

carrera. La mayoría de los cursos a este nivel tratan de las nociones básicas de química, física, matemáticas y materias semejantes. Aunque son tan esenciales, son pobres indicadores de lo que es la práctica de la ingeniería y, por consiguiente, no debe cometerse el error de basar la decisión de una carrera en los cursos de los primeros dos años. No obstante, especialmente en este período se presentan cuestiones que preocupan al estudiante, como las de qué tan útiles son ciertas materias que se cursan, si se tiene realmente lo necesario para ser un buen ingeniero y qué especialidad se deberá seguir.

Por lo tanto, este libro fue escrito para...

- dar al lector una imagen realista de la ingeniería: lo que es, lo que requiere y ofrece, y las actividades cotidianas que comprende;
- ayudarlo a que decida si ésta es su carrera;
- iniciar su desarrollo en determinadas habilidades frecuentemente empleadas por los ingenieros; con tanta frecuencia, por cierto, que una cierta familiaridad con ellas dirá al lector una gran cantidad de cosas acerca de la práctica de la ingeniería;
- aclarar cuáles son los objetivos de una educación en ingeniería, inclusive los propósitos de diferentes tipos de cursos;
- familiarizarlo con algunos términos ampliamente usados en la literatura y la conversación sobre la ingeniería;
- despertar su interés en la resolución efectiva de algunos de los problemas urgentes que afronta la humanidad.

Espero que este libro logre tales metas. Por supuesto, el lector deberá hacer también su parte.

Problemas de ingeniería

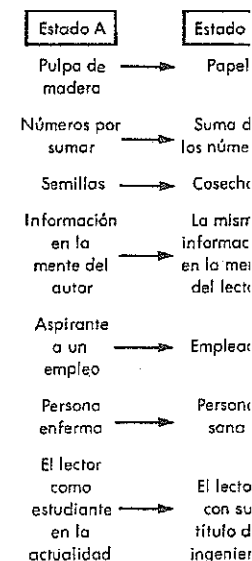
¿Qué es lo que constituye un problema? Este término se emplea frecuentemente. ¿Qué significa? ¿Qué tienen en común todos los problemas? Es de sospecharse que las respuestas del lector a estas preguntas sean vagas. Sin embargo, una descripción de la ingeniería es esencialmente una descripción de problemas y de su resolución. En consecuencia, es necesario establecer ahora definiciones exactas de tales términos. Así, pues, este libro comienza con una introducción a las características generales de los problemas.

Un problema proviene del deseo de lograr la transformación de un estado de cosas en otro. Tales estados podrían ser dos lugares cuya distancia habría que recorrer. El problema puede ser el ir de una ribera de un río a la opuesta, de una ciudad a otra, de un planeta a otro. Otros problemas comprenden la transformación de una forma o condición en otra, por ejemplo, la de un pan común en tostado. En todo problema hay un estado inicial de cosas; llamémoslo "estado A". Asimismo, hay otro estado que quien trata de resolver el problema busca cómo alcanzar; designémoslo "estado B". Obsérvese que lo anterior ocurre en el caso de problemas personales, de comunicación, de negocios y, de hecho, en todos los problemas (Fig. 1).

Una solución es un medio de lograr la transformación deseada. Un problema para el que haya sólo una solución posible es ciertamente raro; en la mayor parte de los problemas hay muchas soluciones posibles, muchas más de las que haya tiempo de investigar. Piénsese en los numerosos modos de viajar y en todas las posibles rutas con las que pueden combinarse para obtener medios alternativos para ir de un punto a otro de la Tierra.

Además, un problema involucra algo más que hallar una solución; requiere encontrar una forma *preferible* de lograr la

FIGURA 1.



transformación deseada; por ejemplo, el medio de transporte que sea el mejor con respecto al costo, rapidez, seguridad, comodidad y confiabilidad. Una norma de preferencia para seleccionar de entre varias soluciones se llama *criterio*.

Finalmente, es difícil imaginar un problema en que no haya restricciones a las soluciones. Una restricción es algo que *debe* cumplir una solución. Ejemplos: un estudiante de secundaria ha decidido que la universidad a la que asista *debe* ser coeducacional; ciertas características de las estructuras de edificios están especificadas por los reglamentos de construcción; luz, agua y nutrientes *deben* proporcionarse a una semilla para que se transforme en planta.

Las restricciones, los criterios, las alternativas y la característica dominante de cualquier problema —una transformación— resaltarán en las siguientes descripciones de obras y diseños de ingeniería. El autor confía en que el lector se dé cuenta de ellos, puesto que como ingeniero debe ser capaz de identificar las características básicas de los problemas que tenga que resolver.

INGENIERIA EN ACCION

Un sistema de procesamiento de información. La gerencia de la Computer Electronics Company cree que hay un mercado prometedor para un dispositivo de procesamiento de información inventado por uno de sus ingenieros. Tal máquina, que él llama *diagnosticador*, será de ayuda en el diagnóstico de enfermedades humanas en la forma siguiente: El médico examina a un paciente como lo ha hecho siempre y luego comunica sus resultados al diagnosticador. La máquina procesa esta información, entrega una lista de padecimientos e indica para cada enfermedad las probabilidades de qué sea lo que aqueja al paciente (Fig. 2). Por ejemplo, en respuesta a un conjunto específico de síntomas y de cierta información acerca del paciente en particular (como edad, peso y hábitos), el aparato dice que hay 63 posibilidades en 100 de que el paciente tenga la enfermedad A, 18 en 100 de que sea la B, y así sucesivamente.

Antes que dicha compañía fabrique tal aparato, la gerencia debe estar convencida de que podrá obtenerse una ganancia conveniente con él. Por lo tanto, el ingeniero que originó la idea ha sido comisionado para que proporcione las especificaciones preliminares de ese dispositivo y un pronóstico de los costos correspondientes a la terminación de su diseño y su manufactura. Si después de esta "primera aproximación" pareciera que la máquina podría ser desarrollada y fabricada a un costo que finalmente produjera una recuperación atrac-

tiva de la inversión, el ingeniero terminará entonces su diseño con todo detalle.

Entre otras cosas, se le ha dicho que tal dispositivo tiene que producir en un minuto la información de diagnóstico deseada, que no debe ser difícil de manejar y que ha de funcionar con la corriente eléctrica común. La gerencia quiere que las especificaciones preliminares y las predicciones de costos se terminen en dos meses.

Comentario. El ingeniero considera que su problema consiste en hallar los medios más eficaces para transformar la información de un paciente (estado A) en un conjunto de probables enfermedades (estado B). El aparato que proyecte debe satisfacer las restricciones (es decir, tiene que producir los resultados en un minuto). Además, su solución debe ser la mejor con respecto al costo de fabricación (un criterio) y al atractivo para los compradores en potencia (otro criterio) que puedan ocurrírsele en los dos meses asignados al proyecto. Lo anterior define su problema brevemente.

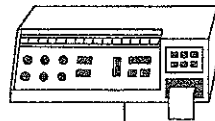
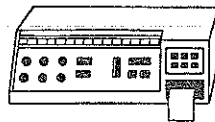
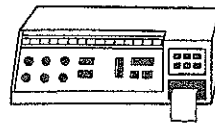
Durante el diseño, el ingeniero en cuestión utiliza sus conocimientos e inventiva para idear una variedad de posibles soluciones. Una consiste en un cierto número de aparatos electrónicos del tamaño de máquinas de escribir situados en las oficinas de los usuarios (Fig. 3). Con tales aparatos, los médicos o sus enfermeras transmiten la información de los síntomas a una unidad central de procesamiento de información que da servicio a varios usuarios, y reciben los resultados de ésta. Una alternativa a este plan sería que cada usuario tuviese una unidad procesadora independiente que efectuara todo el trabajo en su oficina. Algunas ventajas relativas de esas dos alternativas son obvias, pero no es tan evidente lo que significarían en dinero.

