

72
207

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química



**ANALISIS DE LA CURVA INVERSION -
CAPACIDAD PARA EQUIPO DE EVAPORACION**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
PEDRO DE LEGARRETA LORES

MEXICO, D.F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

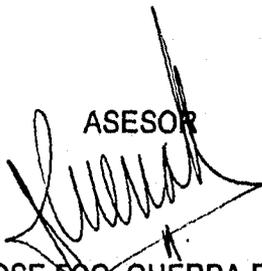
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO:	Presidente	Prof. Eduardo Rojo y de Regil
	Vocal	Prof. José F. Guerra Recasens
	Secretario	Prof. Ramón Arnaud Huerta
	1er. suplente	Prof. Mariano Pérez Camacho
	2o. suplente	Prof. Gerardo Reyes Aldasoro

SITIO DONDE
SE DESARROLLO
EL TEMA:

Biblioteca de la Facultad de Química, UNAM

ASESOR


M. en I. JOSE FCO. GUERRA RECASENS

SUSTENTANTE


PEDRO DE LEGARRETA LORES

DEDICATORIA

A Cristo Rey en quien encuentro toda la razón de mi vida.

A Santa María de Guadalupe Reina de México.

A Juan Pablo II guía de la juventud.

A México por todos sus sufrimientos.

A la UNAM por abrirme los ojos a la vida.

A mis padres Francisco y Linda por el gran esfuerzo que han realizado toda su vida para darme una formación integral.

A mis hermanos Francisco y Tanya, Juan Bernardo, José Ramón, María Herlinda, Rafael y Guadalupe del Rocío por todo su amor y apoyo.

A mis sobrinos Jorge Ramón, Francisco Javier y Marco Antonio por ser la felicidad del hogar.

A mi abuelita Linda por el gran amor que siempre me ha dado.

A todos mis tíos, en especial a Paz y Rodolfo (q. p. d.), Carmen y Enrique y Carmiña y José Luis que me han servido de ejemplo toda la vida.

A mis profesores por todo su esfuerzo y dedicación.

A Pepe Guerra: un gran maestro y un gran amigo.

A Pepe y Miguel por todos los momentos compartidos.

A todos mis compañeros y amigos de la universidad: Hugo, Elizabeth, Jorge, Verónica, Sergio, Adriana, Erik, Angélica, Eduardo y Hal.

A todos aquellos con los que comparto un gran ideal, en especial a Chucho, Ana y Emilio.

INDICE

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1.1 Planteamiento:	2
1.2 Objetivos:	3
1.3 Desarrollo del tema:	3
1.4 Operaciones Unitarias:	5

CAPITULO 2 EVAPORACION

2.1 Principios de la evaporación:	10
2.1.1 Características del líquido:	14
2.1.2 Operación a simple y múltiple efecto:	16
2.2 Tipos de evaporadores:	17
2.2.1 Evaporadores de tubo corto:	18
2.2.2 Evaporadores de circulación forzada:	19
2.2.3 Evaporadores verticales de tubos largos con flujo ascendente:	20
2.2.4 Evaporadores de película descendente:	21
2.2.5 Evaporadores en espiral:	22
2.2.6 Evaporadores de película agitada:	22
2.3 Usos de los evaporadores:	23
2.4 Justificación del uso de gal/hr en la capacidad del equipo:	30
2.5 Influencia de la evaporación en la economía total de la planta:	32

**CAPITULO 3 BASES TEORICAS PARA LA CONSTRUCCION
DE LA CURVA DE INVERSION-CAPACIDAD**

3.1 Economías de escala: 35
 3.1.1. Teoría de la empresa: 35
 3.1.2. El sentido y las fuentes de las economías de escala: 41
 3.1.3 Fuentes de las deseconomías de escala: 53

3.2 Estimación de costos: 54

3.3 Índices de costos: 57
 3.3.1. Generalidades: 57
 3.3.2. Teoría de los números índice: 59
 3.3.3. Índice Marshall & Swift: 60
 3.3.4. Uso de índices: 62

**CAPITULO 4 CONSTRUCCION DE LA CURVA DE INVERSION -
CAPACIDAD**

4.1 Metodología: 64

4.2 Información considerada: 66

4.3 Tratamiento de la información: 70

4.4 Datos estadísticos de la curva: 71

4.5 Análisis de la curva de inversión - capacidad: 73

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 76

BIBLIOGRAFIA 82

**CAPITULO 1
INTRODUCCION**

1.1 Planteamiento:

Cada vez que se va a realizar un proyecto, ya sea este la construcción de una planta, su ampliación o simplemente su remodelación, una de las principales preocupaciones del industrial o del empresario es el costo de lo que requiere y el beneficio que por esta inversión obtendrá.

Por esta razón es importante que el Ingeniero Químico cuente con herramientas confiables que le permitan estimar los costos de aquellos proyectos que debe realizar, y de esta forma pueda elegir aquella que tenga la relación más conveniente de costo beneficio para la empresa.

Una de estas herramientas es la curva de inversión - capacidad que se puede aplicar ya sea a procesos completos, estimando el costo de una planta a diferentes capacidades, o bien a equipo, también a diferentes magnitudes.

De forma general, lo anterior se expresa mediante la ecuación:

$$P = \alpha Q^x$$

Donde P es el precio; Q es la Capacidad; α es el Coeficiente de Ajuste; y x es el exponente que da la Relación de Escalas.

A mayor capacidad el costo de producción unitario disminuye, "hasta cierto límite donde ya no es conveniente seguir incrementando las magnitudes debido al aumento acelerado de los costos"¹.

En estas consideraciones también es importante considerar las limitaciones o exigencias de los mercados interno y externo.

1.2 Objetivo:

Este trabajo busca determinar el exponente x y el coeficiente α para la ecuación que represente la curva de inversión - capacidad para equipos de evaporación, así como hacer un análisis de la misma curva.

1.3 Desarrollo del tema:

El presente trabajo se refiere al análisis de la curva de inversión - capacidad para equipos de evaporación, los cuales forman parte importante dentro de los procesos químicos de cualquier género.

¹ Ferguson, C. E. & Gould, J. P. 1984 Teoría Microeconómica. México: Fondo de Cultura Económica, p. 216

Para enmarcar el contexto dentro del cual se desarrollará el presente trabajo, en la introducción se dará una explicación general sobre las operaciones unitarias y su importancia en los procesos químicos.

En el segundo capítulo, "Evaporación", se dará una descripción completa sobre los fundamentos de la evaporación, los tipos de evaporadores que existen y los usos que tienen en la industria química.

En el tercer capítulo se explicarán los conceptos principales que se necesitan para la elaboración de las curvas inversión - capacidad, iniciando por la teoría de las economías de escala. Posteriormente se hará una breve explicación sobre la estimación de costos y finalmente se explicarán las herramientas que se utilizan para ajustar la información disponible como es el caso de los índices de costos.

En el cuarto capítulo se construirá la curva de inversión - capacidad para los equipos de evaporación y se iniciará el análisis de la curva.

