CAPITULO 4

INGENIERIA DE PROCESO

La ingeniería de proceso trata del desarrollo, evaluación y diseño de procesos químicos. Quizá en ninguna otra fase de la ingeniería química puede el ingeniero aplicar de mejor manera los conocimientos técnicos y habilidad adquiridos en su educación superior. Aunque muchas compañías de operación pueden subdividir la ingeniería de proceso de departamentos de desarrollo, de análisis económico y de diseño, no es raro que un solo ingeniero de proceso origine un nuevo proceso y lo continúe, a través de las etapas de diseño, hasta una planta completa. Indudablemente, muchos ingenieros de proceso bastante experimentados, con base en sus conocimientos personales del proceso, son solicitados para dirigir como ingenieros de proyecto el diseño de una nueva planta.

La discusión completa de la ingeniería de proceso y, en particular, del diseño de proceso requeriría un texto sumamente extenso. No obstante, ciertos breves comentarios, relativos a las diversas fases de la ingeniería de proceso, ayudarán a integrarla en el cuadro global del diseño de la planta.

INVESTIGACION BASICA DE INGENIERIA

En los laboratorios de universidades y de institutos de investigación patrocinados por particulares se realiza, en bastante escala, investigación básica en los campos de química y de ingeniería química. Sin embargo, muchas de las industrias de proceso y varias firmas de diseño han encontrado necesario efectuar ciertos tipos de investigación básica. Es a este tipo industrial de investigación básica al que se refiere esta discusión.

Los productos nuevos a menudo se originan en los vasos de precipitados y tubos de ensayo de los químicos de laboratorios industriales al estudiar, en forma muy parecida a los químicos de una universidad o instituto de investigación, ciertos tipos de reacciones para adquirir conocimientos básicos. La diferencia consiste en que el químico industrial escoge reacciones que, si tienen éxito, logran de inmediato cierta significación comercial.

El ingeniero químico también está ligado en su profesión a la investigación básica. Muchas compañías llevan a cabo, en forma continua, programas experimentales sobre operaciones unitarias, cinética de reacciones y termodinámica. El propósito de dicha experimentación es alcanzar un mayor conocimiento de estas operaciones a modo de poder mejorar los procedimientos de diseño y de operación de la planta.

La industria química no puede progresar sin un abastecimiento continuo de conocimientos básicos e información nuevos. La primera industria química norteamericana obtuvo bastantes conocimientos básicos de Europa, particularmente en el campo de la química pura. Sin embargo, las universidades, institutos de investigación y laboratorios industriales de Norteamérica están proporcionando, en escala cada vez mayor, la investigación básica necesaria para el crecimiento de las industrias de proceso. El Congreso estableció la Fundación Nacional para la Ciencia (The National Science Foundation) para impulsar el desarrollo de las actividades de investigación básica en los Estados Unidos.

Un competente ingeniero de proceso debe mantener un íntimo contacto con los avances de la investigación básica en su campo particular. Esto lo lleva a cabo mediante una revisión periódica de la literatura y una estrecha asociación con los progresos de trabajo en su propia organización.

Desarrollo del proceso

Los principios nuevos de diseño, las reacciones modernas y los nuevos compuestos sugieren, por lo general, aplicaciones de importancia industrial que ponen alerta a la gerencia técnica. Tales aplicaciones pueden ser un nuevo proceso o la mejora de uno existente, requiriendo ambos el diseño y construcción de nuevos servicios y pudiendo implicar gastos de varios millones de dólares. Dado que una parte tan grande del diseño de ingeniería es de naturaleza empírica, rara vez es posible saltar del vaso de precipitados a la planta terminada. Debe efectuarse una considerable cantidad de lo que podría llamarse investigación de desarrollo aplicada. La información obtenida permite el diseño de equipo de proceso con un razonable grado de seguridad. El ingeniero de proceso que va a estar relacionado con el diseño y quizá con la operación fundamental de un pro-

ceso, llega a estar íntimamente asociado con el estudio en este punto. Debe ser provisto con todos los datos e interpretaciones de datos obtenidos en el laboratorio. Su experiencia en diseño y operación de plantas hacen su consejo en extremo valioso para los grupos de desarrollo. El ingeniero de proceso puede estar seguro de tener todos los datos necesarios posibles para los cálculos de diseño sólo si se mantiene en estrecha relación con el departamento de desarrollo del proceso.

El desarrollo del proceso a menudo comienza con un estudio en escala de laboratorio. Para obtener datos de naturaleza exploratoria se emplea equipo de vidrio o metálico en pequeña escala. Esta experimentación es valiosa porque con frecuencia constituye un procedimiento no costoso de probar la factibilidad de un proceso y de encaminar apropiadamente los esfuerzos ulteriores de investigación. El grado actual de conocimientos de ingeniería química rara vez permite el diseño de una nueva planta a partir exclusivamente de datos en escala de laboratorio. Existen tantas incógnitas e intangibles que han desafiado al análisis teórico, que es necesario evaluar de manera empírica estos factores en un equipo de mayor escala, el llamado equipo de planta piloto o de planta semiindustrial. En la operación de planta piloto o de planta semiidustrial, se sigue un proceso lo más parecido posible al que se empleará en la planta comercial, de manera que los datos obtenidos puedan ser utilizados con confianza al pasar de la escala de planta piloto al tamaño comercial.

Las plantas piloto son costosas en su construcción y operación. No es poco común que una sola planta piloto cueste cerca de un millón de dólares. Por consiguiente, es imperativo que para reducir la cantidad de trabajo requerido de planta piloto y, de ser posible, eliminarlo por completo, se utilicen todos los conocimientos teóricos disponibles para el ingeniero químico. Por ejemplo, en sencillo equipo de laboratorio es posible obtener datos de velocidad de reacción para una reacción nueva. Empleando principios de cinética aplicada pueden, entonces, desarrollarse ecuaciones de velocidad que permitirán el cálculo del tamaño del reactor para varias condiciones diferentes de operación, lo cual facilita la selección del diseño más económico con la mínima cantidad de datos experimentales. En tal caso, todavía puede considerarse juicioso operar una planta piloto con el fin de obtener datos acerca de corrosión, información sobre transmisión de calor y características generales de la operación del proceso. El conocimiento que sobre cinética se adquiriera en la operación de laboratorio, contribuiría grandemente en el diseño de la planta piloto e indicaría de manera definitiva la cantidad mínima de datos requeridos. Esta forma de aplicación de los conocimientos teóricos ahorra mucho tiempo y dinero, y es muy superior al procedimiento completamente empírico de "ahora ensayemos esto".

Aunque el método empírico de investigación ha tenido éxito en el desarrollo de las industrias de proceso, se debe realizar un continuo esfuerzo para confirmar los principios teóricos de las diversas operaciones unitarias, a modo de poder calcular más y más resultados, reduciendo así o eliminando completamente gran parte del trabajo de planta piloto o de planta semiindustrial actualmente requerido.

EVALUACION DEL PROCESO

La evaluación de un proceso consiste del análisis tanto de la ingeniería como de la economía del proceso y, en su sentido más amplio, es una operación continuada. Debe iniciarse, inclusive, antes de haber efectuado cualquier trabajo de laboratorio. Un cuidadoso análisis de costos en una etapa inicial, indicará si el proceso propuesto es prometedor, y también puede sugerir la dirección de las experimentaciones. La evaluación del proceso debe continuar a intervalos regulares, con objeto de cubrir de esta manera los datos nuevos y significativos que se vayan obteniendo.