El ingeniero también investiga métodos alternativos para dar entrada a los datos y obtener los resultados en estas máquinas, modos alternativos de procesar los datos de los enfermos con objeto de tener los resultados deseados y muchos tipos de componentes. Estas y otras posibilidades, en una variedad de combinaciones, darán un gran número de sistemas alternativos, todos los cuales serían factibles, pero no igualmente deseables. Tiene que evaluar tales sistemas y seleccionar el más adecuado.

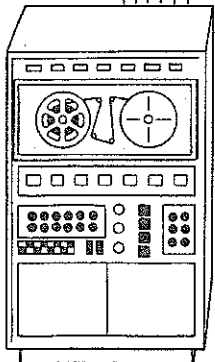
Durante la realización del diseño, el ingeniero trabaja con un número de personas con gran variedad de especialidades. Entre ellas hay especialistas en mercadotecnia, por quienes conoce las preferencias de un usuario potencial típico relativas a diversas características del producto. También consulta a médicos diagnosticadores. Trabaja en estrecha colaboración con expertos en manufacturas para estimar cuál sería el costo

ingeniería en acción /

Unidades transmisoras-receptoras en las oficinas de diferentes usuarios del sistema



A otras unidades transmisoras-receptoras



Procesadora central, que sirve a varias unidades transmisoras-receptoras



FIGURA 2.

FIGURA 3. El ingeniero hizo que un dibujante elaborara croquis o esquemas de las principales opciones que tenía en consideración, a fin de incluirlas en su informe a la gerencia. Este es un esquema del sistema centralizado del diagnosticador.

de fabricación de un modelo dado de su aparato. Trabaja asimismo en forma directa con los ejecutivos de su firma, con el personal del servicio telefónico en lo que respecta al empleo de sus líneas para la transmisión de información, y con otra gran cantidad de personas. Desde hace tiempo sabe que su trabajo comprende más comunicación con la gente de lo que él pensaba antes de realizar su primera tarea de ingeniería. Ha llegado también a la conclusión de que, en general, los problemas del trato con la gente son más susceptibles de causar frustración o decepción que los problemas técnicos.

La construcción del aparato diagnosticador es una empresa desafiante, una de las razones de esto es que tal sistema no existe todavía en el mercado, de manera que el trabajo sería verdaderamente original o precursor. Además, el proyecto es creación exclusiva del ingeniero desde el principio; no tiene supervisión directa y lo que haga durante los dos meses es cuestión únicamente suya, pero *se esperan* los resultados. Esta es la clase de oportunidad que agradaría al lector, en especial cuando su creación, como la de que se trata, será de particular beneficio al público. Pero no espere tal libertad y responsabilidad hasta que tenga experiencia; el ingeniero de este proyecto tenía ya nueve años de ella. El estudiante iniciará su carrera trabajando en partes de proyectos relativamente pequeñas, bajo estrecha supervisión. La libertad de acción y la responsabilidad vendrán con la experiencia. Esto es una suerte, puesto que si se le encargara un proyecto como el anterior en los primeros años de su carrera, tropezaría con muchas dificultades.

Al concluir la investigación, el ingeniero presentará sus recomendaciones por medio de un extenso informe escrito y un resumen verbal a los funcionarios superiores de su compañía. Incluirá predicciones de los costos relacionados con la fabricación de su diseño. La importancia de esta información para el futuro del proyecto es obvia.

Máquina de producción automática. En la empresa Bell Telephone System hay millones de interruptores en operación. Un largo y persistente trabajo de ingeniería ha hecho posible su funcionamiento durante años, efectuando billones de conexiones sin que sufran averías. No obstante, aún es posible su falla a causa de la humedad y las materias extrañas. El costo de aislar y remediar tales fallas, sumado al de tratar de prevenir las averías mediante complicadas medidas de mantenimiento y limpieza, ha sido por años un problema importante de la compañía. A uno de sus ingenieros se le pidió recomendar un medio para reducir dichos costos y mejorar la confiabilidad del sistema.

En el curso de sus investigaciones, el ingeniero desarrolló y evaluó muchas posibilidades, seleccionando finalmente un tipo de interruptor bastante ingenioso, mostrado en la figura 4, como la solución más prometedora. Consiste en dos elementos metálicos planos llamados tiras o lengüetas, encerrados en un tubo de vidrio lleno de gas y cerrado herméticamente. En la figura se muestran las dos tiras idénticas, el tubo de vidrio en que se introducen, las mismas tiras colocadas en su envoltura de vidrio llena de gas y sellada, y una vista ampliada del punto de contacto. Para funcionar, el interruptor se monta en una pequeña bobina electromagnética, que al ser energizada hace que las lengüetas entren en contacto y cierran un circuito eléctrico. Este dispositivo es notablemente rápido, muy confiable, no requiere mantenimiento y, en muchos aspectos, es superior a cualquier otro interruptor que se haya ideado hasta ahora. Sin embargo, una pregunta muy importante que determinará si este nuevo interruptor puede llegar a ser de utilidad a la compañía y a sus clientes, queda por ser contestada. ¿Podrá fabricarse económicamente por millones?

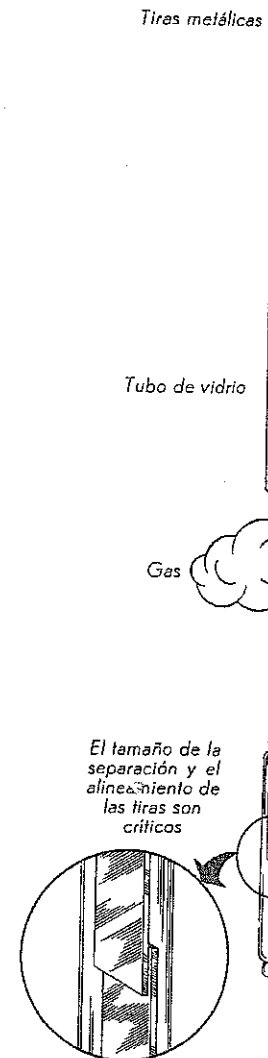
Para responder a esta pregunta se asignó a un equipo de ingenieros la tarea de desarrollar, si fuera posible, un método económico para fabricar tales interruptores. La solución fue la notable máquina mostrada en la figura 5.

Comentario. El problema de ese equipo de ingenieros era hallar el medio más económico de transformar los tubos de vidrio, las tiras metálicas y el gas, en los interruptores especificados, produciendo millones de ellos. Era un gran desafío tecnológico el desarrollar una máquina que colocara las tiras en el tubo de vidrio y las alineara con las estrechas tolerancias requeridas. No obstante, si estos millones de interruptores tuvieran que ser hechos a mano, se necesitaría un pequeño ejército de trabajadores con un costo prohibitivo. De ahí que la utilidad del interruptor dependiera de la capacidad del grupo o equipo de ingenieros para desarrollar una máquina económica.