En el quinto capítulo se concluirá el análisis y se harán las conclusiones generales del trabajo.

1.4 Operaciones Unitarias:

La Ingeniería Química se define como "la aplicación de principios procedentes de las ciencias físicas, aunado con los principios derivados de la economía y de las relaciones humanas, en campos que pertenecen directamente a los procesos y al equipo de proceso; gracias a los cuales se trata la materia, para efectuar sobre ella un cambio, ya sea en su estado, en su contenido de energía, o en su composición"².

Debido a esto y a la variedad y complejidad de los procesos industriales modernos, no resulta práctico abarcar toda la materia que comprende la Ingeniería Química bajo una sola denominación, sino que se divide arbitrariamente en una serie de sectores adecuadamente.

A partir de 1915, se definieron las operaciones unitarias por Arthur D. Little a partir de que "cualquier proceso químico en cualquier escala que se lleve a cabo, se puede dividir en una serie coordinada de lo que puede ser llamado acciones unitarias, como pulverización, mezclado, calentamiento, absorción, condensación, lixiviación, precipitación, cristalización, filtración, disolución, electrólisis, y así sucesivamente. El número de estas operaciones unitarias básicas, no es muy grande y, relativamente, pocas se encuentran incluidas en un proceso particular. La complejidad de la

² Foust, Alan S. 1983. Principios de operaciones unitarias. México: CECSA, 1983, p. 1

Ingeniería Química resulta precisamente de la variedad de condiciones tales como temperatura, presión, concentración, etcétera, bajo las cuales tienen que ser llevadas a cabo las acciones unitarias en los diferentes procesos, y de las limitaciones que ofrecen los materiales de construcción, así como del diseño que se impone a los aparatos debido a las características físicas y químicas de las sustancias reaccionantes"³.

Los procesos químicos pueden consistir de una secuencia de pasos o estadios que pueden variar ampliamente, y los principios de los cuales son independientes del material que se procesa, o bien de otras características del sistema particular. En el diseño de un proceso, cada paso que se va a utilizar puede estudiarse individualmente siempre y cuando pueda ser reconocido como un estadio.

Así pues, las operaciones unitarias son la forma más sencilla de conceptualizar un proceso químico, y sirven, tanto para la enseñanza de la ingeniería química como para el desarrollo profesional del ingeniero en el diseño de procesos.

Las operaciones unitarias se utilizan ampliamente "en la realización de las etapas físicas de preparación de los reactantes, separación y purificación de los productos, recirculación de los reactantes no convertidos

³ McCabe, Warren L. & Smith, Julian C. 1958 Unit Operations of Chemical Engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., p 1.

y control de la transferencia de energía hacia o desde los reactores químicos"⁴.

Básicamente se distinguen tres áreas dentro de las operaciones unitarias⁵:

- Mecánica de fluidos.- es el área de las operaciones unitarias que estudia y diseña el transporte y movimiento de los fluidos en un proceso.
- Transferencia de calor.- se ocupa de las ganancias o pérdidas de energía de un proceso y la forma de optimizarlas tanto en lo técnico como en lo económico.
- Transferencia de masa.- esta formada por aquellas partes del proceso donde la cantidad de materia y su concentración se encuentran variando.

En una misma etapa u operación unitaria se pueden combinar incluso dos de estas áreas, así pues en la evaporación, por ejemplo, podemos encontrarnos con que hay simultáneamente una transferencia de calor y una transferencia de masa, lo mismo ocurre con la destilación, en ocasiones encontraremos etapas en las que es necesario transportar un fluido y al mismo tiempo hacer una transferencia de calor, este es el caso de algunos intercambiadores de calor.

⁴ Ibid., p. 2

⁵ Ibid., p. 5

Las operaciones unitarias, al igual que la Ingeniería Química, "se basan tanto en principios científicos como en la experiencia"⁶. Diversas técnicas y principios científicos son fundamentales para el estudio de las operaciones unitarias, estos se pueden dividir en dos ramas fundamentales:

- Leyes elementales de la física y la química, tales como las leyes de Newton sobre el movimiento, la ley de la gravitación universal, los principios termodinámicos, etc.
- Técnicas especiales de la Ingeniería Química, donde encontramos las ecuaciones de estado, la ley de los gases ideales y el balance de materia y energía principalmente.

⁶ Foust, Alan S. 1983. Principios de operaciones unitarias. México: CECSA, 1983, p. 2

**CAPITULO 2
EVAPORACION**

El objetivo de la evaporación es concentrar una disolución consistente en un soluto no volátil y un disolvente volátil, normalmente el producto valioso es el líquido concentrado, mientras el vapor se condensa y se desecha. Esto se realiza vaporizando una parte del disolvente para producir una disolución concentrada.

Algunos autores consideran que la evaporación es en realidad equivalente a una separación de una sola etapa. Sin embargo los componentes se separan tan marcadamente, que a menudo "se desprecia el efecto del equilibrio en la composición"⁷.

La evaporación termina, normalmente, antes de que la solución empiece a precipitarse.

2.1 Principios de la evaporación:

La evaporación es un proceso que consta fundamentalmente de dos pasos, el primero consiste en la transferencia del calor del medio térmico a la solución, generalmente a través de un medio sólido. En segundo término el calor y la masa se transfieren simultáneamente de la fase líquida a la fase gaseosa por un fenómeno de equilibrio.

⁷ *Ibid.*, p. 352

Básicamente, una evaporación debe consistir de un recuperador de calor, capaz de hervir la solución y de un aparato para separar la fase gaseosa del líquido en ebullición. En su forma más sencilla este puede ser un recipiente con líquido sobre una plancha caliente.

Cuando se hace pasar vapor por un tubo sumergido en un recipiente con líquido, se forman diminutas burbujas de vapor en forma aleatoria sobre la superficie del tubo. El calor fluye a través de la superficie del tubo y penetra en el líquido por convección cuando no hay presencia de burbujas. Algo del calor del líquido fluye entonces hacia las burbujas, provocando así la evaporación de su propia superficie en contacto con el tubo. Cuando una cantidad suficiente de líquido se ha convertido en vapor, las burbujas se rompen y viajan del seno del líquido a la superficie del mismo formando así una fase gaseosa separada del líquido. Según el postulado de Kelvin^a, el líquido debe encontrarse a una temperatura superior a la de saturación en la burbuja incipiente. Esto es posible en tanto que la naturaleza esférica de las burbujas que se forman provoca que la presión de saturación en su interior sea menor que la que existe en el líquido de los alrededores. La temperatura de saturación de la burbuja es menor que la del líquido y, por lo tanto, el calor fluye de este último al primero.