Esta continua reevaluación de los factores de ingeniería y económicos en el proceso propuesto, ayuda a la planeación global del trabajo en escalas de laboratorio y de planta piloto. A menudo existen muchas maneras de efectuar una determinada operación unitaria, pero al considerar los aspectos económicos estas posibilidades pueden ser restringidas a sólo unas cuantas. Dybdal[2] ha presentado la relación de la evaluación del proyecto con el trabajo experimental bien planeado, particularmente de la planeación que se hace entre el trabajo de laboratorio y el de planta piloto. En esta etapa, uno de los factores menos tangibles en favor de la evaluación del proceso es que el hacer una estimación de costo requiere el conocimiento del equipo por emplear y, por consiguiente, fuerza automáticamente al ingeniero químico a razonar en forma objetiva. Este razonamiento inevitablemente sugiere muchos renglones de información que deben ser obtenidos de la operación de la planta piloto.

ESTIMACION DE COSTOS E INGENIERIA DE PROCESO

El tipo de estimación de costo requerida por los estudios hasta aquí mencionados, se denomina estimación de costos de diseño preliminar puesto que está basada únicamente en la información de que se dispone antes del diseño real del equipo de la planta. La estimación de diseño preliminar no sólo es valiosa porque dirige los proyectos de investigación por las trayectorias más ventajosas, sino porque también es un auxilio efectivo en los cálculos de diseño. A medida que progresa el diseño de una planta, con frecuencia se hacen evidentes ciertas alternativas para la operación de algunas partes

de la misma. Ejemplos típicos de factores por considerar en diseños alternativos, son las diversas disposiciones de cambiadores de calor, presión o temperatura de reactores y presiones de operación de absorbedores.

La estimación de costos no termina cuando se toma la decisión de construir una planta. A varios contratistas se les envía solicitud de presupuesto, y ellos deben hacer los cálculos preliminares de diseño y obtener cotizaciones de aquellos renglones del equipo de los que tengan pocos o ningunos datos recientes de costo. A partir de esta información los contratistas preparan estimaciones preliminares de costo sobre las cuales basan sus ofertas. Si el contratista hace una cotización en firme, su análisis de costos debe ser excesivamente meticuloso y para asegurar la obtención del contrato debe evitar las contingencias al máximo posible. Los llamados contratos a porcentaje, que en general son populares durante los programas acelerados de construcción típicos de los tiempos de guerra, protegen al contratista de las incalculables contingencias que siempre se presentan en proyectos precipitados que entrañan riesgos considerables. Conforme el trabajo de diseño y construcción avanza en un proyecto, el cliente generalmente solicita, cada mes u otro plazo periódico que le convenga, nuevas estimaciones del costo final. Cada estimación sucesiva es más exacta, ya que a medida que el trabajo se aproxima a su término se dispone de más información. Estos datos siempre llegan a ser de gran valor para el contratista en estudios de costos de sus propias operaciones.

Con frecuencia el "excedente" de las estimaciones preliminares puede ser atribuido a adiciones o a mejoras del diseño original. Los dibujos de diseño suelen circularse a través de los diversos departamentos de la empresa del cliente y durante este proceso a menudo surgen ideas sobre adiciones a la planta. Por consiguiente, el ingeniero de proyecto del cliente puede controlar mejor el costo solicitando frecuentes reestimaciones del costo final de la planta.

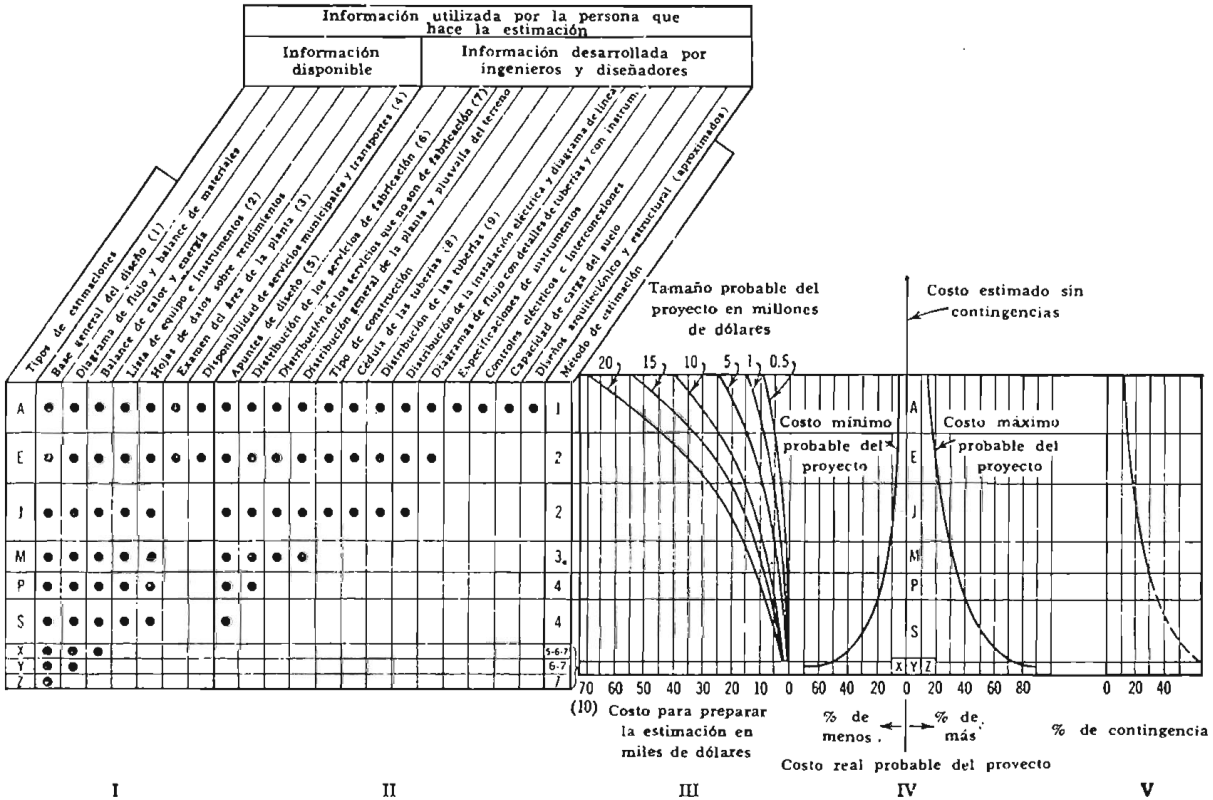
La evaluación económica de los procesos debe continuar aun después de que una planta entra en operación. Los planes para aumentar la producción o para obtener costos más bajos de producción deben ser evaluados siempre sobre una base económica. La evaluación del proceso y su instrumento primordial, la estimación de costos, penetran en cada fase del desarrollo, diseño, construcción y operación de una planta.

Tanto las compañías de operación como las firmas de construcción poseen competentes departamentos de estimación de costos. Estos grupos son divisiones de la organización central de ingeniería y, por lo común, están constituidos por hombres de considerable experiencia en trabajos de estimación de costos. Es muy frecuente

que cada persona se especialice en una fase de la estimación, como tuberías o recipientes. La obligación principal de estos departamentos es desarrollar estimaciones de costos, lo más precisas posible, basadas en informaciones de diseño razonablemente firmes y en los costos disponibles más recientes de equipo. Tales estimaciones son tardadas y costosas, pero son necesarias para que los contratistas puedan establecer cotizaciones o las compañías de operación sus estimaciones de asignación, las cuales son presentadas a la gerencia antes de la asignación definitiva de fondos para un proyecto.