Como en todo trabajo de ingeniería, durante este proyecto el aspecto económico estuvo bajo constante vigilancia. Periódicamente el grupo se detenía a reevaluar las probabilidades de poder producir una máquina económica. Si al principio o en cualquier momento del proyecto, hubiera parecido que un método de fabricación que pudiera desarrollarse resultaría prohibitivamente costoso, el inventor del dispositivo hubiese tenido que volver a buscar otra solución al problema —una con menor costo de manufactura.

El ingeniero que proyectó el interruptor está especializado en el desarrollo de aparatos empleados en sistemas telefónicos.

FIGURA 4.



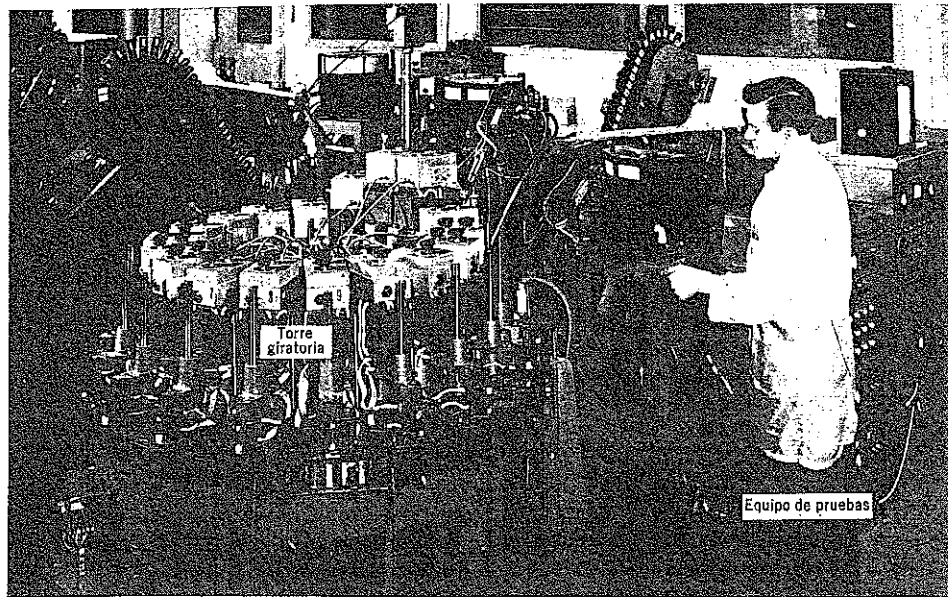
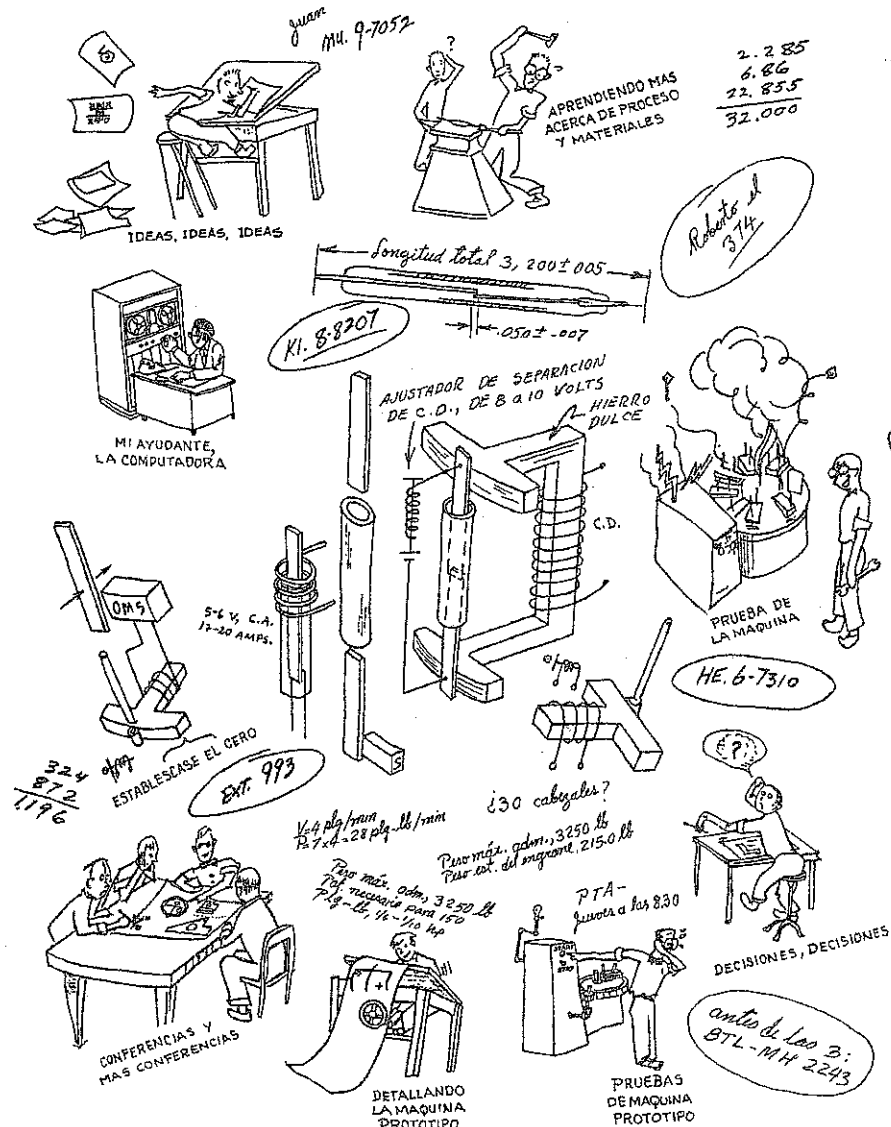


FIGURA 5. Máquina automática para hacer interruptores de tiras o lengüetas, a razón de más de un millón por año. Funciona según el principio de un carrusel. La torre giratoria, que contiene 18 idénticos cabezales de montaje, gira, y a medida que lo hace, el interruptor va tomando forma gradualmente. En estaciones sucesivas alrededor de la periferia de la torre se van colocando los tubos de vidrio, se introducen las lengüetas metálicas de contacto, se alinean y se fija su separación, se inyecta el gas, se cierran herméticamente los tubos y luego sale el interruptor terminado. Los interruptores pasan después a la sección de pruebas de la máquina donde se miden sus características físicas y eléctricas. Los que no resulten satisfactorios son desechados. Además, sobre la base de esas mediciones, la máquina se autoajusta para corregir la causa que ocasiona interruptores defectuosos. Por ejemplo, si la máquina empieza a producir interruptores con separación excesiva de sus contactos, entonces la máquina lo detecta y ajusta el mecanismo fijador de la separación para corregir el defecto y volver a producir interruptores correctos. Tales procesos de detección y corrección de las causas de defectos en los interruptores realizadas por la máquina misma, sin ayuda de un operario humano, es un ejemplo de automatización. (Cortesía de Western Electric Company.)