^a Kern, Donald Q., 1950. Process Heat Transfer.
New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., p. 375

La transferencia de calor por evaporación sin agitación mecánica es, obviamente, una combinación de convección libre ordinaria en líquidos y la convección adicional provocada por el surgimiento de las burbujas. Bajo condiciones de pequeñas diferencias de temperaturas entre la pared del tubo y el líquido en ebullición la formación de burbujas ocurre de forma lenta y la cantidad de calor transferido es debida, esencialmente, a la convección libre expresada según las ecuaciones:

$$\frac{h_c D_n}{k_f} = 0.47 \left[\left(\frac{D_n^3 \rho_f^2 \beta \Delta t}{\mu_f^2} \right) \left(\frac{C \mu_f}{k_f} \right) \right]^{0.25} \text{ } ^9$$

Donde:

- h_c Coeficiente de transferencia de calor para convección libre, .
- D_o Diámetro exterior de los tubos, ft.
- k_f Conductividad térmica a temperatura de película, .
- ρ_f Densidad a temperatura de película, .
- g Aceleración de la gravedad.
- β Coeficiente de expansión térmica, .
- Δt Diferencia de Temperaturas para la transferencia de Calor, °F,
- μ_f Viscosidad a la temperatura de película, cP.
- C Calor específico del fluido frío, .

⁹ Ibid., p. 216

Aquí se pone 0.47 pero este es un valor que en realidad fluctúa entre 0.47 y 0.53, dependiendo de la longitud de los tubos.

$$h_c = 116 \left[\left(\frac{K_f^3 \rho_f^2 C_f \beta}{\mu_f} \right) \left(\frac{\Delta t}{d_o} \right) \right]^{0.25} \quad 10$$

Donde:

- h_c Coeficiente de transferencia de calor para convección libre, .
- d_o Diámetro exterior de los tubos, in.
- K_f Conductividad térmica a temperatura de película, .
- ρ_f Densidad a temperatura de película, .
- β Coeficiente de expansión térmica, .
- Δt Diferencia de Temperaturas para la transferencia de Calor, °F,
- μ_f Viscosidad a la temperatura de película, cP.
- C_f Calor específico del fluido a temperatura de película, .

La tensión superficial es otra variable que influye en la formación de las burbujas y en su tamaño, la forma en que se da esta influencia se puede observar en la fig. 2.1¹¹. La tensión superficial entre el agua y el aire es de aproximadamente 75 dinas/cm a temperatura ambiental, la mayoría de los compuestos orgánicos tienen tensiones superficiales entre 20 y 30 dinas/cm a temperatura ambiental. La tensión superficial de la mayoría de los líquidos a sus respectivos puntos de ebullición, de cualquier forma, no se apartan demasiado de la registrada a temperatura ambiental.

¹⁰ Ibid., p. 217

¹¹ Ibid., p. 376

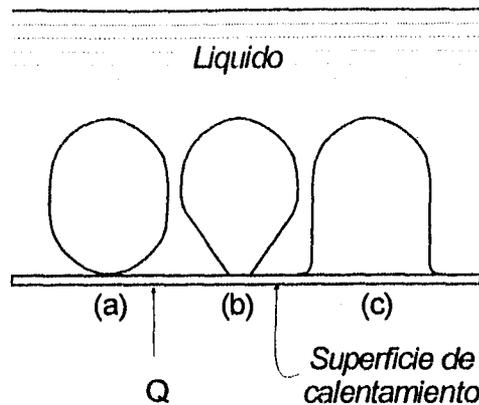


FIG. 2.1: EFECTO DE LA TENSIÓN INTERFACIAL EN LA FORMACIÓN DE BURBUJAS.

2.1.1 Características del líquido:

La solución práctica de un problema de evaporación es afectada profundamente por las características del líquido que será concentrado. Las variaciones en las características del líquido (que implican juicio y experiencia en la ingeniería y manejo de evaporadores) hacen que esta operación "se encuentre entre un simple proceso de transferencia de calor y un arte de separación"¹². Algunas de las propiedades más importantes de los líquidos en la evaporación son las siguientes:

Concentración: No obstante que el líquido que se alimenta a un evaporador muchas veces está suficientemente diluido como para que tenga varias de las propiedades físicas del agua, conforme la solución se va

¹² McCabe, Warren L & Smith, Julian C. 1956 Unit Operations of Chemical Engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., p. 531

concentrando esta empieza a ser cada vez más y más característica. La densidad y la viscosidad aumentan conforme aumenta la proporción del sólido contenido en la solución. Si una vez que se alcanzó la saturación de la solución se continúa evaporando, se empezaran a formar cristales; en este caso se deben remover de los tubos. La temperatura de ebullición puede incrementarse considerablemente si aumenta la proporción de sólido, por lo tanto esta temperatura de ebullición puede ser mucho más elevada que la temperatura de ebullición del agua a la misma presión.

Espumosis: Algunos materiales, especialmente las sustancias orgánicas, forman espuma durante la evaporación. Una espuma estable acompaña al vapor al salir del evaporador, causando un vapor pesado. En casos extremos toda la masa del líquido se puede ir con el vapor y de esta forma se pierde.

Sensibilidad térmica: Varios químicos finos, productos farmacéuticos y alimentos son dañados cuando son calentados a temperaturas moderadas durante tiempos relativamente cortos. En la concentración de dichos materiales se requieren de técnicas especiales para reducir tanto la temperatura como el tiempo de calentamiento.

Escamas: Algunas soluciones depositan escamas en las superficies de calentamiento. El coeficiente de transferencia se ve, por lo tanto, disminuido hasta el punto en que el evaporador debe ser desmontado y se

deben limpiar los tubos. Cuando la escama es dura e insoluble, la limpieza es difícil y costosa.

Materiales de construcción: Siempre que es posible, los evaporadores son contruidos de acero y fierro. De cualquier forma, muchas soluciones atacan los metales férreos o bien son contaminadas por éste. Materiales especiales como el cobre, níquel, acero inoxidable, aluminio, grafito y plomo son utilizados. Dado que estos materiales son costosos, son deseables altos rangos de transferencia de calor para minimizar el costo de manufactura del equipo.

En el diseño de un evaporador intervienen otras características del líquido como, por ejemplo, calor específico, calor de concentración, punto de congelamiento, liberación de gas en la evaporación, toxicidad, peligro de explosión, radioactividad y la necesidad de operación en condiciones estériles.

2.1.2 Operación a simple y múltiple efecto:

Cuando es utilizado un evaporador simple, el vapor proveniente del líquido es condensado y descargado. Este método es llamado evaporación de efecto simple, y aunque es sencillo, emplea el vapor de calentamiento de forma ineficiente. Para evaporar 1 libra de agua de una solución, se

requieren de 1000 a 1200 Btu, y esto es extraído de 1 a 1.3 libras de vapor de calentamiento.

Si el vapor proveniente del evaporador es alimentado a un conducto de vapor de un segundo evaporador y el vapor obtenido en el segundo evaporador es condensado, la operación se denomina de doble efecto. El calor en el vapor original es reutilizado en el segundo evaporador, y la evaporación obtenida por una libra de vapor en este caso es doblada con respecto al primer caso.

