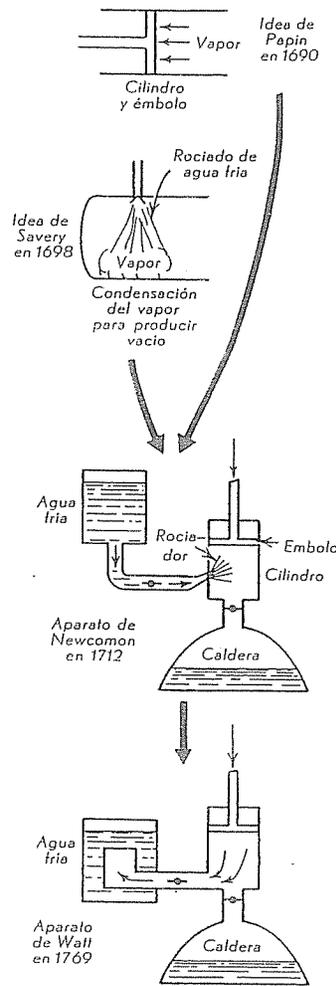


FIGURA 1.

La ingeniería permaneció, esencialmente, en ese estado durante mucho siglos. En el Renacimiento el nivel de refinamiento aumentó, pero aún durante el período del desarrollo de la máquina de vapor, en el siglo XVIII, los creadores de máquinas y estructuras se apoyaban muy poco en la ciencia. La evolución de la máquina de vapor ilustra el estado de la ingeniería en ese lapso (Fig. 1). La máquina de vapor, patentada en 1769 por James Watt, fue una de la serie de máquinas cada vez mejores que se inició, aproximadamente, un siglo antes. Watt hizo una importante mejora que incrementó en gran medida la eficiencia (o rendimiento) de la máquina de vapor, y condujo finalmente a su extensa utilización. En la máquina de Newcomen, antecesora de la de Watt, el vapor que movía el émbolo se condensaba en el cilindro mismo. Esto limitaba en alto grado la eficiencia, porque en la carrera ascendente convenía que el cilindro estuviera caliente, mientras que en la descendente era mejor que estuviese frío. En las circunstancias existentes no había ni lo uno ni lo otro. Watt añadió una cámara de condensación separada, y tal cambio constituyó una importante ventaja. (Por supuesto, en vista del tiempo que ha pasado, esta mejora actualmente parece simple y obvia, pero tardó muchos años el llegar a ella en el siglo XVIII.) Por lo tanto, la evolución de esta máquina está marcada por una serie de inventos acumulativos realizados por muchos hombres. Cada uno se basó en su ingenio, en las aportaciones de sus predecesores y en la exploración por tanteo, a veces durante períodos de años o décadas. Tales ingenieros no sabían nada acerca de la actividad molecular, las relaciones cuantitativas entre la temperatura y la presión del vapor y muchos otros hechos científicos.

La ingeniería actual. Los ingenieros de la antigüedad sufrieron impedimentos en su trabajo, puesto que tenían poco conocimiento de la ciencia, situación que existió hasta tiempos relativamente recientes. Todo esto ha cambiado. En el siglo pasado y en lo que va del presente, el conocimiento científico ha florecido con una inmensa acumulación de información. El conocimiento humano de la estructura de la materia, los fenómenos electromagnéticos, los elementos químicos y sus relaciones, las leyes del movimiento, los procesos de transmisión de energía y muchos otros aspectos del mundo físico, ha aumentado enormemente. Mucho de lo que se enseña ahora en los cursos de física de secundaria y preparatoria, era desconocido cuando Watt desarrolló su máquina de vapor y, no obstante, el contenido de esos cursos es sólo una fracción de lo que se sabe en la actualidad.

En el siglo XIX los ingenieros se dieron cuenta de la potencialidad que este cuerpo creciente de conocimientos científicos ofrecía para la resolución de los problemas prácticos de la humanidad, y comenzaron a aprovecharlo. Con este cambio tan importante, como es el extenso empleo de los principios científicos para la resolución de problemas, la ingeniería antigua evolucionó hasta su forma moderna.

Si se supone que la ingeniería contemporánea es simplemente una extensión de la ciencia, como consideran erróneamente algunos autores, no se percata uno de un punto muy importante y se tiene una falsa imagen de la profesión. Los ingenieros ya existían mucho antes de que hubiera un cuerpo o conjunto significativo de conocimientos científicos, y fungían entonces, igual que en la actualidad, como los expertos de la sociedad para la creación de sus más complejas obras: aparatos, máquinas, construcciones y procesos. Posteriormente, el más amplio conocimiento humano del mundo físico produjo un significativo cambio en este campo. La ingeniería de nuestros días se enfrenta esencialmente a los mismos tipos de problemas, pero la ciencia se utiliza ahora en forma amplia en la resolución de tales problemas. Obsérvese, sin embargo, que la capacidad inventiva, el criterio experimentado y los conocimientos empíricos ayudan mucho *todavía* a solucionar los problemas de ingeniería.

Hay un cercano paralelismo entre la evolución de la ingeniería y la de la medicina. Los especialistas en la curación de las enfermedades han evolucionado desde muy remotas épocas. Los predecesores de los médicos de hoy practicaron durante muchos siglos lo que era esencialmente un arte; no había ningún cuerpo de conocimientos científicos en qué confiar. En tiempos relativamente recientes la bacteriología, la fisiología y otras ciencias biológicas se desarrollaron hasta formar un cúmulo considerable de conocimientos científicos, y los médicos comenzaron a aplicarlos en el tratamiento de los problemas de la salud.