Sin embargo, los ingenieros químicos que actúan como ingenieros de proceso o como ingenieros de proyecto, para ayudar en las decisiones de diseño y en la dirección de investigación y desarrollo, a menudo requieren estimaciones más rápidas y menos costosas. El ingeniero de proceso o de proyecto siempre puede requerir, del departamento de estimación de costos de su empresa, una estimación detallada. No obstante, se debe hacer notar que tales estimaciones son costosas y para muchos propósitos no son necesarias. Nichols[6] ha presentado excelentes comentarios sobre métodos de estimación de capital, abarcando desde el método meramente aproximado hasta una estimación detallada. La Fig. 4-1, presentada por Nichols, muestra un cuadro con nueve diferentes tipos de estimación con grados variables de precisión basados en la información disponible. A partir de esta figura se puede determinar el costo aproximado requerido para preparar una estimación de cada tipo. Se proporciona la precisión de esta estimación y la recomendación de una contingencia para cada tipo de estimación. Dicho cuadro, que está basado en ciertas observaciones reales de una gran empresa, constituye una ilustración del tipo de cuadros que resultan de utilidad en la selección del tipo de estimación más apropiada para un propósito dado (*). Nichols ilustra su aplicación suponiendo un proyecto de cinco millones de dólares y comparando una estimación tipo A, la más exacta, con una estimación menos exacta, tipo J. El costo de la estimación tipo A sería aproximadamente $ 25 000, en tanto que para el tipo J sería de $ 9 000. La mejor estimación tijo J daría un margen de un 30% entre el mínimo y el máximo del costo real, mientras que el margen en la estimación tipo A sería de aproximadamente 20%. ¿Justificará el aumento de precisión en el margen, de 30% a 20%, el costo adicional de $ 16 000 requeridos por la estimación tipo A? En muchos casos, particularmente en estudios de diseño, dicho costo agregado de cierto no sería justificable. Con demasiada frecuencia se malgastan tiempo y dinero tratando de hacer estimaciones de costos de proyectos con mayor precisión de la que es posible lograr con los datos técnicos disponibles.

* Cada grupo que desee utilizar un cuadro como ése, debe construir su cuadro particular basado en su propia experiencia.



1. Producto por hacer, especificaciones y provisiones de almacenamiento; capacidad de la planta; tiempo continuo de operación; provisiones para expansiones; materias primas, fuente y almacenamiento.
2. Muestra el número de cada renglón de equipo requerido, su capacidad y materiales de construcción.
3. Valor del terreno y plusvalía del mismo.
4. Descripción de las facilidades de laboratorio y servicio requeridas.
5. Renglones no usuales de equipo.
6. Muestra el equipo en planta y en elevación.
7. Servicios municipales y generales, caminos, drenajes, etc.
8. Tamaños, materiales de construcción.
9. Sobrepuesta en la distribución del equipo y de la planta.
10. El costo de preparación de las estimaciones no considera estudio alguno de alternativas y no dará lugar a dibujo alguno de construcción o especificaciones. No incluye el costo de preparar la información disponible o el costo de investigaciones del subsuelo para determinar las capacidades de carga del suelo.

FIG. 4-1. Comparación de métodos de estimación de costos (Reimpreso con autorización de W. T. Nichols, *Ind. Eng. Chem.*, *43*, 2297 (1951); basada en una técnica desarrollada por E. H. Buford, M. Welhoelter y R. E. Wright, de Monsanto Chemical Company.)

Método Núm. 1 de estimación

A. Costo cotizado del equipo entregado	$ 0.000
B. Costo estimado de instalación para cada renglón de equipo	0.000
C. Costos separados de materiales para los renglones de tuberías, eléctrico, arquitectónico, estructural, de instrumentos, etc.	0.000
D. Mano de obra estimada a partir de factores prácticos para los renglones comprendidos en *C*	0.000
Subtotal	$00.000
E. Ingeniería y contingencias (% del subtotal)	0.000
F. Servicios de construcción (% del subtotal)	0.000
G. Honorarios o utilidades del contratista (% del subtotal)	0.000
Total	$00.000

Método Núm. 2 de estimación

A. Costo del equipo instalado = costo del equipo entregado (cotizado y estimado) 0.70	$ 0.000
B. Edificios, tuberías, drenajes, renglones eléctrico, instrumental, estructural, de cimentaciones, aislamientos, pintura y varios, basados en costo unitario por renglón, longitud, área o volumen a partir del diseño y deducciones de costo preliminares	000
Subtotal	$00.000
C. Ingeniería y contingencias (% del subtotal)	0.000
D. Servicios de construcción (% del subtotal)	0.000
E. Honorarios o utilidades del contratista (% del subtotal)	0.000
Total	$00.000

Método Núm. 3 de estimación

A. Costo del equipo a partir de datos establecidos o publicados y de cotizaciones	$ 0.000
B. Instalación del equipo, edificios, tuberías, drenajes, renglones eléctrico, de instrumentos, estructural, de cimentaciones, aislamientos, pintura y varios, basados en porcentajes del costo del equipo, usando factres sancionados por la experiencia	0.000
Subtotal	$ 0.000
C. Ingeniería y contingencias (% del subtotal)	000
D. Servicios de construcción (% del subtotal)	0.000
E. Honorarios o utilidades del contratista (% del subtotal)	0.000
Total	$00.000

Método Núm. 4 de estimación

Capital = factor × costo total del equipo entregado, determinado por cotizaciones en los renglones no usuales, y a partir de datos establecidos o publicados en los otros renglones.

Factores

Para planta de proceso de sólidos	3.10
Para planta de proceso de sólidos-fluidos	3.63
Para planta de proceso de fluidos	4.74

Método Núm. 5 de estimación

Capital = factor × costo total del equipo entregado, determinado por datos establecidos o publicados (mismos factores que en el método Núm. 4)

Método Núm. 6 de estimación

Capital estimado sobre la base de dólares por tonelada por año, a partir de cifras publicadas, como las de Wilcoxon, multiplicadas por un factor para actualizar las cifras.

Ejemplo: Wilcoxon afirma que las adiciones en 1942 a una planta grande de amoniaco costaron 86 dls/ton por año. El factor para actualizar la cifra a 1951 = 1.84 (Marshall y Stevents). La adición de 30 000 ton por año, costará: 30 000 × 86 × 1.84 = $4 800 000.00

Método Núm. 7 de estimación

Capital = factor × capacidad anual × precio unitario.

El factor varía desde aproximadamente 2 para operaciones con bajo margen de utilidad hasta menos de 0.5 para operaciones con alto margen de utilidad. El promedio global para la industria química es de aproximadamente 1.0

Estimaciones para evaluación económica

La evaluación económica es una guía indispensable para decisiones del proceso. Estas incluyen decisiones requeridas para dirigir la investigación, el diseño del proceso, los desembolsos de capital (asignaciones de fondos solicitadas de la gerencia) y las condiciones óptimas de operación de la planta. Una evaluación completa de un proyecto nuevo requiere la estimación del capital fijo, nuevo, que se requiere junto con el capital de trabajo. Suponiendo una producción anual y un precio de venta del producto, se pueden calcular las ventas anuales. Del valor total de las ventas anuales, se pueden deducir los costos de fabricación, venta y administración, así como los impuestos, para obtener la utilidad después de impuestos que es esperada del proyecto. Esta utilidad puede entonces expresarse como porcentaje de la inversión de capital, lo cual arroja una cifra de bastante utilidad para ser estudiada por la gerencia. Por supuesto, muchos estudios no requieren una completa evaluación económica. Por ejemplo, para hacer una selección entre diversos diseños o distribuciones de equipo solamente se necesita efectuar una comparación del costo del equipo en los diferentes casos.

Los procedimientos cortos para estimar el capital fijo, los costos de fabricación y el rédito anual son de lo más útiles cuando se usan con el criterio apropiado. Muchos métodos han sido publicados. A continuación se presentan varios de los que en general son favorablemente considerados por los ingenieros especializados en la materia.

Estimación del capital fijo

Cuando el diseño de las instalaciones nuevas ha progresado hasta la etapa de diseño mecánico, el procedimiento más exacto de estimar los costos finales de la planta es por medio de una estimación detallada de costos, como las que de manera típica son producidas por los departamentos de estimaciones económicas integrados por personal especializado en la materia. Empero, las estimaciones requeridas por ingenieros de proceso invariablemente deben ser hechas antes que se disponga de una gran cantidad de información. En tales casos, rara vez se garantiza la exactitud de una estimación detallada.