Los ingenieros que posteriormente se asignaron al proyecto desarrollaron los medios de fabricar los interruptores. A ellos suele llamárseles ingenieros de proceso o de fabricación. Miembros de equipos o grupos de diseño como éste, generalmente, son expertos en ramas auxiliares. En este caso particular, uno está especializado en el comportamiento y conformación del vidrio, otro en el comportamiento de elementos de máquinas y mecanismos, otro en los fenómenos eléctricos y magnéticos, y así sucesivamente. Es vital una estrecha colaboración entre los miembros de un equipo de ingeniería; debe haber un alto grado de interacción entre los conocimientos, ideas y decisiones de los diversos especialistas que se concentran en diferentes aspectos de un problema. Un miembro de tal grupo, generalmente llamado ingeniero jefe del proyecto (o ingeniero de sistemas), desempeña de manera primordial las funciones de coordinador de las actividades de los otros, con objeto de asegurar que todas las partes del sistema final estén apropiadamente relacionadas entre sí.

Cuando el grupo creyó que había desarrollado la máquina más económica, su propuesta tuvo que especificarse en completo detalle para que los técnicos y obreros pudieran construir un prototipo de la máquina. Los ingenieros tenían la responsabilidad de supervisar la construcción de dicho prototipo. Ha-



llaron, durante el período de construcción, que era necesario hacer algunas modificaciones a su diseño original. Cuando el modelo estuvo terminado, supervisaron las pruebas de la máquina y se establecieron modificaciones adicionales del diseño como resultado de tales pruebas de producción. Finalmente, después de un largo período de pruebas y perfeccionamientos, se consideró lista la máquina propuesta. Las especificaciones

FIGURA 6. Página de los apuntes de uno de los ingenieros del equipo de diseño, que muestra mediante las figuras trazadas las diversas alternativas, comienzos en falso, reuniones, detalles, pasos del procedimiento y las comunicaciones que intervienen en el desarrollo de la máquina mostrada en la FIGURA 5. (Cortesía de Western Electric Company.)

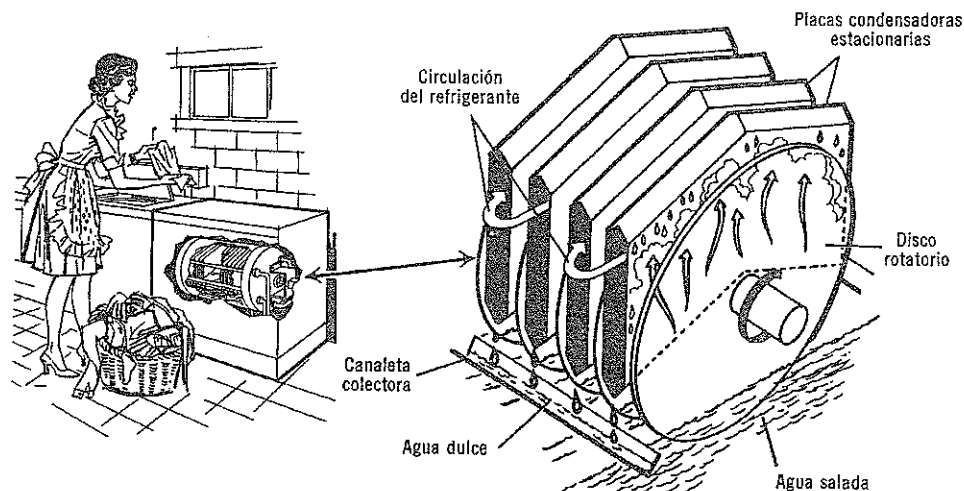
completas del modelo prototipo, en su versión final, fueron elaboradas por los dibujantes, de manera que pudieran construirse otras máquinas iguales. Como resultado, el interruptor más efectivo quedó disponible para uso general a razón de muchos millones de piezas por año (Fig. 6).

No obstante, la tarea no había terminado aún. Los ingenieros siguieron trabajando sobre su creación, observando su funcionamiento, recomendando los cambios de diseño apropiados y evaluando el producto de su ingenio, de modo que otros proyectos pudieran beneficiarse con su experiencia en esa máquina.

Desalador doméstico de agua. Como resultado de la disminución del caudal disponible de agua dulce y del rápido crecimiento de la demanda de ésta, el problema de suministrar cantidades suficientes de agua potable ha llegado a ser imperioso. El desarrollo de fuentes económicas de agua potable es un problema de ingeniería cuya importancia es de gran alcance.

Fuentes prometedoras de agua dulce son el mar y los mantos subterráneos de agua salobre situados en muchas regiones del mundo. Anticipándose en esa actividad a las oportunidades tanto comerciales como humanas o de servicio a la población, la General Electric Company está desarrollando un equipo para convertir dicha agua salada en agua dulce. Lo anterior tiene gran importancia para los consumidores de agua dulce municipales, industriales, militares y domésticos del mundo.

FIGURA 7. Aparato doméstico para desalar agua salobre o de mar. El croquis muestra el mecanismo real de conversión del agua en potable. A medida que gira el eje de la máquina, los discos fijados a él se cubren con una delgada capa de agua en el fondo del tanque. Dicha capa se evapora al pasar por el aire y el vapor se condensa sobre las placas de condensación enfriadas por el refrigerante. El condensado, que ya es agua dulce, escurre en gotas sobre las canaletas colectoras. (Cortesía de General Electric Company.)



Uno de los proyectos consiste en desarrollar un convertidor que pueda utilizarse en casa. El ingeniero encargado de tal proyecto evalúa actualmente un prototipo (Fig. 7). Su diseño tiene una gran ventaja: además de desalar el agua, la purifica. Lo que entra al sistema es agua salada o con impurezas de otra clase; la que sale es agua desmineralizada y pasteurizada. Por lo tanto, tal convertidor será útil en las casas, en pequeños establecimientos comerciales, en pequeñas unidades militares en campaña, y a bordo de embarcaciones. Es eficaz y sencillo, requiere muy poco mantenimiento o atención y no necesita agua hirviente o un tanque o recipiente a presión.

Comentario. El hallar un método para convertir el agua de mar o salada en agua dulce no es el problema; la destilación se conoce desde hace siglos. El problema es encontrar un medio para transformar grandes cantidades de dicha agua salada en agua útil a un costo aceptable para un número importante de compradores en potencia.

El desarrollo de ese convertidor estuvo basado parcialmente en los conocimientos técnicos y científicos del ingeniero (es decir, aplicó lo que había aprendido en sus cursos de física y química), y parte en su capacidad inventiva. No pudo haber desarrollado tal máquina sin entender los fenómenos de evaporación y condensación, el comportamiento de delgadas capas o películas de líquido, los procesos térmicos, y otros hechos científicos. Sin embargo, estos conocimientos por sí solos no hubieran bastado para producir el aparato creado. La idea de los discos rotatorios intercalados entre placas condensadoras estacionarias, la configuración particular de ésta y otras características únicas del mecanismo, son productos del proceso llamado *invención*. Tales cosas no se hallarán en manuales o textos, sino que son fruto de los poderes creativos de la mente.

Cierta cantidad de trabajo y talento de ingeniería se aplicó a esta máquina. Se evaluaron muchos sistemas diferentes de conversión; se emplearon horas y horas en pruebas, y fue necesaria una investigación considerable. El resultado de este extenso proceso de desarrollo fue un dispositivo muy bien realizado técnicamente, que tendrá éxito financiero y será valioso como medio de servicio público.

¿Por qué fue necesario este intenso trabajo de ingeniería? El dispositivo parece muy sencillo. Y en realidad lo es, pero tal sencillez es engañosa. Induce a subestimar el esfuerzo, el ingenio, el trabajo analítico y la investigación que se aplicaron a su creación. Si todo esto *no* hubiese sido puesto en él, el resultado probablemente sería más complicado y, en consecuencia, más impresionante a la vista de los profanos, pero no más eficaz. De hecho, la versión más complicada sería más

FIGURA 8.