Por consiguiente, los médicos y los ingenieros son especialistas en resolución de problemas; sus orígenes se encuentran en las profundidades de la historia, y son ellos quienes finalmente, y en forma lógica, han asumido la responsabilidad de *aplicar* un cierto conjunto de conocimientos científicos. *Siempre han estado orientados hacia la resolución de problemas, y lo están aún.* Su motivo primordial es resolver el problema que tengan a mano. Si por casualidad se enfrentan con un problema para el cual el conocimiento científico no da solución, de todos modos intentarán resolverlo. (¡Un cirujano no se apartará de un paciente en la mesa de operaciones si encuentra una situación para la cual la ciencia no le dice qué

Ellos hacen lo que deben hacer;
emplean la Ciencia cuando es aplicable,
la intuición cuando es útil,
y el
tanteo cuando es necesario.

Charles L. Best

tiene que hacer!) El médico y el ingeniero tienen un trabajo que realizar, y llegarán a la solución de un problema mediante la experimentación, el sentido común, el ingenio, o quizá otros medios, si los conocimientos científicos de la época no cubren la situación que se presente. Así pues, el ingeniero no existe *solamente* para la aplicación de la ciencia, sino que existe para resolver problemas, y en tal acción utiliza los conocimientos científicos disponibles.

Diferenciación entre la ciencia y la ingeniería. Es difícil lograr una plena apreciación del papel que desempeña la ingeniería si no se comprende la diferencia básica entre la ciencia y la ingeniería. Estas difieren en los *procesos básicos característicos de cada una (investigación versus diseño), los objetivos de interés que tienen día a día, y el producto final primario (conocimiento versus obras y aparatos físicos).*

La *ciencia* es un cuerpo de conocimientos; es específicamente el conocimiento humano acumulado de la naturaleza. Los *científicos* encaminan sus trabajos primordialmente a mejorar y ampliar tal conocimiento. Buscan explicaciones útiles, clasificaciones y medios de predecir los fenómenos naturales. En la búsqueda de nuevos conocimientos, el hombre de ciencia se embarca en un proceso llamado *investigación*, y en este empeño consagra mucho de su tiempo a las siguientes actividades.

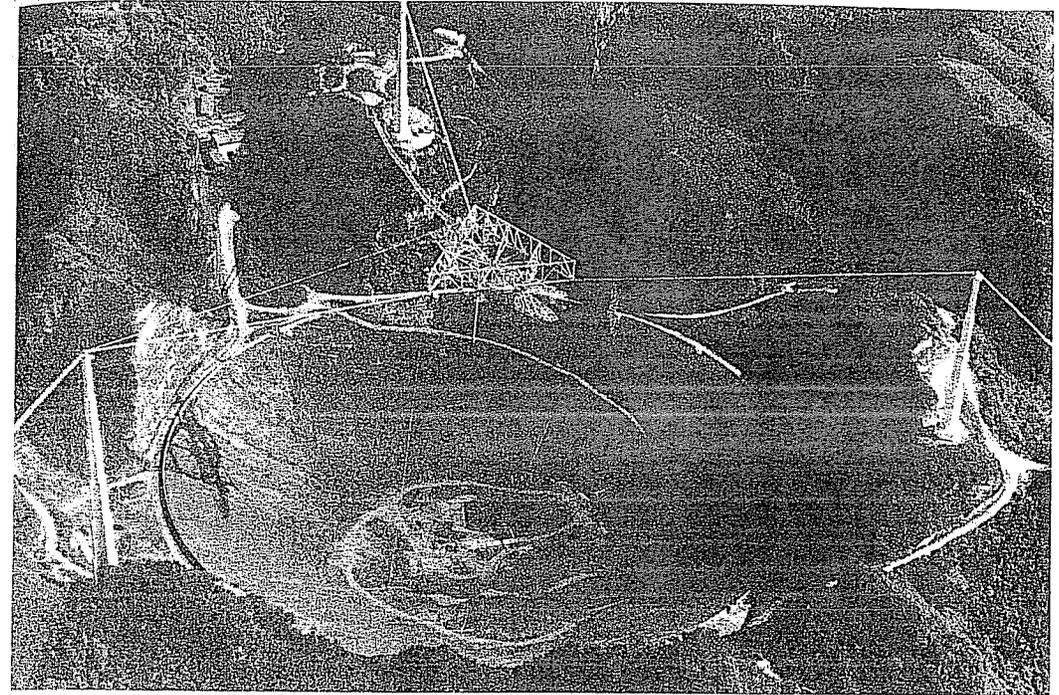
- Formulación de hipótesis para explicar los fenómenos naturales.
- Obtención de datos con los cuales poner a prueba las teorías formuladas.
- Concepción, planeamiento, preparación y ejecución de experimentos.
- Análisis de observaciones y deducción de conclusiones.
- Intentos de describir los fenómenos naturales en el lenguaje de las matemáticas.
- Intento de generalizar lo que se ha aprendido.
- Comunicación de sus descubrimientos por medio de artículos y publicaciones diversas.

El objetivo primario del hombre de ciencia es el conocimiento como un fin en sí mismo.

En contraste, el producto final del trabajo de un *ingeniero* es usualmente un dispositivo físico, una estructura o un proceso. Sin ninguna duda, el giróscopo, el satélite meteorológico, el radiotelescopio, el electrocardiógrafo, la planta de energía nuclear, la computadora electrónica y el riñón artificial, son productos de la *ingeniería*. El ingeniero desarrolla estos arte-

Los científicos exploran lo que es y los ingenieros crean lo que nunca ha sido.

Theodore von Kármán



factos mediante el proceso creativo llamado *diseño* (en contraste con la actividad principal del científico: la *investigación*). Algunos de los intereses primarios del ingeniero, a medida que realiza ese proceso, son la factibilidad económica, la seguridad para la vida humana, la aceptación del público y la manufacturabilidad de sus obras. Por el contrario, los intereses primordiales de un hombre de ciencia, cuando desempeña sus funciones, son la validez de sus teorías, la reproductibilidad de sus experimentos y lo adecuado de sus métodos para observar los fenómenos naturales.