2.2 Tipos de evaporadores:

Los principales tipos de evaporadores tubulares con vapor de calentamiento en la actualidad son¹³:

1. Evaporadores de tubo corto
 - a) Tubo horizontal
 - b) Tubo vertical

2. Evaporadores verticales de tubo largo
 - a) Circulación forzada
 - b) Flujo ascendente (película ascendente)

¹³ Ibid., p. 532 y ss.

c) Flujo descendente (película descendente)

3. Evaporador en espiral
4. Evaporadores de película agitada

2.2.1 Evaporadores de tubo corto:

En los tipos de evaporadores más viejos los tubos son "cortos", de 4 a 8 pies de longitud, y medianamente anchos, de 2 a 4 pulgadas de diámetro. En algunas unidades estos tubos son horizontales; en otros son verticales. En la unidad de tubos horizontales que se muestra en la figura 2.2¹⁴ el arreglo de tubos está sumergido en el líquido; el vapor dentro de los tubos se condensa provocando que el líquido se evapore y salga del evaporador. El cuerpo del evaporador contiene el líquido, este cuerpo es en forma de cilindro cerrado por arriba y por abajo; usualmente las tapas son en forma cóncava, de cualquier forma la cabeza inferior puede tener forma cónica. En la parte inferior del evaporador entra el vapor de calentamiento a través de tubos.

Los evaporadores horizontales son baratos y se diseñan para un fácil reemplazo de los tubos. Tiene desventajas como un bajo coeficiente de

¹⁴ Badger, Walter L. & Bancho, Julius T. 1955. Introduction to Chemical Engineering. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc., p. 173

transferencia de vapor (particularmente con materiales viscosos) debido a una pobre circulación del líquido y a la dificultad de remover las escamas de los tubos. Actualmente es muy raro que se construyan este tipo de evaporadores, sin embargo los hay en operación.

En los evaporadores verticales de tubo corto (fig. 2.3¹⁵) el vapor se condensa por fuera de los tubos. El arreglo de tubos contiene una ancha bajada, su sección puede ser de un 25 a un 40 por ciento del área total del arreglo de tubos. La mayoría de la evaporación tiene lugar en los tubos pequeños, por lo tanto el líquido sube por estos tubos y desciende por el tubo de bajada.

2.2.2 Evaporadores de circulación forzada:

En un evaporador de circulación natural el líquido entra a los tubos a una velocidad de 1 a 3 ft/s. La velocidad lineal se incrementa rápidamente conforme se forma el vapor en los tubos, por lo tanto, en general los rangos de transferencia de calor son aceptables. Con líquidos viscosos, de cualquier forma, el coeficiente total de transferencia para circulación natural puede ser incosteablemente bajo. Coeficientes más altos se obtienen mediante evaporadores de circulación forzada, un ejemplo de este se puede ver en la figura 2.4¹⁶. Una bomba centrífuga impulsa al líquido a través de

¹⁵ McCabe, Warren L & Smith, Julian C. 1956 Unit Operations of Chemical Engineering.
New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., p. 535

¹⁶ *Ibid.*, p. 536

los tubos a una velocidad de 6 a 18 ft/s. Los tubos están bajo una cabeza estática suficiente como para asegurar que el líquido no se evapore dentro de los tubos; conforme la cabeza estática se reduce debido al flujo del calentador hacia el espacio del vapor, el líquido se vuelve sobrecalentado, esto produce que, en el instante de entrar al cuerpo del evaporador, se "separe" en una mezcla de vapor y spray. La mezcla de líquido y vapor se impacta en un plato deflector dentro del cuerpo del evaporador. El líquido regresa a la entrada de la bomba, para ser alimentado nuevamente; el vapor sale por la parte superior del evaporador hacia el condensador o para seguir al siguiente efecto.

2.2.3 Evaporadores verticales de tubos largos con flujo ascendente

En la figura 2.5¹⁷ se muestra un evaporador vertical de tubos largos con flujo ascendente. Sus partes esenciales son: (1) un intercambiador tubular con vapor por la coraza y líquido para ser concentrado por los tubos, (2) un separador o espacio de vapor para separar el líquido del seno del vapor, y (3) cuando se opera como unidades de circulación, una pierna de retorno para el líquido del separador al fondo del intercambiador. Las entradas están compuestas por el líquido de alimentación y por vapor, las salidas están compuestas por vapor, líquido pesado, vapor condensado y gases no condensables del vapor.

¹⁷ Ibid., p. 537

Los tubos son, típicamente, de 1 a 2 pulgadas de diámetro y de 12 a 32 pies de largo. El líquido y el vapor fluyen de forma ascendente dentro de los tubos debido a la acción de la ebullición; el líquido separado regresa a la parte inferior del intercambiador debido a la acción de la gravedad. La alimentación, que se encuentra a una temperatura ambiente aproximadamente, entra al sistema y se mezcla con el líquido que regresa del separador. La mezcla entra a los tubos por su parte inferior, fuera de los cuales se encuentra condensándose el vapor.

2.2.4 Evaporadores de película descendente:

La concentración de materiales sumamente sensibles al calor, como el jugo de naranja por ejemplo, requieren de un tiempo de exposición mínimo a la superficie de calentamiento. Esto puede ser hecho haciendo pasar una sola vez este tipo de líquidos a través de un evaporador de película descendente, en los cuales el líquido entra por arriba, fluye por el cuerpo del evaporador como una película descendente por la acción de la gravedad y sale por el fondo del evaporador. Los tubos son anchos, de 2 a 10 pulgadas de diámetro. El vapor extraído del líquido fluye, usualmente, hacia abajo junto con el líquido, y sale del evaporador por la parte inferior de la unidad. Estos evaporadores tienen la apariencia de largos

intercambiadores tubulares en posición vertical, un equipo típico se muestra en la figura 2.6¹⁸.

2.2.5 Evaporadores en espiral:

En estos evaporadores el elemento que proporciona el calor es una espiral metálica sumergida dentro del líquido, dentro del cual condensa el vapor. En unidades grandes de este tipo se lleva a cabo la destilación de agua para alimentarla a calderas; en las unidades pequeñas se llevan a cabo evaporaciones batch de productos viscosos.

2.2.6 Evaporadores de película agitada:

La principal resistencia a la transferencia total de calor del vapor al líquido en los procesos de evaporación se encuentra en la parte del líquido. Los métodos para disminuir esta resistencia, por lo tanto, consiste en proporcionar una considerable mejoría en el coeficiente total de transferencia de calor. En los evaporadores de tubo largo, especialmente en aquellos con circulación forzada, la velocidad del líquido a través del tubo es alta. El líquido es altamente turbulento y por lo tanto se tiene una gran transferencia de calor.

¹⁸ Ibid., p. 539

Otra forma de incrementar la turbulencia es mediante la agitación mecánica de la película de líquido, como se muestra en la figura 2.7¹⁹. Este es un evaporador de película descendente modificado con un tubo simple enchaquetado conteniendo un agitador interno. La alimentación entra por la parte superior de la sección enchaquetada y es esreado hacia una delgada, altamente turbulenta, película por los brazos verticales del agitador. El concentrado sale por la parte inferior de la sección enchaquetada; el vapor sube de la zona de vaporización hacia un separador no enchaquetado, el cual es ligeramente más ancho que el tubo de evaporación.