La Fig. 4-2 presenta dos métodos cortos que han resultado ser populares. El primero, debido a Lang,[5] se aplica mejor para las denominadas estimaciones "rápidas" y también es útil para comprobar el trabajo de otros ingenieros. El costo total estimado de equipo se multiplica por un factor para obtener el costo total de la planta. El método de Chilton[1] ofrece una estimación más detallada y permite la variación de partes importantes del costo de la planta de acuerdo con el criterio del estimador y con su conocimiento de la situación particular. Chilton presenta una serie de curvas que dan

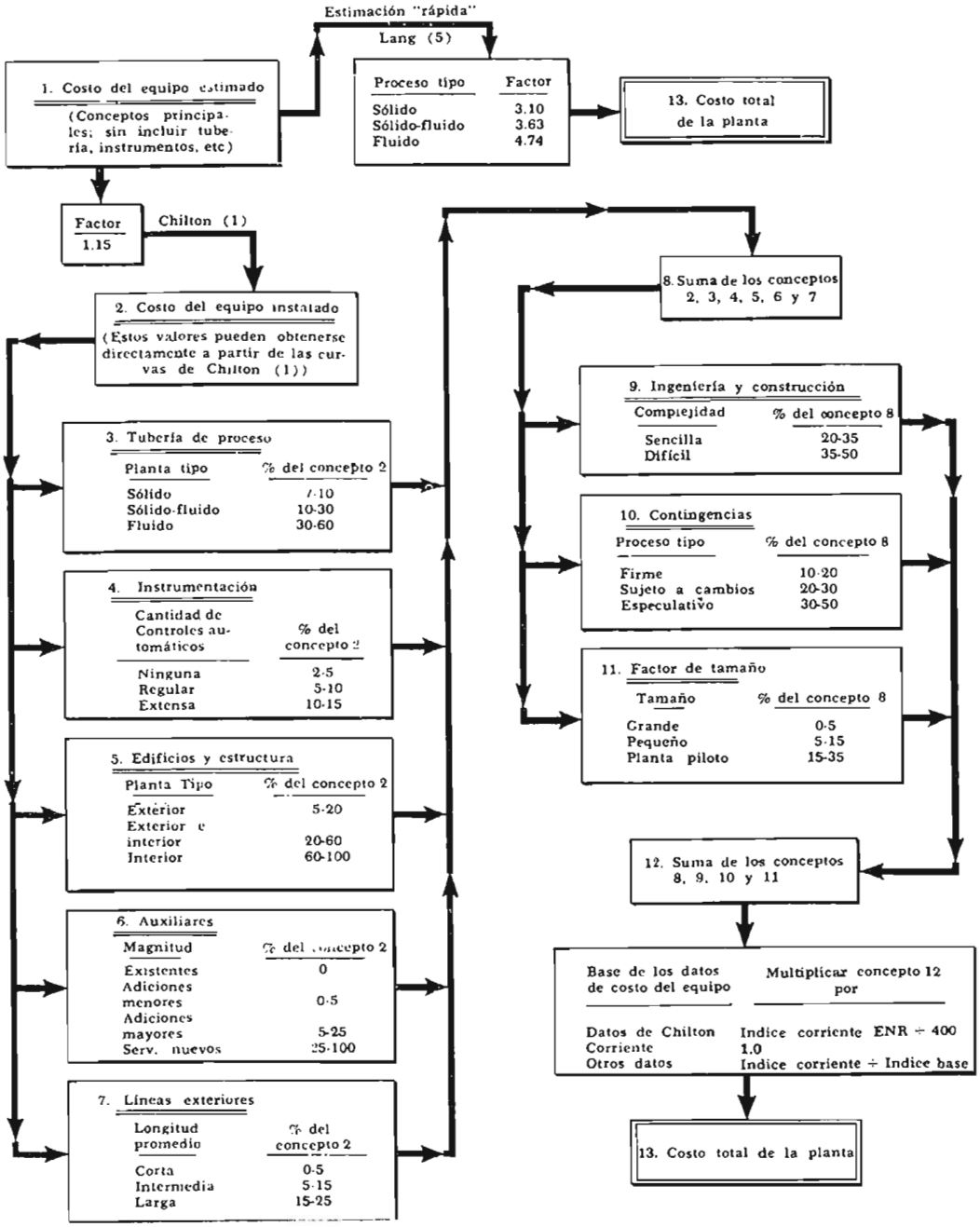


FIG. 4-2. Estimación de los costos totales de la planta

el costo instalado de diversos renglones del equipo basados en un índice de 400 del *Engineering and News Record.* El costo final de la planta se corrige entonces a un costo corriente multiplicando por la relación del índice corriente del *Engineering and News Record* al índice base de 400.

Muchos ingenieros especializados en el tema han desarrollado procedimientos similares para su propio uso, a partir de la información disponible en el departamento de compras de la compañía.

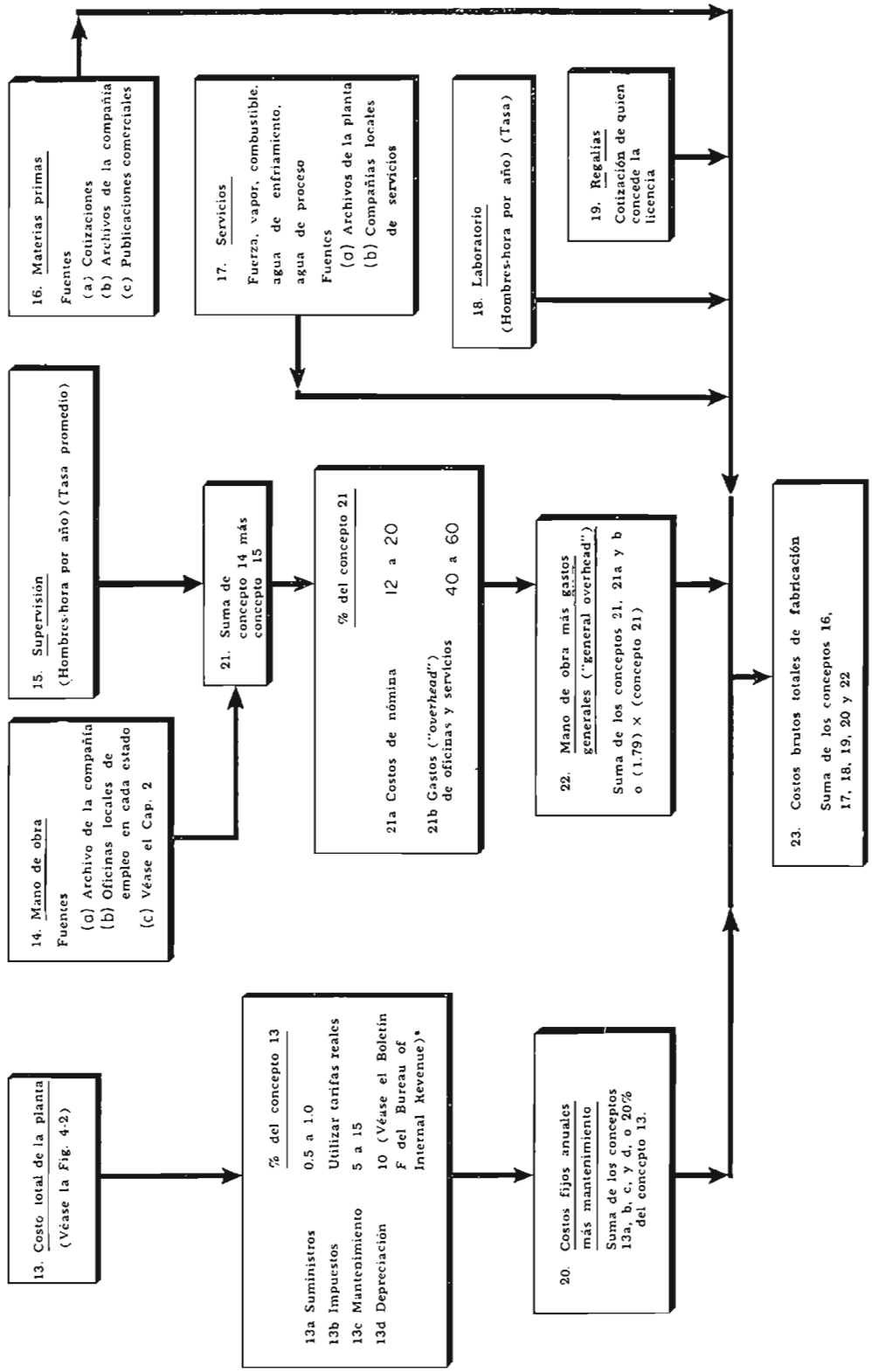
Rápidamente pueden ser trazadas las curvas de costo para los renglones de equipo que con más frecuencia se utilizan en una industria dada. Para evitar una continua revisión de estos datos, los costos corrientes pueden ser estimados multiplicando el costo original por la relación de un valor corriente de algún índice de costos publicado, al valor del índice sobre el cual los cuadros están basados. Se puede disponer de varios de dichos índices. El índice compilado por *Engineering and News Record* está basado en gran parte en los costos del acero, madera para construcción, materiales para cimentaciones y mano de obra. La firma Marshall and Stevens, de Chicago, Illinois,[8] publica trimestralmente índices para costos de equipo, cubriendo varias industrias diferentes. Ocho de estos índices son para industrias de proceso, y han sido encontrados de suma utilidad por muchos ingenieros de proceso.