La formulación de los principios de la inducción electromagnética que llevó a cabo Faraday, fue una aportación a la ciencia. El empleo de ese conocimiento en el diseño de generadores eléctricos es ingeniería. Cuando el hombre descubrió y entendió la fisión nuclear en los años 30 de este siglo, se logró un importante descubrimiento científico. La aplicación de tal conocimiento en el diseño de reactores nucleares útiles es ingeniería. Lo anterior no quiere decir que personas que esencialmente son científicos nunca proyecten instrumentos o resuelvan problemas, o que personas que llamaríamos ingenieros no realicen ninguna investigación en la búsqueda de

FIGURA 2. Este es, sin duda, el mayor radiotelescopio del mundo. Es un reflector de malla de alambre sostenido por una oquedad natural de las montañas de Puerto Rico. Las señales de radar se originan en un transmisor móvil y se reflejan hacia el espacio ultraterrestre. Dichas señales rebotan en los planetas y estrellas, y retornan como ecos, que son enfocados por el reflector sobre el receptor. Tales ecos son analizados luego por los científicos para obtener nuevos conocimientos sobre el Universo. Este es un notable ejemplo de una obra de ingeniería que la prensa llama comúnmente una proeza científica. En realidad, esta obra es un instrumento científico empleado en radioastronomía, cuyo diseño y construcción son verdaderas proezas de la ingeniería. Fueron ingenieros quienes determinaron el sitio para este radiotelescopio; ellos lo proyectaron y, de hecho, fue un ingeniero el que concibió la idea básica. Se menciona esto no porque los científicos y los ingenieros se disputen el crédito de la obra, sino porque los tipos de trabajo comprendidos en el diseño y utilización de este instrumento son completamente diferentes, lo cual es importante para los jóvenes que planean sus carreras. (Cortesía del Cornell Center for Radiophysics and Space Research.)

las soluciones a sus problemas. La clave de la diferenciación es saber qué es un objetivo primordial y qué es un medio para llegar a un fin. Los ingenieros que producen medios prácticos para convertir agua salada e impura en agua potable, emprenden una investigación destinada a obtener más conocimientos sobre los procesos fundamentales que intervienen. Sin embargo, se ocupan en tal investigación con objeto de resolver su problema. La meta es el desarrollo de un proceso económico de transformación del agua. Véase la Fig. 2.

Cuando un vehículo espacial reingresa a la atmósfera terrestre a muy altas velocidades, se genera calor suficiente para fundir cualquier metal conocido. Por tanto, fue necesario que los ingenieros que diseñaban tales vehículos realizaran una investigación para encontrar un material capaz de resistir el intenso calor. El conocimiento resultante es un subproducto de sus trabajos para producir con éxito un vehículo de reingreso a la atmósfera.

Resumen. La ingeniería, como existe en la actualidad, es principalmente el resultado de dos desarrollos históricos que hasta mediados del siglo XIX no estaban esencialmente relacionados. Uno de ellos fue la evolución, en el transcurso de las diversas épocas, de un especialista que desde entonces fungió como el experto de la sociedad para la creación de complicados dispositivos, estructuras, máquinas y otras obras. El otro desarrollo es más reciente: el acelerado crecimiento de los conocimientos científicos. Aunque su conjunción es relativamente reciente, ya ha producido un importante cambio en la ingeniería. En contraste con la situación del pasado, la ingeniería moderna comprende más ciencia y menos arte, aunque éste está presente todavía en la forma de creatividad y criterio personales.

Ejercicios

1. Escribese un artículo sobre uno de los siguientes temas:

- a) Las aportaciones de la ingeniería durante la época del Imperio Romano.
- b) El desarrollo de la máquina de vapor por medio de la máquina patentada por Watt en 1769.
- c) Los puentes y acueductos de la antigua Roma.
- d) La evolución de las fuentes de energía, desde el trabajo de esclavos hasta la energía atómica.
- e) El desarrollo de la dinamo, a partir de los descubrimientos de Faraday.

2. Tarde o temprano, alguna persona le pedirá que le explique cuál es la diferencia entre un científico y un ingeniero. ¿Qué diría usted en este caso?
- 3.Cuál sería su reacción ante esta definición: "La ingeniería es la aplicación de la ciencia".



Cualidades del ingeniero competente

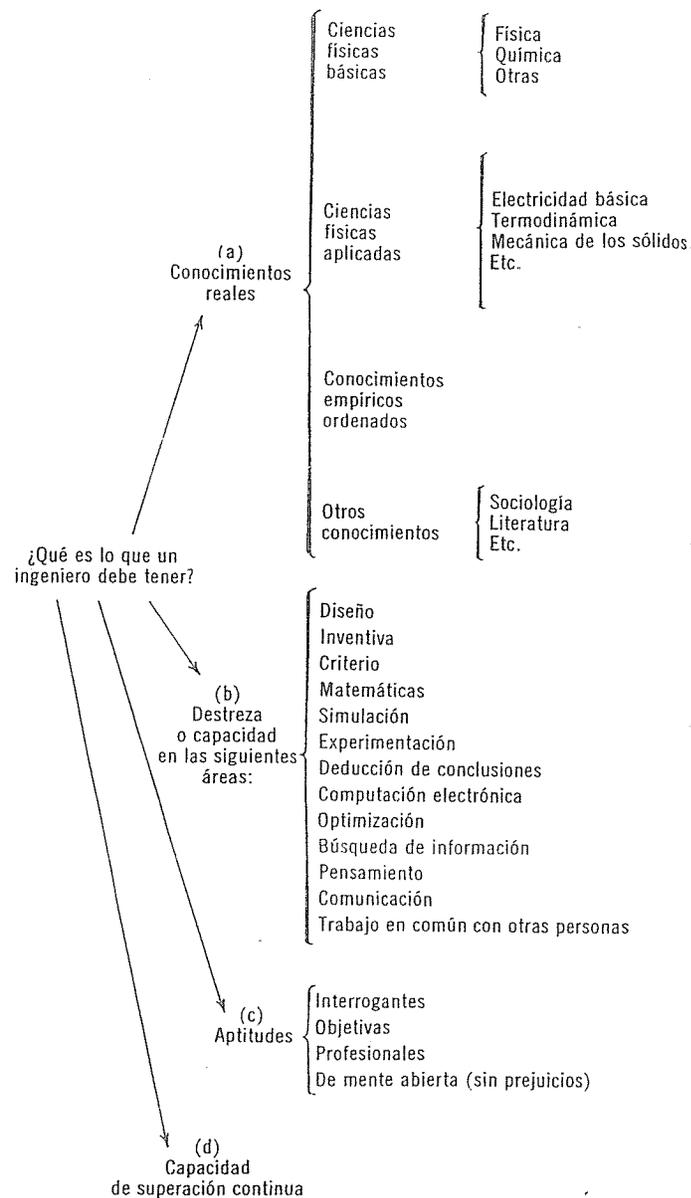
EL ÉXITO que el lector llegue a tener en la ingeniería dependerá principalmente del *conocimiento basado en hechos* que haya adquirido, de las *habilidades* que haya desarrollado, de su *actitud* y de su *capacidad para continuar su automejoramiento*. Este capítulo describe lo que se debe tener en estos cuatro aspectos para llegar a ser un ingeniero competente. Quiero destacar que todo lo anterior se aplicará al lector dentro de unos diez años, por ejemplo, y no en el momento de su graduación en la universidad, ni ciertamente ahora. Se describirá lo que el estudiante debe tener actualmente, *más* lo que añadirán los años de estudios profesionales, *más* los beneficios obtenidos de cierta experiencia en la práctica, de la ingeniería.