A
↓
B

susceptible de fallas, de mayor costo de fabricación y, quizá, de precio demasiado alto para su venta.

Puente-túnel de la Bahía de Chesapeake. Una notable obra de ingeniería es la estructura de 29 kilómetros que se extiende a través de la Bahía de Chesapeake (Figs. 8 y 9). Es el paso fijo de cruce de mar navegable de mayor longitud construido por el hombre. Esta estructura, cuyo costo fue de 140 millones de dólares, es una combinación de caballetes o armaduras transversales, puentes y túneles que soportan un gran tránsito de vehículos y resisten el embate de las olas y las mareas.

Comentario. Como sucede con frecuencia, esa obra fue diseñada por una firma de ingenieros consultores cuyo negocio consiste en proyectar este tipo de estructuras. Dicha firma fue encargada de seleccionar el sitio de la obra, diseñar la estructura y supervisar su construcción. Se impuso una restricción no usual a la naturaleza de la obra mencionada, a saber, no debería pasar sobre los principales canales de navegación, porque un puente u obra semejante podría ser bombardeado y dejar atrapados en la bahía a los barcos de la Armada de los Estados Unidos. Por consiguiente, era necesario construir pasos por debajo de los canales, empleando túneles submarinos de tres kilómetros de longitud, en sitios en donde en circunstancias ordinarias se hubieran construido puentes.

Un punto que vale la pena destacar es la cuidadosa atención que los ingenieros deben dar a los medios para construir sus obras. De hecho, especialmente en casos como éste, los procedimientos de construcción son una parte de tanta importancia en el problema como lo es el diseño de la estructura misma. Después de examinar las figuras 10 a 14, en sucesión, se verá claramente lo que eso significa.

Los pilotes de apoyo de los caballetes, las piezas transversales, las losas de la calzada o carretera, las secciones de túneles y otros componentes se prefabricaron por métodos de producción en masa en tierra firme, donde la construcción puede efectuarse con menos dificultad y a menor costo. El empleo de componentes prefabricados es un método de construcción que obviamente afecta las características de la propia estructura. Aquí, como en la mayor parte de los problemas de ingeniería, existe una fuerte interdependencia entre las características físicas de una estructura y los medios para construirla; cada elemento afecta significativamente al otro. Además, el diseño de equipo especial de construcción, tal como el "monstruo de dos cabezas", fue parte muy importante del problema. En este proyecto, el costo del equipo y la mano de obra requeridos para preparar, transportar y colocar en su sitio la



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 reditue 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

Cap 1.

algunas generalizaciones /

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 defínase 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.

El proceso de diseño: formulación del problema

A CONTINUACIÓN presentamos el procedimiento general para resolver un problema de ingeniería:

- *Formulación del problema:* el problema de que se trate se define en forma amplia y sin detalles.
- *Análisis del problema:* en esta etapa se le define con todo detalle.
- *Búsqueda de soluciones:* las soluciones alternativas se reúnen mediante indagación, invención, investigación, etc.
- *Decisión:* todas las alternativas se evalúan, comparan y seleccionan hasta que se obtiene la solución óptima.
- *Especificación:* la solución elegida se expone por escrito detalladamente.

Este procedimiento de cinco fases, el *proceso de diseño*, se describirá en éste y en los siguientes cuatro capítulos.

El proceso de diseño abarca las actividades y eventos que transcurren entre el reconocimiento de un problema y la especificación de una solución del mismo que sea funcional, económica y satisfactoria de algún modo. El diseño es el proceso general mediante el cual el ingeniero aplica sus conocimientos, aptitudes y puntos de vista a la creación de dispositivos, estructuras y procesos. Por tanto, es la actividad primordial de la práctica de la ingeniería. Cualquier cosa que sea lo que diseñe un ingeniero; ya sea un generador de energía nuclear, un vehículo submarino, un sistema bélico, una presa, una prensa de imprenta, una planta procesadora de alimentos o un corazón mecánico, realizará ese trabajo mediante el mismo proceso básico de diseño. Ahora presentaremos un detallado modelo verbal de este procedimiento.

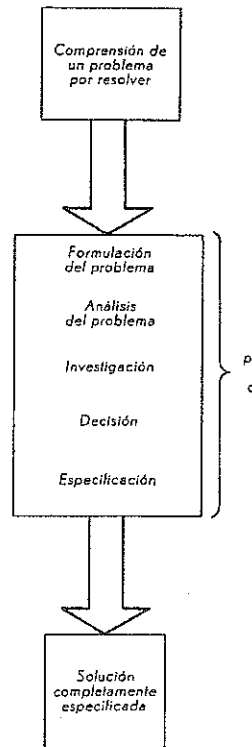


FIGURA 1.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Se intentaría resolver un problema sin saber en qué consiste? Seguramente que no; sin embargo, esto es exactamente lo que uno está inclinado a hacer y que difícilmente puede conducir a una resolución efectiva. Lo que verdaderamente tiene sentido es conocer tanto el problema que se trata de resolver como saber si vale la pena resolverlo, antes de lanzarse a considerar los detalles. También es conveniente tener una vista panorámica del problema *desde el principio*, porque una vez que uno se sumerge en los detalles es materialmente imposible tener una amplia perspectiva. Por lo tanto, los objetivos principales de la formulación de un problema son definir en términos generales en que consiste, determinar si merece nuestra atención y obtener una buena perspectiva del problema cuando sea más oportuno y fácil hacerlo. Es obvio que éstas son cosas que deben conocerse al principio. Esta importante fase del proceso de diseño, un hecho cuya importancia no se ve con claridad, requiere sólo una pequeña parte del tiempo total dedicado a un problema.

Raramente se le presenta el verdadero problema al ingeniero; más bien, él mismo debe determinar en qué consiste. Esto suele ser difícil porque su naturaleza a menudo es encubierta por mucha información sin importancia, por las soluciones que se emplean corrientemente, por opiniones que originan confusión y por las formas tradicionales y desventajosas de considerar un problema. Tal situación es empeorada por el hecho de que en la escuela se acostumbra presentar los problemas a los estudiantes de manera absolutamente ajena a la realidad, de modo que los ingenieros noveles carecen de la práctica y la aptitud necesarias para definir los problemas. En vista de tales circunstancias y de las consecuencias de una definición descuidada e ineficaz de un problema, corresponde al lector empezar *ahora* a desarrollar su habilidad en la formulación de problemas reales.

Un caso concreto. La dirección de una gran empresa que distribuye alimentos para ganado está preocupada por el costo relativamente elevado de manejar y almacenar sus productos. Se encargó el problema a un ingeniero para que tratase de lograr una reducción significativa de los costos. En la actualidad los productos se colocan en sacos y almacenan como se indica en el esquema de la Fig. 2.