En la Fig. 4-2 el término edificio y estructura incluye la sustentación y la cimentación. En la selección de los porcentajes apropiados para los conceptos 3 a 11 se debe aplicar el criterio a modo de asegurar la máxima exactitud. Algunas plantas requieren tuberías de aleaciones especiales, lo cual puede incrementar grandemente el renglón del costo de la planta debido a las tuberías. De manera similar, las condiciones de la cimentación también deben ser cuidadosamente evaluadas. Si se requiere piloteado, el costo de la cimentación puede aumentar hasta en 25%. Es importante, por consiguiente, comprender que una exactitud razonable en un costo de planta por una estimación del tipo antes descrito, requiere el desarrollo de una cantidad considerable de un sólido criterio de ingeniería, basado en la experiencia de muchos proyectos previos. Los porcentajes sugeridos, propuestos por Chilton, son para usarse como guías y deben corregirse siempre que se considere necesario para la situación especial que se esté evaluando.

Tanto en la aproximación del costo de renglones sencillos de equipo como en la de plantas enteras, Williams[9] ha sugerido que el costo conocido de una unidad similar pero de diferente tamaño se multiplique por la relación de tamaños elevada a la potencia 0.6. Por ejemplo, considerando un cambiador de 1 200 pies^2, que se vende en \$4 000, estimar el costo de un cambiador, de construcción similar, de 2 000 pies^2. Este costo sería $\$4\,000 \times (2\,000/1\,200)^{0.6} = \$5\,440$.

Costo de fabricación

El costo total de fabricación puede ser estimado como lo propone Dybdal[2] y como se describe en la Fig. 4-3. Dicho costo es la suma de mano de obra, gastos generales (*overhead*), costos fijos y mantenimiento, materias primas, servicios, gastos de laboratorio y regalías. En la Fig. 4-3 se proporcionan multiplicadores para obtener los costos fijos anuales más el mantenimiento y los gastos generales (*over-*



* Algo así como Oficina de Ingresos Interiores (N. del T.).

FIG. 4-3. Estimación de los costos de fabricación. (Base anual. Unicamente costo bruto basado en el trabajo de E. C. Dybdal[2])

head). Sin embargo, en donde sea posible, estos valores deben ser calculados mediante un procedimiento en varios pasos. Los impuestos, por ejemplo, representan una proporción tan grande de los costos fijos y están sujetos a variaciones tan extremas que sería recomendable usar las tarifas reales vigentes. Actualmente, una gran parte de los gastos generales (*overhead*) está representada por el renglón designado como costos de nómina. Estos costos incluyen las diversas prestaciones, tales como los planes de pensión, hospitalización, servicios recreacionales a los empleados y paga de vacaciones. Dichas prestaciones han seguido aumentando año con año y representan una gran parte de la cuenta total de mano de obra. Los costos de materia prima pueden ser obtenidos de publicaciones comerciales, pero las cotizaciones reales de los costos que se esperan en el sitio particular de la planta son, por supuesto, más apreciadas.

Existen muchas agencias de gobierno, tanto federales como estatales, que proporcionan las tarifas de salarios de varias localidades, y se recomienda usar estos valores precisos en vez de algunas tarifas de salarios propuestas en manuales. La mano de obra representa una parte tan grande del costo de fabricación, que los errores de cierta significación al estimar el costo de la mano de obra pueden echar por tierra la exactitud de toda la evaluación económica.

Rédito anual

El interés primordial de la gerencia es, por supuesto, la ganancia neta que es de esperarse de un proceso o planta nuevos. El siguiente procedimiento general sugiere un medio de obtener este valor y es de utilidad para resumir la información requerida por la gerencia.

RESUMEN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CAPITAL

CAPITAL FIJO, NUEVO. Se estima a partir de la Fig. 4-1. Si las instalaciones se van a localizar en una planta existente y por esta razón se aprovecha el equipo existente de generación de vapor y energía eléctrica, parte del valor de dicho equipo debe ser cargado a la nueva instalación. Muchas plantas grandes han adoptado la política realista de cargar al capital fijo requerido por los nuevos servicios, una parte prorrateada de todas las inversiones en servicios, a pesar de que éstos ya existan. Este movimiento en libros efectivamente acumula capital para una expansión definitiva de servicios en alguna fecha posterior y permite que todas las unidades de la planta participen en dicha expansión.

CAPITAL DE TRABAJO. (1) Inventario de materia prima; (2) material en proceso; (3) inventario de producto y almacenes (refacciones, etc.); (4) cuentas por cobrar, cuentas operables en efectivo, y otros; 15% de las ventas anuales.[2]

RESUMEN DE GANANCIAS

Se determina (a) la producción anual y (b) el precio de venta, de preferencia calculándolo sobre la base de varios precios de venta posibles; luego se calculan (c) las ventas anuales ($a \times b$); (d) la utilidad bruta: Inciso c menos la suma de los costos de fabricación y los costos de empaque y embarque; (e) utilidad neta antes de impuestos: Inciso d menos la suma de los costos de venta, administración e investigación (aproximadamente el 10% de las ventas anuales); (f) utilidad neta después de impuestos: Inciso e menos los impuestos. Siempre se deben verificar las tarifas más recientes de impuestos. En los últimos años los impuestos para las compañías han variado considerablemente.

RÉDITO SOBRE LA INVERSIÓN

Este valor se expresa más convenientemente como un porcentaje del capital fijo o de éste más el capital de trabajo requerido. Los ejecutivos encuentran de utilidad hacer sus juicios calculando este rédito sobre la base de utilidad neta tanto antes como después de impuestos.

PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE PROCESO

Base del diseño

Antes de proceder con cualesquiera cálculos de diseño, es esencial establecer por escrito una base completa del diseño. Esta debe incluir la cantidad y calidad de productos deseados, las materias primas y sus características, los servicios y sus temperaturas y presiones, y otros factores tales como la probable aplicación de los subproductos. Simultáneamente se deben hacer otras dos importantes decisiones. Estas son la selección de los factores de seguridad que se van a usar en el diseño y la fijación de la fecha en que se ha de dar término al diseño de proceso.