Ahora consideremos una buena razón para estar familiarizados con las cualidades de un ingeniero competente que se resumen en la Fig. 1. Una educación en ingeniería tiene por objeto realizar una aportación de importancia al desarrollo del lector en estas áreas. La cabal comprensión de esta vista panorámica es conveniente porque le permite al lector ser un *socio* más efectivo de sus maestros y, por lo tanto, aumentar notablemente los beneficios que obtenga de su educación.

CONOCIMIENTO BASADO EN HECHOS

Una parte muy importante de la educación formal de un estudiante es la relativa a las ciencias físicas, principalmente física y química, como lo indica el número de cursos sobre estas materias que figuran en los planes de estudios de ingeniería. Para crear dispositivos, estructuras y procesos complejos, un ingeniero debe tener un conocimiento *fundamental* de las leyes del movimiento, de la estructura de la materia, del comportamiento de los fluidos, de la transformación de la energía y de muchos otros fenómenos del mundo físico.

FIGURA 1. Vista panorámica de este capítulo.



Ciencias físicas aplicadas

Pero el conocimiento de las ciencias físicas básicas es apenas suficiente. Si un ingeniero ha de resolver problemas, tiene que estudiar también las ciencias físicas aplicadas y un cuerpo codificado de conocimientos empíricos. A continuación explicaremos lo anterior.

El cuerpo de conocimientos relativos a “dónde” y a “cómo” aplicar los principios de la ciencia se denomina *ciencia aplicada*. La aplicación benéfica del conocimiento científico fundamental a los problemas prácticos del mundo, requiere algo más que la mera noción de los hechos básicos. Cuando se está enfermo no se desea ser atendido por un hombre cuya única cualidad sea un conocimiento de la fisiología y la química básicas. Lo mismo sucede con la ingeniería; hay un gran paso entre los principios básicos de las ciencias físicas y los dispositivos útiles. La educación formal de un ingeniero debe dotarlo de los medios para cubrir esa deficiencia. Por tanto, una vez que se está familiarizado con las ciencias físicas básicas, se debe llevar un cierto número de cursos dedicados a su aplicación. Un ejemplo de ciencia aplicada es el análisis de circuitos eléctricos, que trata de la aplicación del conocimiento de los fenómenos eléctricos fundamentales (carga eléctrica, ondas electromagnéticas, corriente o flujo de electrones, etc.) a la comprensión y cálculo de los circuitos eléctricos. Otras ciencias físicas aplicadas se enseñan en cursos con títulos tales como termodinámica, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos y propiedades de materiales.

Lo anterior es, principalmente, “experiencia comunicada”. Es difícil imaginar una obra de ingeniería que esté basada por completo en los principios científicos. La mayor parte de los diseños se basan, en parte, en los conocimientos científicos y, necesariamente, en la experiencia y la inventiva. Durante muchos años, numerosas ideas, prácticas y observaciones, aunque no estuviesen fundadas en principios científicos, han demostrado por la experiencia que son buenas y generalmente útiles. Todo ese material se ha registrado y perpetuado, y constituye un acervo de conocimientos empíricos en el que se apoyan extensamente los ingenieros. Una parte de la educación formal de un estudiante de ingeniería se dedica al estudio de esos conocimientos, ordinariamente en los cursos sobre diseño en los primeros y últimos años de la carrera. Los cursos sobre el diseño y el proyecto en la ingeniería tratan principalmente de la *aplicación* de las ciencias y los conocimientos empíricos a la resolución de problemas, así como al desarrollo de métodos y técnicas para tal resolución.

Especialización en la ingeniería. En la práctica se acostumbra adquirir especialización en cierto grado, sobre todo porque se requieren grandes y substancialmente diferentes cuerpos de conocimiento para resolver distintos tipos de problemas. Es virtualmente imposible que un ingeniero sea competente en el diseño de puentes y de equipo de televisión y de motores a reacción y de plantas metalúrgicas y de máqui-

Conocimientos empíricos codificados

naria textil. En consecuencia, es inevitable tener *alguna* especialidad. Por lo tanto, durante la última parte de su programa de estudios profesionales, probablemente el lector se especializará en alguna rama de la ingeniería. Hay muchas de donde elegir; las principales se describen en el Apéndice A. En el contenido de los cursos de diseño de nivel superior, es donde difiere primordialmente la educación en las diversas ramas de la ingeniería. El estudiante de ingeniería eléctrica estudia el funcionamiento y el diseño de máquinas eléctricas, aparatos de comunicación, sistemas de distribución de energía, etc., mientras que el estudiante de ingeniería civil aprende lo referente a estructuras, sistemas de abastecimiento de agua, planeación de ciudades, y materias relacionadas. Asimismo, los estudiantes de otras especialidades de la ingeniería se concentran en materias pertenecientes a sus campos.