Una tendencia común es la de tratar inmediatamente de hallar posibles mejoras a la solución existente (generalmente hay una). En este problema uno se siente inclinado a comenzar por escudriñar la solución descrita en la Fig. 2, buscando

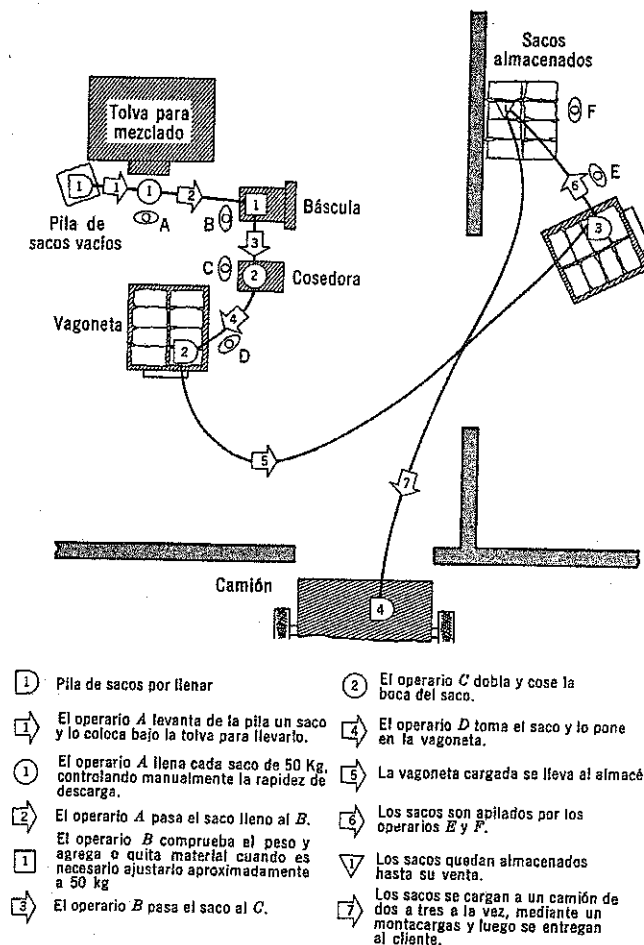


FIGURA 2. Sistema actual de llenar, almacenar y cargar los sacos de alimento para ganado.

mejoras que puedan hacer más económico el proceso. La persona que haga esto, de inmediato tendrá que considerar cosas tales como el equipo para llenar, pesar y coser los sacos, la disposición de las instalaciones, las formas de transportar los pesados sacos, los medios de combinar las operaciones y otras mejoras posibles.

Lo anterior es exactamente lo que *no* se debe hacer al atacar un problema: meterse inmediatamente en el proceso de producir soluciones (lo cual tiene su momento adecuado, como se verá después). Obsérvese que al proceder así se está tratando de generar o producir soluciones a un problema que

no se ha definido todavía. En realidad, este procedimiento resultará muy costoso para la persona que lo emplee.

NOTA. La solución de un problema no es el problema mismo. Lo anterior parece obvio y, sin embargo, probablemente el lector haría esto mismo: atacar la solución presente y no el problema. Hay una sutil, pero importantísima diferencia entre desmenuzar o examinar la solución tratando de eliminar sus inconvenientes, y comenzar con una definición del problema y obtener metódicamente una solución adecuada mediante el proceso de diseño. A fin de cuentas, el segundo procedimiento contribuirá en gran parte al funcionamiento adecuado del diseño logrado.

Ahora ya se sabe qué es lo que no hay que hacer.

¿Qué debe hacerse? Precisamente al comenzar se debe expresar en términos generales el problema particular, ignorando los detalles por el momento y concentrándose en la identificación de los estados *A* y *B* (que pueden llamarse "entrada" y "salida" si se quiere). A continuación se dan algunas formulaciones alternativas del problema de los alimentos para ganado.

Hallar el método más económico de...

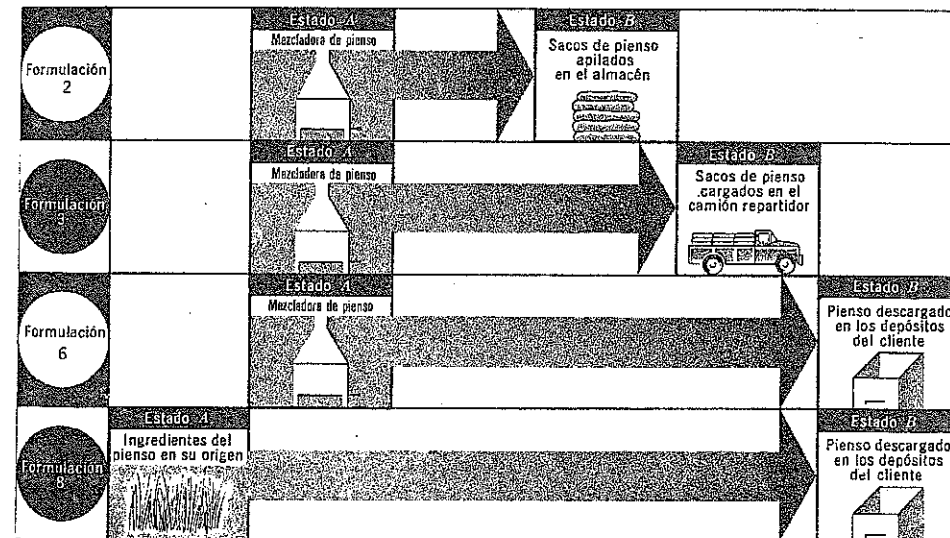
- 1) Llenar, pesar, coser y apilar los sacos.
- 2) Pasar los productos del depósito de mezcla (estado *A*) a los sacos apilados en el almacén (estado *B*).
- 3) Pasar los productos del depósito de mezcla a sacos en el camión de entrega.
- 4) Pasar los productos del depósito de mezcla al camión de entrega.
- 5) Pasar los productos del depósito de mezcla a un medio de entrega.
- 6) Trasladar los productos del depósito de mezcla a los depósitos de almacenamiento de los consumidores.
- 7) Trasladar los productos desde los depósitos de almacenamiento de los consumidores.
- 8) Trasladar los productos desde el productor hasta el consumidor.

La formulación 1 es inaceptable, pues no identifica los estados *A* y *B* y contiene restricciones: "llenar, pesar, coser y apilar", que no caben en la formulación de un problema. Obsérvese que estas restricciones son características de la solución actual. Las formulaciones de la 2 a la 8 son aceptables, pero no son recomendables en igual grado. Esa disposición de formulaciones y el hecho de que las probables consecuencias de seguir cada una sean completamente diferentes, plantea una importante cuestión que se conoce por "amplitud" de la formulación de un problema.

Amplitud de la formulación del problema que realice el lector. En las formulaciones 2 y 3 se supone que el producto está dentro de sacos en el estado *B*. En la 4 sólo se especifica "el camión", abriendo el problema a soluciones en que no intervengan sacos. En la 5 únicamente se especifica "un medio de entrega" para el estado *B*, admitiendo así soluciones adicionales en las que no intervengan camiones. Esta tendencia hacia una definición menos concreta de los estados *A* y *B* continúa hasta que sólo se mencionan el productor y el consumidor, dejando la puerta abierta a una amplia variedad de métodos de manejo, formas de transporte, tipos de empaque, etc. Así pues, es evidente que a medida que son más generales las especificaciones supuestas para los estados *A* y *B*, son más numerosas y variadas las soluciones alternativas de que puede disponer el proyectista. Hay que tratar de que la formulación sea tan general como lo amerite la importancia del problema. El no seguir esta norma hará que campos enteros de ventajosas posibilidades sean excluidos innecesariamente de la consideración. La mayor parte de las personas que tratan de resolver el problema de los alimentos de ganado supondrán automática e injustificadamente que el estado *B* son los sacos apilados en el almacén, y terminarán todo el proceso de diseño sin darse cuenta de que ellas mismas han limitado a ese grado el problema.