La primera decisión, los factores de seguridad, es un renglón importante pero que a menudo se desprecia. Frecuentemente, numerosos factores ocultos de seguridad se introducen en el diseño de un solo equipo conforme diversos individuos trabajan en diferentes fases de su desarrollo. Este procedimiento puede muchas veces conducir a diseños en exceso conservadores y con costo adicional innecesario. Es preferible usar un factor de seguridad, mismo que para cada tipo de equipo deberá ser seleccionado al comienzo del trabajo.

La segunda decisión, el tiempo para terminar el proyecto, es más importante de lo que podría parecer por una observación casual. El tiempo disponible para un diseño de proceso determina todo el método de enfoque. Si sólo se dispone de un tiempo corto, es imposible

intentar cualesquiera cálculos rigurosos que consuman mucho tiempo. En lugar de ello, es necesario hacer variar suposiciones basadas en trabajos previos, y se debe estar preparado para aceptar los riesgos inherentes a tal procedimiento. Ciertamente, es juicioso tomar estas decisiones antes de proceder con el diseño real, ya que la filosofía de los factores de seguridad debe ser correspondientemente influida.

Diagrama esquemático de flujo y balance de materiales y energía

Por lo general, para un proceso antiguo la experiencia determina el arreglo más deseable de equipo. Si el proceso es nuevo, el trabajo experimental y la evaluación económica deben suministrar la información esencial para elegir las operaciones unitarias requeridas. El trabajo experimental no siempre es completo, y el ingeniero en diseño de proceso debe reconocer cualesquiera deficiencias que existan, con objeto de poder solicitar los datos adicionales. Se han diseñado y construido plantas con base en datos experimentales para la fabricación de un nuevo producto, pero sin datos para la purificación del mismo. Las operaciones de purificación que se diseñaron sin el beneficio de los datos de laboratorio, resultaron inadecuadas y fueron la causa de que toda la operación fracasara económicamente.

Suponiendo que existe información adecuada, el ingeniero de proceso debe construir un diagrama esquemático en el cual se indiquen todas las operaciones requeridas para la producción de la cantidad y calidad deseadas del producto acabado. Cada una de las operaciones unitarias que se necesitan pueden ofrecer diversas alternativas desde un punto de vista económico. Entonces deben hacerse balances de materiales y energía alrededor de cada unidad, y los resultados registrarse de una manera ordenada de tal modo que puedan ser empleados para los muchos cálculos de diseño de renglones individuales de equipo y para el establecimiento de especificaciones por escrito. El orden y la limpieza son valiosas características en este tipo de trabajo. Cuando en el diseño de proceso de una planta se cuenta pronto con un diagrama de flujo que se pueda entender con facilidad y con un balance exacto de materiales y energía, se eliminan muchos errores y se puede tener a varias personas trabajando eficientemente en diversas fases del diseño.

Procedimientos de diseño

El procedimiento usual de diseño de proceso podría ser separado en dos divisiones principales. La primera implica el diseño real del equipo que se va a construir bajo pedido. La segunda consiste en especificar las condiciones de operación para equipo de fabricación estándar. A la primera categoría pertenecen equipos tales como torres de destilación, torres de absorción, unidades de adsorción y extrac-

ción, y reactores. Equipos que implican transferencia de masa se diseñan mediante el cálculo del número ideal de etapas o del número de etapas de equilibrio (en destilación esto sería el número de platos). El número real de etapas se determina entonces por la aplicación de eficiencias apropiadas, empíricamente determinadas.

En algunos casos se ha encontrado más recomendable emplear, una etapa diferencial en lugar de una etapa de equilibrio y determinar mediante una integración, el número de unidades de transferencia. La altura de una unidad de transferencia puede ser estimada por medio de ciertas correlaciones generalizadas. El diseño de columnas empacadas se hace de esta manera.

Los reactores se diseñan con la aplicación de cinética química, como lo describe Hougen and Watson[4]. A partir de datos experimentales se determinan ecuaciones de velocidad, después de lo cual se evalúan constantes empíricas para las ecuaciones. Si el efecto de la temperatura sobre estas constantes ha sido establecido, es posible calcular tamaños de reactor para diversas condiciones supuestas de operación. Esta técnica permite un completo análisis económico del diseño del reactor, sin una experimentación excesiva. No obstante, en muchos casos las reacciones son tan complejas que el análisis racional por los principios de la cinética aplicada es sumamente difícil en el estado actual de conocimientos. En este caso se debe usar el procedimiento empírico de planta piloto, en el cual las condiciones óptimas de operación se determinan mediante un programa planeado de experimentación que requiere cientos de corridas y, por consiguiente, un gasto considerable. La aplicación de la cinética y de la teoría de transferencia de masa en el trabajo de planta piloto debe ser intentada siempre que sea posible, puesto que contribuirá grandemente en la limitación de la cantidad de investigación tipo Edisoniana requerida.

Una gran parte del equipo para las otras operaciones unitarias que comúnmente se emplean en las plantas de proceso pertenece a la segunda categoría. En realidad dicho equipo no es diseñado por el ingeniero de proceso, aunque el conocimiento de la teoría relacionada con cada tipo de equipo es de extrema utilidad. Renglones de equipo tales como cribas, trituradoras y molinos, clasificadores, sedimentadores y espesadores, bombas, compresoras, cambiadores de calor, filtros, centrífugas, cristalizadores, agitadores y evaporadores, todos ellos se compran de compañías especializadas en uno o más de dichos renglones. La teoría para el diseño de la mayoría de estos equipos está muy difusa y el empirismo es la única guía. Por ejemplo, la selección apropiada de un agitador debe ser puesta en manos de un fabricante que se haya especializado en la construcción de agitadores y que tenga un considerable catálogo de datos experimentales y de operación real. El fabricante puede, por la aplicación de los principios de similitud dimensional, especificar la instalación de

un agitador grande sobre la base de pruebas efectuadas en equipo pequeño de laboratorio. Procedimientos similares son seguidos por los fabricantes de filtros, secadores, centrífugas y otros equipos de este tipo.

El ingeniero de proceso debe estar familiarizado con los métodos de selección utilizados por el fabricante, de tal modo que las especificaciones de operación requeridas por cada renglón del equipo puedan ser inteligentemente compiladas. De esta manera, para el fabricante no será necesario sostener una correspondencia voluminosa para obtener los datos adicionales requeridos por la selección del renglón deseado. En capítulos subsecuentes se proporciona información para contribuir en la selección de diferentes tipos de equipo.

En la especificación de condiciones de operación para el equipo o en el diseño original del equipo de proceso, es esencial que el ingeniero de diseño seleccione los materiales de construcción. Nadie está más familiarizado con el proceso que el ingeniero de proceso; y él, por consiguiente, está en una posición favorable para ayudar al diseñador mecánico en la correcta especificación de materiales que resistan a la corrosión y a la erosión. Existen muchas tablas de fácil manejo que se han impreso para contribuir en la selección de un material de construcción que resista la corrosión de una sustancia dada. Estas tablas sirven solamente como guías preliminares y en su empleo se debe tener mucho cuidado. A menudo un ligero cambio en las condiciones de temperatura puede hacer que se corroa un metal que de ordinario soportaría el ataque del fluido en cuestión. El estudio de la corrosión es aún bastante empírico, y para el ingeniero común no es posible conocer los últimos desarrollos, puesto que la combinación de materiales y agentes corrosivos es casi ilimitada. Esto hace pensar que en todos los casos, con excepción de los más simples, se deba consultar a un ingeniero en corrosión. También han resultado de suma utilidad las excelentes publicaciones periódicas sobre esta materia.