Aunque la especialización, según las líneas tradicionales, es todavía común en la *educación* en ingeniería, la mayor parte de los problemas encontrados en la *práctica* requieren del conocimiento de dos o más de las ramas tradicionales de la ingeniería, como se demostró en los estudios de casos del capítulo 2. El diseño de un proceso químico industrial, naturalmente requiere un conocimiento considerable que, por tradición, es una parte de la instrucción de un ingeniero químico así como algunos de los conocimientos adquiridos por los ingenieros electricistas, industriales y mecánicos. Como resultado, un ingeniero debe trabajar con frecuencia en estrecha colaboración con otros ingenieros de especialidad diferente a la suya, y él mismo tiene que emplear conocimientos de otras ramas de la ingeniería. Por lo tanto, suele darse cuenta que en el trabajo real su conocimiento debe traspasar las fronteras tradicionales de su especialidad. Por esta razón, principalmente, los estudiantes de ingeniería tienen que llevar algunos cursos de especialidades de ingeniería diferentes de la suya.

Observemos que hay varios aspectos importantes, no técnicos, del desarrollo intelectual de un estudiante de ingeniería. Para ser profesionalmente competente, su caudal de conocimientos debe extenderse más allá de las ciencias físicas y la ingeniería. Debe abarcar materias tales como economía, teoría del Gobierno, psicología, sociología y humanidades. Esta amplitud de conocimientos es importante por diversas razones:

- Se deben conocer los "hechos económicos de la vida". Para que un ingeniero sea apreciado debidamente por quien lo emplee y sea de provecho a la sociedad, tiene que darse cuenta de la importancia y los aspectos intrincados de las utilidades o ganancias, costos, relaciones entre precio y demanda, rédito a la inversión, depreciación, cargos por in-

Otros conocimientos

terés sobre el capital y otros asuntos económicos. Constantemente se verá envuelto en decisiones económicas. Para enfrentarse a tales decisiones con eficacia debe estar tan consciente de los costos y las ganancias como el hombre de negocios.

- Tendrá que trabajar con personas de muchos campos de actividad; por ejemplo, economistas, contadores, políticos, sociólogos, psicólogos, abogados y dirigentes sindicales. Debe darse cuenta de las contribuciones que puede hacer esta gente; además, tiene que ser capaz de hablar con ellos inteligentemente, de trabajar con ellos y de entender sus problemas.
- Una educación superior es una preparación para algo más que tener un medio de vivir; es una preparación para vivir. En consecuencia, los estudios de un ingeniero no deben concentrarse enteramente en la ciencia y la ingeniería.
- La educación amplia, prepara y motiva para mostrar un verdadero interés por la sociedad en la que se influirá mediante las obras realizadas; no hay argumento más poderoso para extender la educación de un ingeniero a las humanidades y las ciencias sociales. El importante asunto del interés social de un ingeniero merece una exposición aparte y, por lo tanto, el capítulo 14 se dedica a él.

Debido principalmente a estas razones, por lo menos el veinte por ciento del plan de estudios de ingeniería a nivel profesional se reserva a los cursos de humanidades (literatura, idiomas, filosofía, etc.) y de ciencias sociales, tales como sociología, historia y economía.

HABILIDADES DEL INGENIERO

El lector tendrá que aplicar sus conocimientos con ayuda de las habilidades, principalmente mentales, resumidas en la Fig. 1(b), que explicaremos a continuación.

Supóngase que está encargado de desarrollar un nuevo sistema de control de tránsito para una ciudad. Tal trabajo se realizará por medio de un proceso llamado diseño, que es el procedimiento general por el que se convierte el enunciado vago de lo que se desea, en el conjunto de especificaciones de un sistema que sirva para el propósito deseado. El diseño es la parte medular de la ingeniería; todo lo que se efectúa para resolver un problema se hace mediante ese procedimiento. La habilidad en la ejecución de tal proceso es tan importante como para dedicarle cinco capítulos de este libro.

La idoneidad que se tenga en el diseño dependerá grandemente de la capacidad inventiva, de modo que ésta es tam-

Habilidad en diseño

Capacidad inventiva

bién una importante cualidad. Utilizándola, se podrán idear varios bosquejos de sistemas de control de tránsito, los cuales se evaluarán posteriormente para determinar cuál es el mejor. Esta evaluación debe hacerse de preferencia mientras las ideas están aún "en el papel". Se verá por qué; difícilmente sería posible ensayar las posibilidades en condiciones reales ideadas de los sistemas de control de tránsito. Las pruebas en el campo requerirían dinero, tiempo y paciencia del público en demasía. Un método para predecir el funcionamiento de las soluciones alternativas es el uso del criterio personal, otro son las matemáticas y otro más es la simulación (es decir, la experimentación en que se utiliza un sustituto del objeto real, como en la prueba aerodinámica de un modelo de aeroplano en un túnel de viento). Probablemente el lector utilizaría los tres métodos o habilidades en el problema del control de tránsito.

Se tiene que experimentar, lo que significa que hay que saber cómo preparar un experimento con el fin de obtener una cantidad máxima de información confiable con un mínimo de tiempo y costo. En la experimentación y en muchas otras fases del trabajo habrá que utilizar la destreza o habilidad de medición.