En la formulación 2, del estado *B* llega sólo hasta la pila de sacos del almacén (Fig. 3). La formulación 3 extiende el

FIGURA 3. Formulaciones alternativas del problema de distribución de alimentos para ganado que ilustran las formulaciones progresivamente más amplias de un problema.



estado *B* hasta el camión y la 6 lo lleva hasta el consumidor. En las formulaciones 7 y 8 se extiende el estado *A*. En cada uno de estos casos el problema se extiende o amplía de manera que abarque más del problema total. En general, debe tratarse siempre de formular un problema de modo que *comprenda o incluya tanto del problema total, como lo permitan la situación económica y los límites de la organización*. Cuanto más se divida un problema total en subproblemas que hayan de ser resueltos por separado, menos efectiva será probablemente, la solución total. Si la puesta en sacos de los productos se trata como un problema, el transporte y el apilamiento en el almacén como otro, el traslado hasta el consumidor como otro y la descarga de los camiones como otro más, el sistema de distribución de los productos que resulte finalmente es muy probable que esté muy lejos de ser el óptimo. Al tratar este problema con amplitud se tienen muchas probabilidades de obtener un sistema total muy superior a cualquier otro.

El detalle con que se especifiquen los estados *A* y *B* y la porción del problema total que comprendan, se denominarán en lo sucesivo "amplitud de la formulación del problema". La formulación 8 del problema de los alimentos para ganado es ciertamente más amplia que la 2.

Importancia de una formulación amplia. El ingeniero encargado de este proyecto acertó al eliminar la limitación de utilizar sacos y, por lo tanto, abrió el problema a la posibilidad de manejar los productos a granel. Asimismo, su formulación abarcó la entrega al consumidor, lo cual despejó el camino para entregar los alimentos a granel en los depósitos de almacenamiento de los granjeros. El resultado fue que, después de muchos años de realizar el penoso trabajo de cargar y descargar los pesados sacos llenos de alimento, los repartidores entregan ahora el producto impulsándolo con aire a través de una manguera que va desde un camión de reparto especial, el cual es un gran "depósito sobre ruedas", y que descarga directamente en los depósitos de almacenamiento de los granjeros. (Este sistema se asemeja mucho al procedimiento usual de entregar a domicilio el gas o el petróleo combustible descargándolo en tanques estacionarios.)

El tratamiento con amplitud de problemas que fueron atacados previamente por partes, puede dar excelentes resultados. Estamos rodeados de problemas que no han sido resueltos de manera satisfactoria, principalmente porque sus solucionadores razonaron con la "estrechez de miras" ordinaria y tradicional. Lo anterior se aplica a la enseñanza, los negocios, la medicina y muchos otros campos, así como a la ingeniería. La razón de que el autor recomiende con particular insistencia la formu-

lación amplia de los problemas es que hay mayor probabilidad de obtener soluciones notablemente mejores. Hay grandes oportunidades para los ingenieros capaces de atacar problemas en una forma amplia, fuera de la común. El siguiente estudio de un caso ilustra lo que propugna el autor.

La ciudad *X* tiene un grave problema de estacionamiento de autos. Cuarenta por ciento de su zona comercial está ocupada por estacionamientos. Esto ha impulsado a los funcionarios de la ciudad a contratar a un ingeniero consultor para diseñar un edificio de varios pisos que sirva para estacionar 600 autos. Será la primera de una serie de edificaciones semejantes que se construirán en el área congestionada.

(Este problema urbano se presentó principalmente porque varios años antes los solucionadores de problemas, con una vista insuficientemente amplia del problema de la comunidad, sugirieron la construcción de una red de supercarreteras, haciendo que fuese muy rápido y sencillo viajar por automóvil entre los suburbios y la zona central de la ciudad. El resultado fue impredecible. Los residentes suburbanos aprovecharon el túnel de alta velocidad que conducía al corazón de la ciudad e inundaron de autos la zona comercial.)

Antes de especificar los detalles de las instalaciones deseadas, el ingeniero dedica alguna consideración al problema para el cual las edificaciones propuestas son supuestamente la solución. (Obsérvese que al ingeniero se le dio la solución que idearon los funcionarios de la ciudad para ese problema. Su tarea consiste entonces en adaptar esa solución de manera que sea estructural, económica y funcionalmente adecuada.) El ingeniero visualiza el problema fundamental como el de trasladar una gran parte de la población de su lugar de residencia a su sitio de trabajo. Hay una diferencia importante entre esta formulación del problema y la solución restringida dada al consultor. Su formulación amplia abre el problema a un gran campo de soluciones prometedoras. Una es un sistema de tránsito de alta velocidad. Por supuesto, en esta formulación realizada por el ingeniero nada impide la posibilidad de un tipo distinto de comunidad urbana que reduzca la necesidad del transporte en masa.

El ingeniero cumple su deber ético: Informa a los funcionarios de la ciudad que en su opinión el aumentar la extensión de los estacionamientos de la misma no es la solución correcta del problema y que se abstiene de diseñar las instalaciones propuestas. En vez de eso, expone su consideración del problema y algunas soluciones alternativas que se derivan de ella. El adoptar una amplia perspectiva del problema y sostenerla cuando tal actitud es lo mejor para los intereses de su cliente, es una característica de un ingeniero profesional.

¿Con qué amplitud puede usted formular un problema?

Esta es una decisión que *usted* tiene que tomar. Una formulación de un problema es un punto de vista: la forma en que usted lo concibe. Puede consistir sólo en algunas ideas o unas cuantas notas o apuntes escritos de prisa. No es irrevocable o inmutable; podrá ser cambiada si se considera necesario o deseable. En consecuencia, usted debe formular problemas con amplitud, pues es su prerrogativa y, de hecho, su obligación profesional. Si no se procede de este modo, uno se engaña a sí mismo y engaña a su cliente. Sin embargo, el idear una formulación amplia de un problema es una cosa y el grado en que uno pueda aplicarla en el resto del proceso de diseño es un asunto completamente distinto. El cumplimiento cabal de una formulación puede ocasionar un conflicto directo con las decisiones ya tomadas por su cliente o patrón, o bien puede conducir a áreas de decisión que son de la responsabilidad de otras personas de la organización. El ingeniero encargado del problema de la distribución de alimentos para ganado encontró cierta oposición cuando intentó llevar a cabo su formulación amplia en términos de "productor a consumidor". Tuvo que persuadir a las personas responsables de las decisiones correspondientes de que descartaran la idea de los sacos individuales, de cambiar los métodos de almacenamiento, de alterar las normas o sistemas de ventas, etc. El tuvo éxito, pero por una variedad de razones posibles alguien podría muy bien haberle dicho que desistiera de sus propósitos, obligándolo a emplear una formulación más estrecha que fuera en contra de los intereses de la empresa.

El grado en que se justifique y pueda uno llevar a cabo una formulación amplia de un problema dependerá del alcance de nuestras responsabilidades o autoridad, de la importancia del problema y de la limitación (si la hay) de tiempo y dinero que se tenga para su resolución.