2.3 Usos de los evaporadores:

Ya se vio que el objetivo de la evaporación es concentrar una solución, donde el producto valioso es comúnmente el líquido concentrado; ciertamente existen casos en los que lo que se busca es liberar al solvente de ciertos contaminantes o impurezas no deseadas, este es el caso por ejemplo, de la obtención de agua potable a partir de agua de mar, agua de alimentación a calderas a partir de agua común; sin embargo estos son los casos menos comunes.

¹⁹ Ibid., p. 540

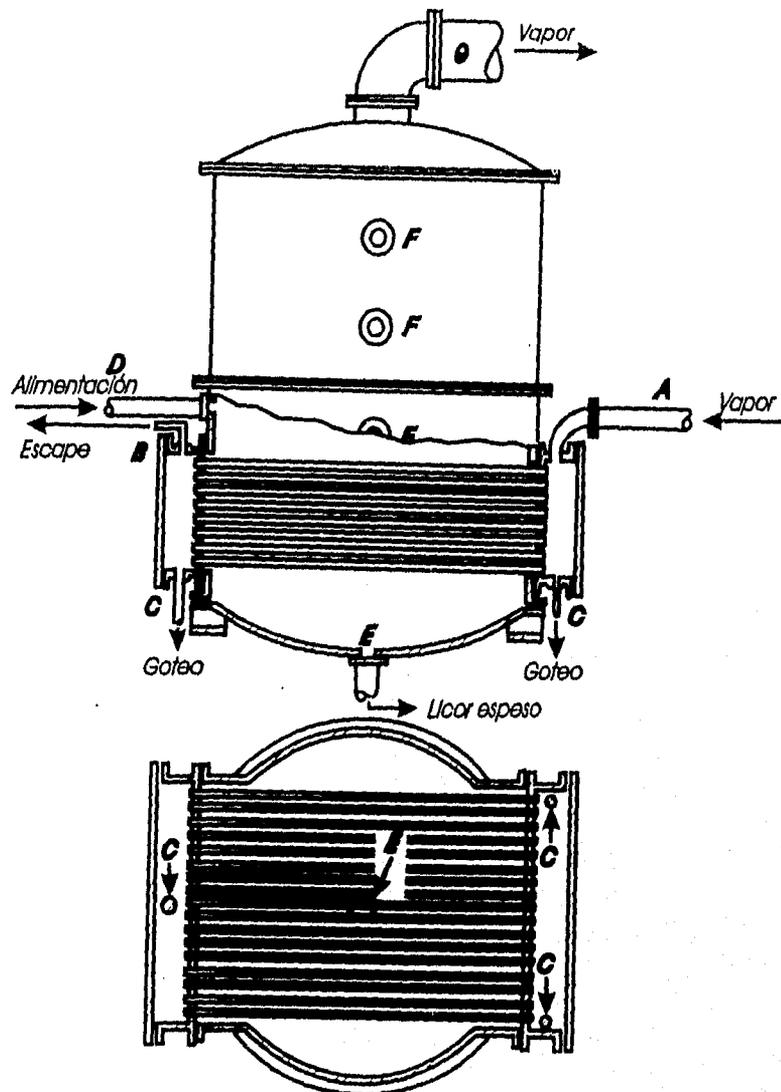


Figura 2.2 Evaporador de tubos cortos horizontales

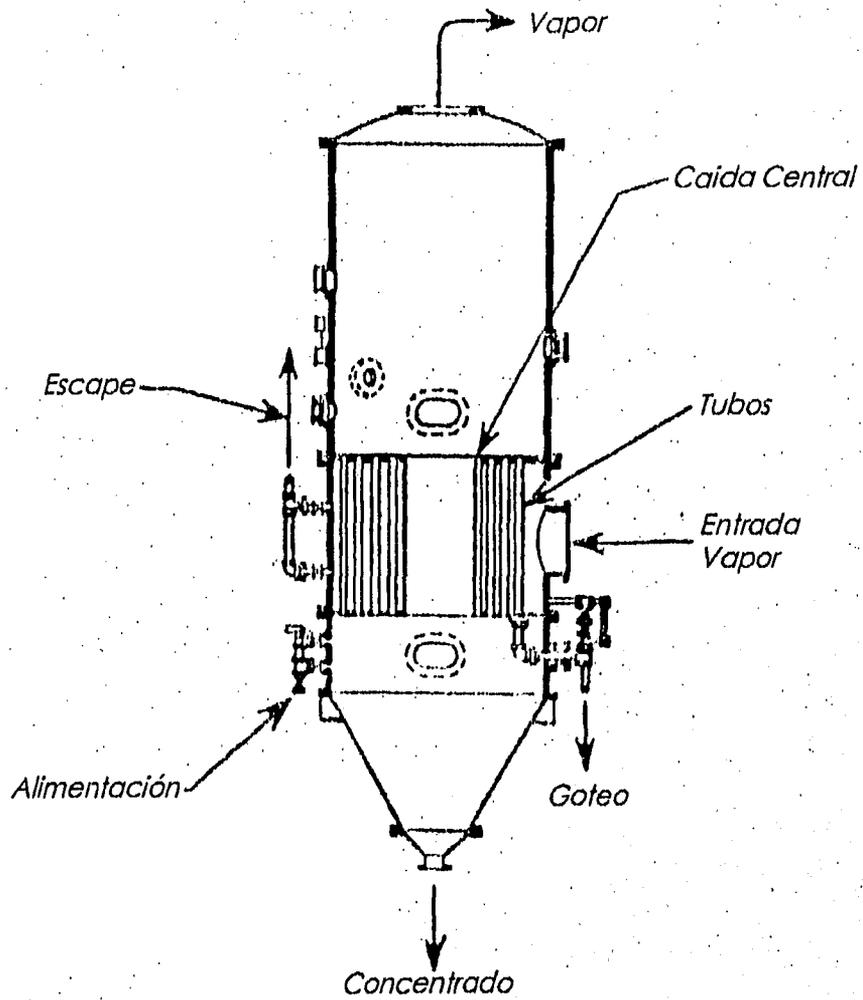


Figura 2.3 Evaporador de tubos cortos verticales