Muy relacionada con la medición y la experimentación está la aptitud para deducir conclusiones inteligentes a partir de observaciones. Aun cuando las mediciones son de naturaleza simple, la acertada interpretación de ellas no es tan directa como podría creerse. Esto es así debido a la variación incontrolable en las características de todos los materiales, objetos y dispositivos, junto con el hecho de que *ningún* sistema de medición es perfecto y que la mayor parte de las conclusiones deben basarse en muestras relativamente pequeñas de observaciones. Tales circunstancias complican el proceso de deducción de conclusiones. En general, el ser humano es notoriamente inepto para obtener conclusiones, como lo demuestra repetidamente el hecho de llegar con frecuencia a conclusiones erróneas acerca de sus semejantes. La tendencia poco sana a deducir conclusiones incorrectas que se tiene por naturaleza, es probable que persista hasta la práctica de la profesión, a menos que se adiestre la mente para combatirla. Para ello, es muy importante aprender a conocer las diversas fuentes potenciales de error que intervienen en el proceso de deducir conclusiones, las limitaciones de las muestras pequeñas, el papel que juegan el azar, la incertidumbre y los prejuicios, y la importancia de evaluar cuidadosamente la confiabilidad de la evidencia disponible.

Una computadora digital es una poderosa herramienta práctica. La habilidad para utilizarla, para manejar la regla

Buen criterio

Aptitud matemática

Habilidad en la simulación de fenómenos

Destreza en la experimentación

Destreza en la medición

Aptitud para llegar a conclusiones inteligentes

Habilidad en la computación

de cálculo y otros medios auxiliares semejantes, constituyen la habilidad en la computación o cálculo.

Siempre se busca la solución óptima (o sea, la mejor). Optimización es un término que se aplica al proceso de alcanzar la solución óptima; la destreza o habilidad a este respecto es ciertamente importante.

A medida que se acrecientan los cúmulos de conocimientos disponibles, también aumentan la deseabilidad y la dificultad en la búsqueda de información relativa a un problema. Por lo tanto, cada vez es más importante el poder utilizar eficazmente las fuentes de información. Podría pensarse que no hay nada de trabajo de ingeniería en este aspecto de la actividad, pero se puede desaprovechar una gran cantidad de valiosa información y perder mucho tiempo si no se está adiestrado al respecto.

La habilidad de pensamiento no deberá desperdiciarse en ningún trabajo que se realice. Una de las principales metas de una educación en ingeniería, es el vigorizar las aptitudes de razonamiento, análisis y otras capacidades mentales. Aunque no hay muchas ocasiones en que puedan discutirse abiertamente tales procesos en el curso de la educación en ingeniería, uno de los objetivos esenciales de la mayor parte de los cursos es el contribuir al desarrollo de la habilidad de pensamiento. El hecho de que estos procesos rara vez se tratan explícitamente, puede crear confusión; sin embargo, es indudable que la "capacidad de pensar" es una mercancía altamente apreciada en el mercado de los empleos.

No hay que subestimar, como lo hacen muchos futuros ingenieros, la importancia de la aptitud en la comunicación. Se debe ser capaz de expresarse clara y concisamente si se aspira a ser un buen ingeniero. Probablemente la manera más eficaz de que el lector se convenza de la importancia de la aptitud en la expresión oral y escrita, además de que lo aprenda por propia experiencia, sería que escuchase las muchas peticiones hechas por quienes emplean a los ingenieros, y por los ingenieros mismos, para que se dé *más* atención a esas materias en las escuelas de ingeniería. La aptitud en la comunicación comprende la capacidad de expresarse matemática y gráficamente. La destreza en la expresión gráfica, que es la capacidad de presentar información en forma de dibujos, esquemas y gráficas, es esencial para una buena expresión de las ideas.

La capacidad de trabajar eficientemente con otras personas es de importancia obvia. La práctica de la ingeniería comprende muchas relaciones con numerosas personas; si no se es capaz de mantener relaciones de trabajo cooperativo con ellas, se estará en dificultades.

Destreza en optimización

Aptitud para utilizar las fuentes de información

Habilidad de pensamiento

Aptitud de comunicación

Aptitud para trabajar con la gente

Hay otras aptitudes y habilidades que requiere la ingeniería, pero las ya descritas son las principales y deben bastar para poner de manifiesto que para practicar la ingeniería se necesita un cierto número de ellas. En los capítulos del 5 al 13 se discutirán con más detalle cinco de esas aptitudes o habilidades. No se debe entender con ello que las restantes carecen de importancia. Las que se seleccionaron lo fueron por la necesidad de ampliar su conocimiento, puesto que no se han publicado explicaciones de introducción satisfactorias acerca de ellas, mientras que existen útiles libros sobre experimentación, medición, comunicación gráfica y otras habilidades a las que no se han dedicado capítulos completos en este libro.

ACTITUD DEL INGENIERO

Ciertas cualidades que deben emplearse en la resolución de problemas no son ni conocimientos de hechos reales, ni habilidades. En conjunto constituyen lo que se describe mejor como una actitud o punto de vista del ingeniero. Tales cualidades se resumen en la Fig. 1(c).

Cultive una actitud interrogante, una curiosidad por el "cómo" y el "por qué" de las cosas. Esa actitud le permitirá obtener mucha información útil y numerosas ideas aprovechables. Parte de esa actitud proviene de la curiosidad, y parte de un cierto escepticismo que inclina a desconfiar de la utilidad de una cierta práctica, de la validez de un "hecho", de la conveniencia de determinada característica o de la necesidad de un elemento particular. El dudar acerca de diversos "hechos, requisitos, características", etc., para hacer que "se prueben por sí mismos", especialmente cuando son asuntos o conceptos de gran arraigo, realmente puede resultar muy provechoso.

En el curso de un proyecto típico es posible que uno sea el foco o centro de opiniones parciales o con prejuicio, y de presiones de intereses especiales. Además, habrá que afrontar muchas situaciones que deben su existencia a la costumbre más que a la razón. Al hacer frente a prejuicios, presiones y tradiciones, hay que esforzarse en tener objetividad al realizar evaluaciones y tomar decisiones.