Métodos de formulación de un problema. Un problema puede formularse verbal o esquemáticamente de modo satisfactorio, ya sea en el papel o en la mente. En muchos casos bastarán unas cuantas palabras (pág. 125), o quizá sea preferible un esquema (Fig. 3). El método de la "caja negra" para visualizar un problema es una formulación esquemática. La utilidad de este enfoque puede ilustrarse aplicándolo a un tipo de problema que suele definirse insatisfactoriamente: el de procesamiento de información (Fig. 4). Por ejemplo, una agencia que realiza reservaciones de asientos para un vuelo o un teatro, es un sistema de procesamiento de información. El cliente potencial va con el vendedor de boletos y le entrega una solicitud que comprende un cierto número de asientos,

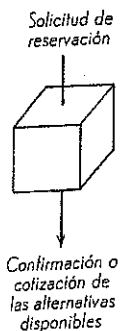


FIGURA 4.

la fecha y algunas otras especificaciones. Todo esto constituye la "entrada" a la caja negra. La "salida" es también información, bajo la forma de confirmación de la solicitud o presentación de las alternativas disponibles. Para la etapa de formulación del problema, lo que ocurra dentro de dicha caja no se conoce o carece de interés; esto substituye a los detalles que estamos tratando de evitar por ahora y, por lo tanto, es la clave de su utilidad. La anterior es una valiosa forma de considerar un problema de procesamiento de información o cualquier otro tipo de problema. La sencillez del método de la "caja negra" encubre su utilidad como ayuda para la resolución de problemas.

Quizás ya se le haya ocurrido al lector que hasta ahora no se le han dado reglas concretas y rápidas para formular un

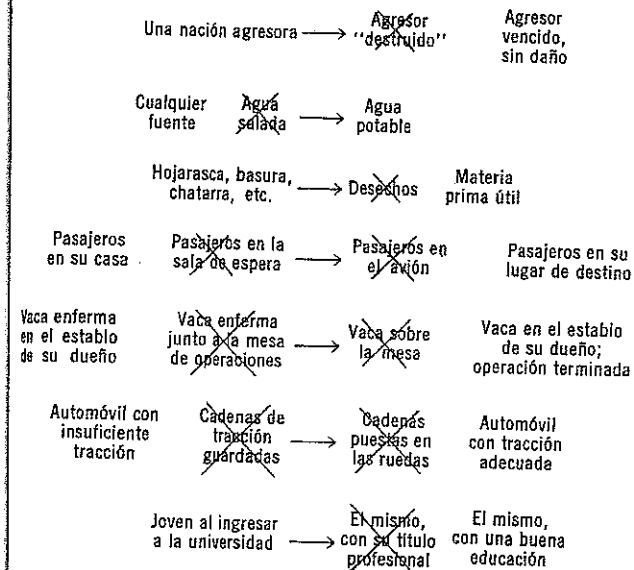


FIGURA 5. Algunas formulaciones de problemas conocidos, que muestran su aumento de amplitud o mejor punto de vista. Se debe tratar de visualizar en cada ejemplo los posibles beneficios de la formulación más amplia. (En el primer caso la mejor perspectiva de emplear medios no destructivos abre el problema a la solución para someter o vencer agresores, tales como los métodos para incapacitarlos temporalmente o inhabilitar sus armas.)

problema. Ningunas reglas se justifican. No existe cosa tal como la formulación correcta de un problema determinado, pero sí hay, por cierto, reglas más o menos ventajosas o utilizables. Lo mejor que puede hacer el autor es ofrecer guías o pautas que ya ha seguido, y citar algunos ejemplos (la Fig. 5 puede ayudar). Corresponde al lector aprovechar esas guías y su propia experiencia para desarrollar su aptitud de formulación de problemas.

Resumen. Se ha dicho que un problema bien definido está prácticamente resuelto. Aunque esto es exagerado, sirve para destacar la importantísima naturaleza de esta fase del proceso de diseño. Un problema puede formularse con distintos grados de amplitud. Estos van desde una definición muy amplia que maximiza el número y el alcance de las alternativas que pueden considerarse, hasta una que ofrezca muy poca libertad para elegir las posibles soluciones. Entre estos límites hay que hacer la elección.

La "entrada" que interviene en la fase de formulación es una información, vaga y mezclada con hechos sin importancia y confusos, acerca de lo que se necesita o se quiere. La "salida", una provechosa formulación del problema, se convierte en "entrada" para la siguiente fase del proceso de diseño, el análisis del problema.

Ejercicios

- Identifique los estados *A* y *B* del problema principal de las siguientes personas. Haga todas las suposiciones que sean necesarias.

- Un muchacho repartidor de periódicos.
- Un montañista.
- Un cocinero o cocinera.
- Un bombero.
- Un profesor.
- Un reparador de televisores.
- Un alfarero o ceramista.

- Formule el problema para el que cada una de las siguientes es una solución. (Por ejemplo, la entrada usual a un engranaje de cambios o "caja de velocidades" es un eje que gira a una cierta velocidad, y la salida es otro eje que gira a una velocidad diferente.)

- Un sistema público de amplificación de sonido.
- Una plancha eléctrica.
- Un aparato acondicionador de aire.
- Un sistema telefónico.
- Un oleoducto interestatal.
- Una planta embotelladora.
- Un aeropuerto.
- Una refinería de petróleo.
- Una barredora de nieve.
- Un tren de transbordo (o sea, el que viaja entre dos líneas ferroviarias principales).

El proceso de diseño: análisis del problema

UN FABRICANTE de aparatos domésticos ha decidido introducir tentativamente al mercado un nuevo tipo de lavadora de ropa. Esta máquina ha de realizar las tareas usuales que se esperan de ella y también servir como máquina de lavado en seco en el hogar. Además, la dirección de la empresa ha decidido que:

- La máquina no *debe* tener más de 75 cm de ancho, 95 cm de alto y 75 cm de fondo.
- Debe* funcionar con corriente alterna de 115 volts y 60 ciclos.
- Debe ser aprobada por los laboratorios oficialmente autorizados.
- Su costo de fabricación no *debe* exceder de 125 dólares.
- Debe* servir satisfactoriamente para todos los materiales textiles naturales y sintéticos.
- Debe* ser a prueba de manejos equivocados.

El ingeniero encargado de diseñar esta máquina de uso múltiple basó su análisis del problema en una considerable cantidad de deliberaciones, investigaciones y consultas, especialmente con altos funcionarios de la compañía y expertos en mercadotecnia, quienes están en estrecho contacto con las preferencias del consumidor (Fig. 1). Su análisis, mostrado en la Fig. 3, se discutirá en los artículos subsiguientes.

Especificación de los estados A y B. En la formulación de este problema es suficiente identificar el estado *A* simplemente como las telas sucias, y el estado *B* como las mismas telas, pero limpias (Fig. 2). Sin embargo, para resolver el problema es necesario saber más acerca de la entrada y la salida. Por lo tanto, durante esta etapa del proceso de diseño se determinan las características cualitativas y cuantitativas de los estados *A* y *B*, como se muestra en la Fig. 3.

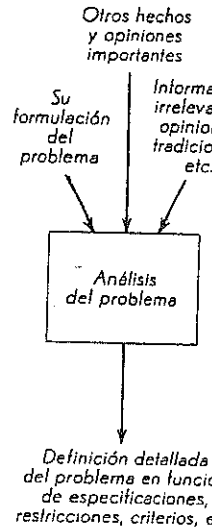


FIGURA 1.

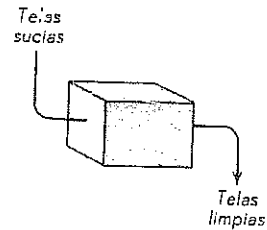


FIGURA 2.