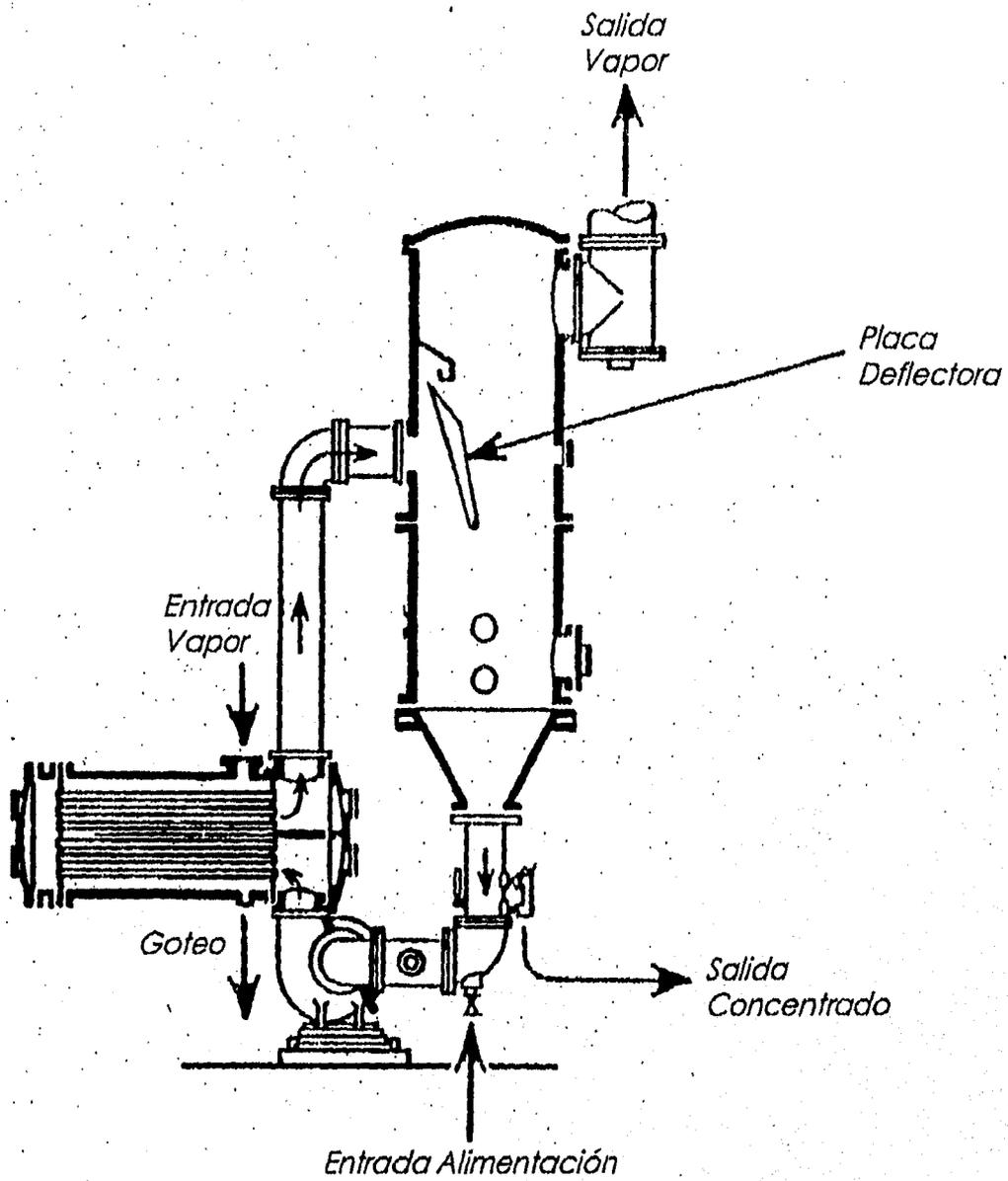


Figura 2.4 Evaporador de circulación forzada

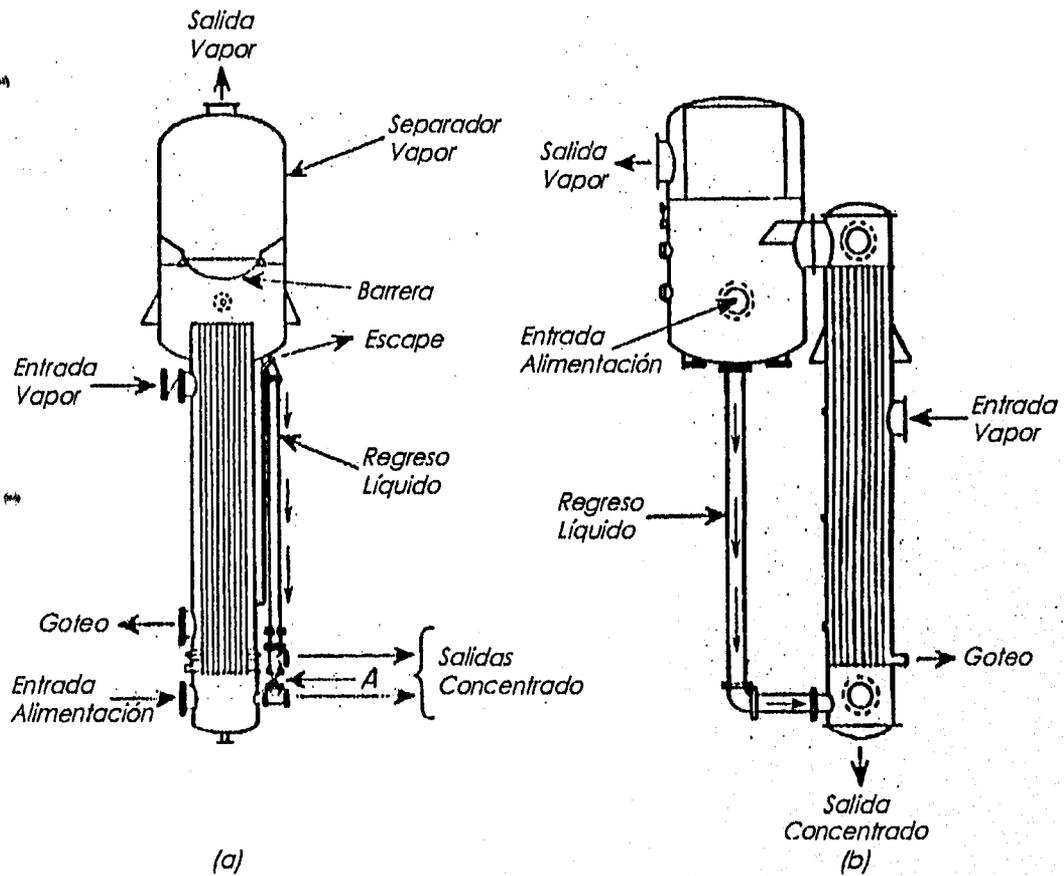


Figura 2.5 Evaporador de tubos largos con flujo ascendente

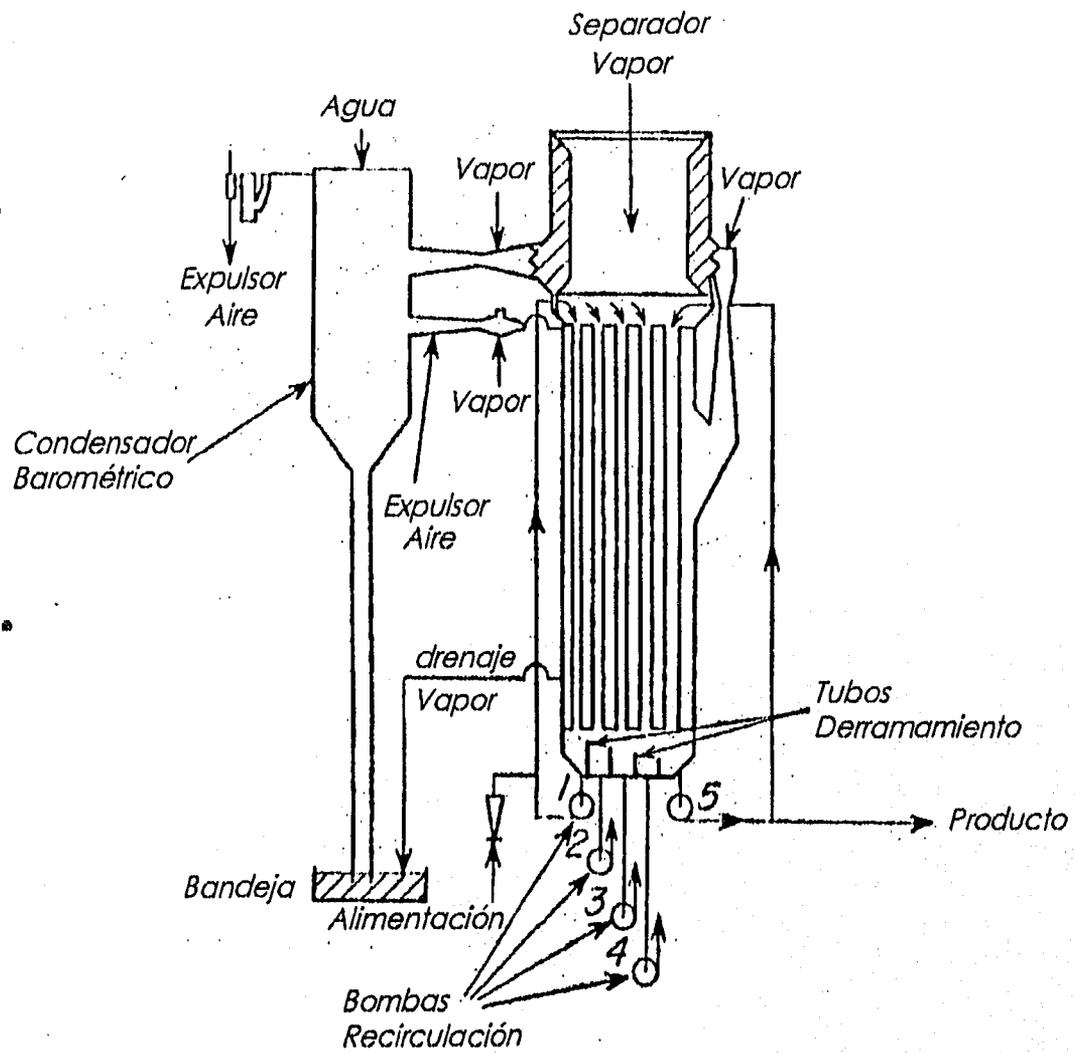


Figura 2.6 Evaporador de película descendente

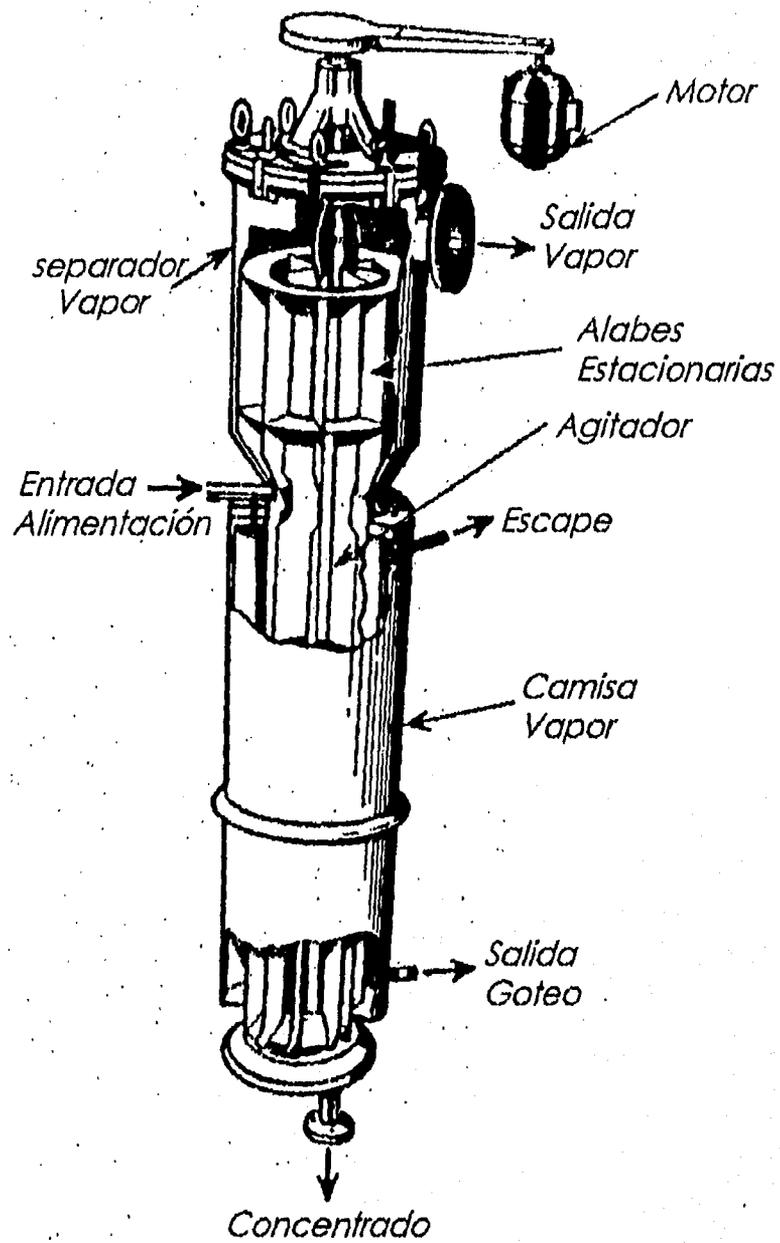


Figura 2.7 Evaporador de película agitada

En la industria alimenticia, por ejemplo, la evaporación se utiliza para concentrar jugos de frutas, esencias, lácteos, etcétera. La evaporación es un paso indispensable en la producción de sal de mesa a partir de salmuera.

La evaporación es utilizada también para la producción de gelatinas, látex, antibióticos, como se puede ver esta es una operación unitaria muy utilizada en la industria química y que influye de forma importante en la economía total de la planta.

2.4 Justificación del uso de gal/hr en la capacidad del equipo:

La capacidad de los equipos de transferencia de calor (intercambiadores de calor, evaporadores, rehervidores, etc.) son referidas normalmente al área de transferencia que cada uno de ellos tiene, sin embargo en el presente trabajo, dado que la información obtenida está en galones/hora, y no se cuenta con la información necesaria para obtener el valor del área de transferencia es necesario demostrar que el área de transferencia y el gasto son directamente proporcionales.