Se espera que un ingeniero asuma una verdadera actitud profesional hacia su trabajo, hacia la gente a quien sirve, hacia aquellos a quienes afectan las soluciones halladas por él, y hacia sus colegas, en la manera tradicional de las profesiones. El verdadero profesionista sirve a la sociedad como un experto en relación con un cierto tipo de problema relativamente complicado. En estas circunstancias, el cliente confía en el

Actitud
interrogante

¿POR QUE?
¿POR QUE?
¿POR QUE?

Objetividad

Actitud
profesional

profesionista y debido a tal confianza, este último tiene la obligación de desempeñar sus servicios con apego a la ética. Como la mayor parte de las obras de un ingeniero afectan directamente el bienestar de mucha gente, el público confía en que sus diseños serán seguros y, de un modo u otro, útiles para el bienestar de la humanidad. El público espera también recibir el justo servicio por lo que ha pagado.

La obligación profesional comprende algo más que limitarse a vivir de acuerdo con la confianza depositada por aquellos a quienes se sirve y que resultan afectados por las obras realizadas. Incluye también:

- Insistencia en considerar a fondo un proyecto hasta tener una solución bien fundamentada.
- El deseo de sostenerse en esa solución con el objeto de aprovechar la experiencia que se tuvo con ella.
- La firme voluntad de mantenerse informado de las mejores prácticas o procedimientos y de los últimos adelantos, y utilizarlos.
- Un sentido de responsabilidad hacia los colegas que se manifieste en las acciones, en los intentos de mejorar las condiciones del grupo profesional al que se pertenezca, y la disposición para intercambiar información "no clasificada" con otras personas de la profesión.
- Mantener en estricta reserva las ideas no patentadas, los procesos secretos, los métodos de características únicas o especiales, etc., que proporcionan a nuestro cliente una ventaja sobre sus competidores.
- Un anhelo de contribuir al mejoramiento de la humanidad mediante obras y consejos.

Mente abierta y
sin prejuicios

De mucha importancia para determinar el valor que se pueda tener como ingeniero, es la cualidad de poseer una mente abierta a lo nuevo y diferente. Una mente flexible es una gran ventaja. Hay que ser receptivo a las nuevas teorías, a las nuevas ideas y a las innovaciones en la técnica.

CAPACIDAD PARA CONTINUAR EL AUTOMEJORAMIENTO

Cuando se egresa de la escuela o facultad de ingeniería, no se tienen todas las características descritas en este capítulo. *El recibir el título de ingeniero (o de licenciado en ingeniería) marca sólo el fin del principio.* La educación formal recibida proporciona un sólido comienzo en un proceso de desarrollo a largo plazo. Después de eso, depende de uno mismo el continuar su desarrollo intelectual, si se aspira a llegar a ser un verdadero ingeniero y a disfrutar de una fascinante carrera, plena de satisfacciones.

A medida que el conocimiento sigue acumulándose con rapidez creciente y los problemas técnicos son cada vez más complejos, la aptitud y la inclinación a acrecentar continuamente lo aprendido en la escuela se vuelven más importantes. Los medios para ese incremento ininterrumpido son la experiencia, los libros y revistas, las conferencias, las visitas a obras y plantas industriales, las publicaciones comerciales y los cursos de postgraduados. Aun cuando usted fuera un ingeniero completo en el momento de la graduación, todavía sería necesario continuar el aprendizaje, porque muchas de las cosas aprendidas en la escuela se vuelven anticuadas en relativamente pocos años. Limitándose a una actitud pasiva, uno sólo llegará a ser finalmente algo más que un "ingeniero de manual" (llamado así porque los problemas relativamente rutinarios que se le presentan pueden resolverse en su mayor parte hojeando manuales y catálogos). La necesidad de mantenerse al día uno mismo es cada vez más imperiosa, porque la rapidez con que cambian los conocimientos y las técnicas crece constantemente.

Desde luego, el automejoramiento continuo, además de ser una obligación profesional, es una buena inversión en el sentido financiero. El sueldo que se obtenga y la rapidez con que se ascienda a diferentes puestos, dependen en parte de la inclinación y aptitud para mantenerse profesionalmente a tono con los tiempos.

OBJETIVOS DE LA EDUCACION EN INGENIERIA

Observando la Fig. 1 pueden preverse los principales objetivos de una educación en ingeniería:

1. Impartir una parte significativa del conocimiento de hechos reales que se requerirán.
2. Proporcionar un buen comienzo en el desarrollo de las habilidades y aptitudes para la ingeniería.
3. Ayudar a conformar las actitudes o puntos de vista.
4. Proporcionar los medios y la motivación necesarios para proseguir el automejoramiento.

Los cursos o partes de los cursos que contribuyen a lograr el primer objetivo serán evidentes. Esto se cumple también en el caso del desarrollo de algunas habilidades, tales como las que se adquieren en la instrucción sobre el manejo de la regla de cálculo o en los cursos de análisis gráfico. Pero los esfuerzos para desarrollar la habilidad de pensamiento, la aptitud para trabajar con otras personas, la objetividad, la mente sin prejuicios y otras actitudes, no son tan obvios. Aunque

estas materias raramente se tratan en forma explícita, el desarrollo en estos aspectos es un objetivo de la mayor parte de los maestros.

Valor de la educación en ingeniería

Las cualidades resumidas en la Fig. 1 son, en gran parte, responsables de la reputación que han alcanzado los ingenieros como solucionadores de problemas. El éxito que se tenga en obtener tales cualidades determina la eficacia de uno como ingeniero, y las satisfacciones y retribuciones que se reciban en el ejercicio de esta profesión.

La familiarización de un ingeniero con las ciencias puede concentrarse en las ciencias físicas y matemáticas, pero ciertamente no debe limitarse a ellas. Tal familiarización se debe extender a las ciencias sociales y puede comprender aun las ciencias biológicas. Así, pues, la educación formal de un ingeniero usualmente debe abarcar las ciencias naturales y sociales, la tecnología y las humanidades, y tiene que ser, por cierto, una educación muy amplia. Esto es muy importante, pues la amplitud de conocimientos *es* deseable, y en la actualidad no puede considerarse amplia una educación si no comprende la tecnología. En nuestra civilización, la tecnología ha llegado a ser una potente fuerza que influye notablemente en los negocios, el Gobierno, la educación y la organización militar.