Mientras el diseño y la selección del equipo de proceso se completan, las especificaciones de cada equipo deben resumirse de una manera ordenada. Muchas organizaciones han desarrollado formas para los diversos renglones de equipo. Estas formas aseguran nitidez en la presentación y también evitan que el ingeniero pase por alto algunos datos importantes de la información. Una vez llenas, las formas pueden ser reproducidas y distribuidas a otros departamentos en la firma de ingeniería para ser integradas dentro del diseño completo de la planta. En adición a estas especificaciones, se recomienda producir un diagrama final del flujo del proceso. Este diagrama muestra todos los renglones principales del equipo, proporciona temperaturas, presiones y flujos en todas las partes del proceso. De este modo el diagrama se convierte entonces en una inva-

luable ayuda para los especialistas que deben trabajar en el diseño mecánico de la planta.

El ingeniero de proceso debe preparar una descripción escrita, breve, pero completa, de la operación de la planta. Esta descripción le sirve tanto a la gerencia como a todos los otros ingenieros y diseñadores que deben contribuir al diseño final. La distribución de esta información, sin embargo, debe hacerse con mucho cuidado. Operarios con poca experiencia para comprender datos técnicos de proceso pueden interpretar erróneamente la información, con resultados posiblemente desastrosos.

EL INGENIERO DE PROCESO Y EL INGENIERO DE PROYECTO

Aunque el ingeniero de proyecto tiene a su completo cargo el diseño y la construcción de la planta, es necesario que el ingeniero de proceso esté preparado para ayudar en cualquier momento al ingeniero de proyecto. Normalmente, una vez que el diseño del proceso se ha completado, el ingeniero de proceso será trasladado a otra asignación, aunque las preguntas relativas al proceso continúan presentándose a medida que el diseño mecánico avanza. El ingeniero de proyecto, a pesar de tener experiencia en diseño de proceso, debe simpre referir estas preguntas al ingeniero de proceso que dirigió el diseño original. Unicamente él conocerá las bases de los cálculos de diseño.

Para el ingeniero de proceso es de gran valor, conforme la construcción avanza, acompañar al ingeniero de proyecto en visitas al sitio de la planta, con objeto de estar mejor capacitado para tomar decisiones relativas a cambios en el diseño o en la distribución de equipo. Las compañías interesadas en desarrollar su tecnología de diseño* deben permitir a los ingenieros de proceso seguir las operaciones de arranque de plantas nuevas, y el ingeniero de proceso debe emplear su tiempo en acumular datos de operación. Estos datos no deben ser puestos en los archivos de la compañía, sino que deben ser analizados cuando aún están "frescos" y pasar a ser una parte definida de la experiencia de la operación de la empresa.

FUNTES DE DATOS BASICOS

Además de los datos experimentales o datos de operación que se usan en el diseño de equipo, también se requiere una gran cantidad de datos básicos, de naturaleza física y química. Muchas compañías mantienen excelentes libros de datos en los cuales toda esa información se acumula y se revisa periódicamente. A menudo un depar-

* *Design know-how*, en el original (N. del T.)

tamento se ocupa exclusivamente de llevar al día el libro de datos. Los ingenieros que no disponen de tal información pueden reunir datos solicitando reimpresos de información básica que aparezca en la literatura y obteniendo recopilaciones de datos que hayan sido publicados a través de los años. La siguiente lista contiene algunas recopilaciones recomendables de datos que han demostrado ser útiles y populares entre ingenieros experimentados. No se pretende citar la inmensa cantidad de datos que han aparecido en las publicaciones periódicas, ni los muy valiosos datos que son publicados por los fabricantes de diversos productos químicos. No se considera que la lista de referencias esté completa, pero es de recomendarse aunque cierto material se haya omitido. Algunas de estas referencias son deseables como parte de una biblioteca personal, lo cual se indica mediante un asterisco, aunque muchas de ellas son caras y estarían mejor como parte de la biblioteca de una compañía para un uso técnico general.

A. BIBLIOGRAFIAS Y REVISIONES

1. Katz, D. L., y M. J. Rzasa, *Bibliography for Physical Behavior of Hydrocarbons under Pressure and Related Phenomena*, J. W. Edwards, Inc., Ann Arbor, Mich., 1946.

2. Rollefson, G. K., y R. E. Powell, *Ann Rev. Phys. Chem.*, Annual Reviews, Inc., Stanford, Calif. (anual). Reviews literature on various subjects in physical chemistry.

3. Rose, A., y E. Rose, *Distillation Literature & Abstracts* (1946-52), Applied Science Laboratories, State College, Pa. (1953).

4. Unit Operations Reviews, *Ind. Eng. Chem.* (publicación anual). Reviews work in each unit operation. Many other bibliographies available on special subjects.

B. MANUALES Y REFERENCIAS GENERALES

1. *Beilsteins Handbuch der Organischen Chemie*, Springer-Verlag, Berlin, (4th edition begun in 1914, supplements currently appearing). Latest editions cover literature up to 1929 on well-established organic compounds and reactions; however, it is still primary source of information.

2. Bennett, H., *The Chemical Formulary*, Chemical Publishing Co., Brooklyn, N. Y. (1943). Formulas of many industrial products.

3. *Chemical Economics Handbook*, Stanford Research Institute, Calif. (looseleaf; additional sheets four times per year). Gives financial data on chemical companies, chemical market prices, production and consumption figures.

4. Davis, D. S., *Chemical Engineering Nomographs*, McGraw-Hill Book Co., New York (1944). Collection of various nomographs found useful by Mr. Davis in solving chemical engineering problems.

5. Egloff, Gustav, *The Reactions of Pure Hydrocarbons*, Reinhold Publishing Co., New York (1937).

6. *Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie*, Verlag Chemie, Weinheim (additional volumes appearing currently). Source book of behavior of inorganic compounds. Some sections more recent than Mellor (see below).

*7. Hodgman, C. D., *Handbook of Chemistry & Physics*, 21st Ed., Chemical Rubber Pub. Co., Cleveland (1949).

8. Jacobson, C. A., *Encyclopedia of Chemical Reactions*, Reinhold Publishing Co., New York (1951). Arranged according to elements, four volumes.

9. Josephy, E., y F. Radt, *Elsevier's Encyclopedia of Organic Chemistry*, Elsevier Pub. Co., Houston (1946). Many volumes. They have started with more recent information with the goal of filling in the gap left by Beilstein.

10. Kirk, R. E., y O. F. Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, The Interscience Encyclopedia, Inc., New York (1947—).

*11. Lange, N. A., *Handbook of Chemistry*, 8th Ed., Handbook Publishers, Inc., Sandusky, Ohio (1952).

12. *McGraw-Hill Directory of Chemicals & Producers*, McGraw-Hill Publishing Co., Inc., New York (Annual). Lists chemical producers.

13. Mellor, J. W., *A Comprehensive Treatise on Inorganic & Theoretical Chemistry*, Longman's, Green & Company, London. 16 volumes. Handy reference to inorganic chemistry.

14. *Merck Index to Chemicals & Drugs*, 6th Ed., Merck & Co., Inc., Ralway, N. J. (1952). Eight thousand chemicals described.

*15. Perry, John H., *Chemical Engineer's Handbook*, 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co., New York (1950).

16. Rodd, E. H., *Chemistry of Carbon Compounds*, Elsevier Press, Houston (1953).

*17. Furnas, C. C., *Rogers Manual of Industrial Chemistry*, 6th Ed., Van Nostrand Co., New York (1942). Good descriptive information on well-established processes.

*18. Sax, N. I., *Handbook of Dangerous Materials*, Reinhold Publishing Co., New York (1951).

C. COMPILACIONES DE DATOS TERMODINAMICOS, FISICOS Y QUIMICOS

1. Azeotrópica, destilación, equilibrio, y PVT

Chu, Ju Chin, R. J. Getty, L. F. Brennecke, y R. Paul, *Distillation Equilibrium Data*, Reinhold Publishing Co., New York (1950).