Obsérvese que las habilidades y las actitudes no pueden adquirirse de la misma manera que los hechos. ¿Podrá una persona desarrollar repentinamente una actitud interrogante, sólo con leer en qué consiste y saber que debe poseerla? Se requiere algo más que eso; se necesita una disciplina mental ejercitada durante un largo tiempo. Obsérvese también que, aunque las habilidades y actitudes requieren más tiempo y esfuerzo para adquirirlas que el conocimiento de hechos reales, son igualmente difíciles de perder. Además, el conocimiento científico y técnico especializado es susceptible de volverse anticuado a medida que se hacen nuevos descubrimientos. Y también, al cambiar uno de empleo, puede ya no necesitarse el conocimiento especializado que se ha adquirido, pero las habilidades y aptitudes que se adquieren de una educación en ingeniería serán de valor en casi cualquier campo. Estos son los beneficios de "uso general"

DESCRIPCION RESUMIDA DE LA INGENIERIA

Los capítulos 2 a 4 proporcionan el fundamento de esta definición: "La ingeniería es la aplicación de ciertos conocimientos, habilidades y actitudes, principalmente a la creación

de obras y dispositivos físicos que satisfagan necesidades y deseos de la sociedad.”

El primordial interés de la ingeniería en la *aplicación*, más que en la generación de conocimientos, fue destacado en el capítulo 3. Los *conocimientos, habilidades y actitudes* de la ingeniería se han descrito en este capítulo. Los ingenieros son principalmente creadores de *artefactos u objetos físicos o tangibles*: aparatos o dispositivos, estructuras y procesos. Son responsables de la *creación* de estas cosas, es decir, de su ideación o diseño y de la dirección de su construcción. Tales objetos se producen en respuesta a *necesidades y deseos* de la sociedad (sería ingenuo pensar que se tengan que satisfacer sólo las necesidades).

Ejercicios

1. Suponiendo que está usted en una escuela de ingeniería, cada materia que cursa ahora tiene por objeto contribuir a su desarrollo con respecto a algunas de las cualidades descritas en este capítulo. Analice el contenido y realización de cada curso; separe o identifique los tipos de conocimientos, habilidades y actitudes que aparentemente el curso tiene por objeto desarrollar en usted.
2. Haga una lista de los aparatos, estructuras y procesos creados por cada una de las ramas principales de la ingeniería, descritas en el Apéndice A.
3. Haga una lista de 15 obras de ingeniería cuyo diseño probablemente haya requerido del talento de ingenieros de dos o más ramas principales de la ingeniería. Identifique las ramas que usted cree intervinieron en el desarrollo de cada obra enlistada.
4. Tarde o temprano su novia le preguntará inocentemente: “¿Qué es justamente la ingeniería?” Como de seguro no tendrá usted este libro a la mano para leer la respuesta, su explicación necesariamente tendrá que expresarse en sus propias palabras y en los términos más sencillos posibles (no hacemos ninguna consideración acerca de la inteligencia de la joven). ¿Cómo le explicaría a ella lo que es la ingeniería?

Representaciones físicas (o icónicas), gráficas y esquemáticas. Los siguientes objetos tienen algo en común: un tren de juguete, un globo terráqueo, una estatua y un modelo de un aeroplano. Cada uno de ellos es una *representación* tridimensional de una realidad física. Hay también la representación bidimensional, ejemplificada por una fotografía, un croquis o una copia heliográfica. Como estas representaciones en dos y tres dimensiones guardan semejanza física con los objetos de la vida real, se denominan *representaciones físicas o icónicas*.* En la ingeniería se emplean frecuentemente tales representaciones no simbólicas; es evidente que la mostrada en la Fig. 3 es una valiosa ayuda para quienes tratan de visualizar o imaginarse cómo sería en realidad la estructura representada en 27 horas de complicados planos.

Luego se tienen las conocidas *representaciones gráficas*, tal como se ilustran en las páginas 73 y 74. El lector ya estará familiarizado con la utilidad de las *gráficas y diagramas*** para visualizar las relaciones y las magnitudes relativas.

Un *esquema* suele representar, en forma simbólica, un objeto real. El esquema de un circuito eléctrico y la Fig. 2 son *representaciones esquemáticas*. Otros ejemplos aparecen en las páginas 72 y 84. En cada caso una configuración de líneas y símbolos representa la disposición estructural o el comportamiento de un objeto real. Un esquema como el de la Fig. 3 es, efectivamente, de gran ayuda para quienes diseñan el sis-

* Del griego *eikon*, imagen. (N. del T.)

** En español el término “diagrama” no significa lo mismo que el inglés *diagram*, sino que designa una gráfica o representación geométrica que sirve para ilustrar una ley de variación, demostrar una proposición o para obtener determinados valores numéricos de las relaciones entre variables. Por ejemplo, un diagrama presión-volumen, un diagrama entalpía-entropía (de Mollier), etc. (N. del T.)

Representación por modelos

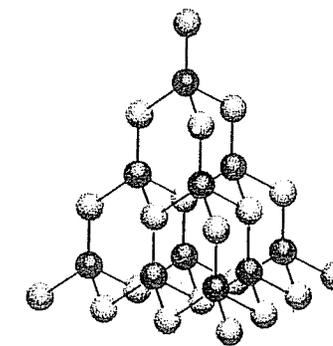


FIGURA 1.

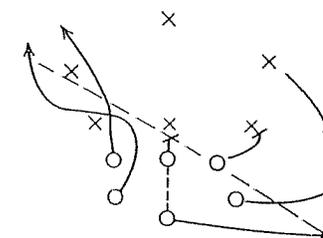


FIGURA 2.