Dreisbach, R. R., *Pressure—Volume—Temperature Relationships of Organic Compounds*, 3a. Ed., Handbook Publishers Inc., Sandusky, Ohio (1952).

Horsley, L. H., *Azeotropic Data*, American Chemical Society, Washington, D.C. (1952).

2. Combustibles.

Fuel—flue Gases, American Gas Association, New York (1941).

Gaseous Fuels, American Gas Association, New York (1948).

Spiers, H. M., *Technical Data on Fuel*, 5th Ed., British National Comm., World Power Conference, London (1950). Calorific values, handy charts and tables for many types of fuels.

3. Hidrocarburos

Brooks, B. T., y A. E. Dunstan, *The Science of Petroleum*, Volume 5, Oxford Univ. Press, London (1950). Crude oils: chemical and physical properties.

Brown, G. G., D. L. Katz, G. G. Oberfell, y R. C. Alden, *Natural Gasoline and the Volatile Hydrocarbons*, Natural Gasoline Association of America, Tulsa, Oklahoma (1948).

Egloff, G., *Physical Constants of Hydrocarbons*, Reinhold Publishing Co., New York (1947).

Doss, M. P., *Physical Constants of the Principal Hydrocarbons*, 4a. Ed., The Texas Company, New York (1943).

*Kobe, K. A., *Thermochemistry for the Petrochemical Industry, Petroleum Refiner*, Reprint, Gulf Publishing Co., Houston (1951).

*Maxwell, J. B., *Data Book on Hydrocarbons,* D. Van Nostrand Co., Inc., New York (1950).

**Natural Gasoline Supply Men's Association Data Book,* 6a. Ed., Tulsa, Okla. (1951). Data on light hydrocarbons.

*Rossini, F. D., *et al, Selected Values of Physical and Thermodynamic Properties of Hydrocarbons and Related Compounds,* Carnegie Press, Pittsburgh, Pa. (1953).

Sage, B. H., y W. N. Lacey, *Thermodynamic Properties of the Lighter Hydrocarbons and Nitrogen,* American Petroleum Institute, New York (1950).

4. Sustancias químicas (General)

*Dreisbach, R. R., *Physical Properties of Chemical Substances,* Dow Chemical Co., Midland, Michigan (1952).

International Critical Tables of Numerical Data, National Research Council, McGraw-Hill Book Co., New York (1930).

Kobe, K. A., y R. E. Lynn, *The Critical Properties of Elements and Compounds,* Chemical Reviews 52, Feb. 1953 (Reprint).

Landolf—Bornstein Phyiskalisch—Chemische Tabellen, Springer-Verlag, Berlin (1931 and supplements).

*Rossini, F. D., *et al., Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties,* National Bureau of Standards Circular 500, Washington, D. C. (1952).

Otras fuentes: Muchas otras fuentes generales están disponibles. Solicitándola de los diversos fabricantes, se puede obtener literatura de los productos químicos que elaboran. Las monografías de elementos y compuestos específicos, publicadas por la Sociedad Química Americana (American Chemical Society), y que abarcan desde varios metales hasta estireno, glicerol y vidrio, constituyen una valiosa fuente de datos.

5. Cinética

Berkman, S., J. C. Morrell y G. Egloff, *Catalysis,* Reinhold Publishing Co., New York (1940). Good source of data on industrial catalysts of all types.

**Tables of Chemical Kinetics.* Homogeneous Reactions, Circular No. 510 of the National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1951).

6. Solubilidades

Seidell, A., *Solubilities of Inorganic & Organic Compounds,* 3a. Ed., Vol. I, II, & Supplements, Van Nostrand Co., New York (1941-52).

Hildebrand, J. H., y R. L. Scott, *The Solubility of Nonelectrolytes,* 3a. Ed., Reinhold Publishing Co., New York (1950).

7. Solventes

Mellan, I., *Industrial solvents,* Reinhold Publishing Co., New York (1950).

8. Conductividad térmica

Sakiadis, B. C. y J. Coates, *A Literature Survey of the Thermal Conductivity of Liquids,* Eng. Exp. Station Bulletin No. 34, Louisiana State Univ., Baton Rouge. La. (1952).

Standards of the Tubular Exchangers Manufacturers Association, 3a. Ed., TEMA, Inc., New York (1952).

9. Varios

Kennan, J. H., y J. Kaye, *Gas Tables,* John Wiley & Sons, Inc., New York (1945).

Kennan, J. H., y J. Kaye, *Thermodynamic Properties of Air,* John Wiley & Sons, Inc., New York (1945).

*Kennan, J. H., y F. G. Keyes, *Thermodynamic Properties of Steam,* John Wiley & Sons, Inc., New York (1936).

Properties of Commonly Used Refrigerants, Air Conditioning and Refrigerating Machinery Association, Washington, D.C. (1946).

Zimmerman, D. T., y I. Lavine, *Psychrometric Tables & Charts,* Industrial Research Service, Dover, New Hampshire (1945).

D. MATERIALES

1. Everhart, J. L., *et al.*, *Mechanical Properties of Metals & Alloys*, Bureau of Standards Cir. C447, Washington, D. C. (1943).
2. DuMond, T. C., *Engineering Materials Manual*, Reinhold Publishing Co., New York (1951). Generalized and in simple terms.
3. Rabald, E., *Corrosion Guide*, Elsevier Publishing Co., Houston (1951). Handy tables of corrosion resistant material recommendations.
4. Simonds, H. R., A. J. Weith, y M. H. Bigelow, *Handbook of Plastics*, 2a. Ed., Van Nostrand, New York (1949).
5. *Technical Data on Plastics*, Manufacturing Chemists Assoc., Washington, D.C. (1952). Properties and Manufacturers.

La posesión de los mejores datos técnicos y conocimientos teóricos para el diseño de todos los tipos de equipo de proceso, representa únicamente una parte de los requisitos de una ingeniería de proceso exitosa. El ingeniero de proceso debe también tener un conocimiento práctico de operación de equipo y de diseño mecánico, logrado a través de experiencia real o al menos por observación de la operación. No es raro que un ingeniero que carezca de estos antecedentes dimensione el equipo de tal manera que resulte impráctica su construcción y operación. Quienes trabajan en diseño mecánico de equipo se resisten a poner en duda o alterar el diseño de proceso, ya que en ocasiones suelen requerirse ciertas distribuciones del proceso. Por consiguiente, en el diseño final de la planta podría llegar a emplearse, sin ser objetado, un diseño impráctico iniciado por el ingeniero de proceso. Así que es necesario que el ingeniero de proyecto esté al pendiente de todos los diseños de proceso imprácticos. Su experiencia en diseño, tanto en las fases mecánicas como de proceso, lo hacen inusitadamente calificado para este trabajo, y como director del proyecto ciertamente ésa es su tarea principal.

REFERENCIAS

1. Chilton, C. H., *Chem. Eng.*, 56, No. 6, 97 (1949).
2. Dybdal, E. C., *Chem. Eng. Progr.*, 46, 57 (1950).
3. Harris, J. McA., Jr., *Chem Eng. Progr.*, 44, 333 (1948).
4. Hougen, O. A, y K. M. Watson, *Chemical Process Principles*, Vol. III, John Wiley & Sons, New York, 1947.
5. Long, H. J., *Chem Eng.*, 55, No. 6, 112 (1948).
6. Nichols, W. T., *Ind Eng. Chem.*, 43, 2295 (1951).
7. "Process Equipment Estimation," Report *Chem. Eng.*, 54, No. 5, 103 (1947).
8. Stevens, R. Q., *Chem. Eng.*, 54, No. 10, 124 (1947).
9. Williams, R., Jr., *Chem. Eng.*, 54, No. 12, 124 (1947).
10. Zimmerman, O. T. y Lavine, *Chemical Engineering Equipment Costs*, Industrial Research Service, Dover, New Hampshire, 1950.