Para encontrar el área de transferencia de calor (A) tenemos:

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta t} \quad 20$$

donde Q es el calor requerido, U_D es el coeficiente total de transferencia de calor y Δt es el incremento de la temperatura.

Por otra parte, el calor específico (C_p) se define como:

$$C_p = \frac{Q}{G \Delta t} \quad 21$$

donde G es el gasto, y al despejar tenemos:

$$C_p G = \frac{Q}{\Delta t}$$

sustituyendo esto en la ecuación para el área obtenemos que

$$A = \frac{C_p G}{U_D}$$

dado que, tanto C_p como U_D son constantes para un caso dado

²⁰ Kern, Donald Q.. 1950. Process Heat Transfer.
New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., p. 107
Definición del Coeficiente Total de Transferencia de Calor.

²¹ Perry, John H. 1950. Chemical Engineers' Handbook.
New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc., p. 219

$$A = kG$$

donde k es una constante y por lo tanto A es directamente proporcional a G que es lo que se deseaba encontrar.

2.5 Influencia de la evaporación en la economía total de la planta:

La necesidad de economizar en la generación de vapor implica hacer una adecuada evaluación del equipo de evaporación en la economía total de la planta. Así como al hacer una evaluación económica general de la planta se estableció a que presión resultaba conveniente manejar el vapor para la generación de energía eléctrica, "los factores económicos pueden condicionar la necesidad de un precalentamiento, la alimentación, la temperatura o bien un arreglo especial en las condiciones del proceso"²².

También existe la posibilidad de aprovechar el vapor de baja presión generado en el evaporador para ser utilizado en otros pasos sin la necesidad de utilizar vapor de alta presión que se encuentra disponible, sin embargo se debe considerar que este vapor puede tener algunas

²² Foust, Alan S. 1983. Principios de operaciones unitarias. México: CECSA, 1983, p. 370

desventajas como tal vez, la presencia de sales pesadas en el seno del vapor que puede producir corrosión en los equipos en que se utilice.

CAPITULO 3
BASES TEORICAS PARA LA CONSTRUCCION DE
LA CURVA INVERSION-CAPACIDAD

3.1 Economías de escala:

3.1.1. Teoría de la empresa:

La teoría neoclásica de la empresa²³ postula que el objetivo de la misma consiste en maximizar los beneficios mediante la elección de factores, dada la función de producción q o $f(x)$ y dados el precio del producto p , y los precios de los factores, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. Los beneficios Π son iguales al ingreso, R , menos el costo de producción, C :

$$\Pi = R - C^{24}$$

siendo el ingreso el multiplicar la cantidad producida por el precio del producto unitario:

$$R = pq = pf(x)^{25}$$

y siendo el costo de producción el total de pagos efectuados por todos los factores:

²³ Intrilligator, Michael D. 1973. Optimización Matemática y Teoría Económica. España: Prentice/Hall Internacional, p. 180

²⁴ *Ibid.*, p. 181

²⁵ *Idem.*

$$C = \sum_{j=1}^n w_j x_j = wx^{26}$$

Si fuera posible realizar experimentos para determinar las economías de escala en la industria, produciendo un producto mediante un proceso, las plantas deberían ser diseñadas y operadas para producir un solo producto estándar a niveles variables de salida, y se deberían hacer las comparaciones entre los diversos costos unitarios de producción.

En el problema de la empresa a largo plazo, la empresa es libre de elegir cualquier vector de factores del espacio de factores, de modo que el problema es:

$$\max \Pi(x) = pf(x) - wx \quad \text{sujeta a } x > 0^{27}$$

El coeficiente de la función puede expresarse como una fórmula. El cambio proporcional de la producción es $\frac{\Delta q}{q}$. Sea que todos los insumos aumenten en la proporción λ . Entonces por definición,

$$\alpha = \frac{\frac{\Delta q}{q}}{\lambda}^{28}$$

²⁶ Idem.

²⁷ Ibid., p. 182

²⁸ Ferguson, C. E. & Gould, J. P. 1984 Teoría Microeconómica. México: Fondo de Cultura Económica, p. 210

Si el coeficiente de la función es uno ($\alpha=1$), el cambio proporcional de los insumos conduce al mismo cambio proporcional de la producción, y decimos que hay rendimientos constantes a escala. Si el coeficiente de la función es menor que uno ($\alpha<1$), el cambio proporcional de la producción es menor que el cambio proporcional de los insumos, y decimos que hay rendimientos decrecientes a escala. Por último, cuando $\alpha>1$ decimos que hay rendimientos crecientes a escala.

El caso que nos interesa es cuando la función de producción muestra rendimientos crecientes a escala si la producción se incrementa en una proporción mayor que todos los factores:

$$f(\alpha x) > \alpha f(x)^{29}$$

Sea la función de producción $q = f(x,y)$; entonces, para un cambio pequeño en x , denotado por Δx , la producción cambiará en $PMg_x \Delta x$, o sea, el producto marginal de x multiplicado por el cambio de x . De igual modo, para un cambio pequeño en y , la producción cambiará en $PMg_y \Delta y$, donde PMg_y es el producto marginal de y . Para cambios pequeños de x e y , tenemos entonces que el cambio de la producción es

²⁹ Intriligator, Michael D. 1973. Optimización Matemática y Teoría Económica. España: Prentice/Hall Internacional, p. 173

$$\Delta q = PMg_x \Delta x + PMg_y \Delta y^{30}$$

Una sencilla manipulación algebraica demuestra que esto equivale a

$$\frac{\Delta q}{q} = \left(\frac{x}{q}\right) PMg_x \left(\frac{\Delta x}{x}\right) + \left(\frac{y}{q}\right) PMg_y \left(\frac{\Delta y}{y}\right)$$

Supongamos ahora que x e y aumentaron en la misma proporción λ (es decir, sea $\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta y}{y} = \lambda$) y tendremos que

$$\frac{\Delta q}{q} = \left[\left(\frac{x}{q}\right) PMg_x + \left(\frac{y}{q}\right) PMg_y \right] \lambda$$

o sea,

$$\alpha = \frac{\Delta q}{q} = \left(\frac{x}{q}\right) PMg_x + \left(\frac{y}{q}\right) PMg_y$$

Partiendo de esta ecuación y haciendo los precios de los dos insumos iguales a p_x y p_y . Se multiplica y divide el primer término del último miembro de la misma ecuación por p_x , el segundo término por p_y . Obtenemos

³⁰ Ferguson, C. E. & Gould, J. P. 1984 Teoría Microeconómica. México: Fondo de Cultura Económica, p. 211

$$\alpha = \frac{PMg_x}{p_x} \left(\frac{xp_x}{q} \right) + \frac{PMg_y}{p_y} \left(\frac{yp_y}{q} \right)$$

Se sabe que el producto marginal de cada dólar de insumo debe ser igual para todos los insumos. En símbolos,

$$\frac{PMg_x}{p_x} = \frac{PMg_y}{p_y} \text{ }^{31}$$

sustituyendo tenemos que

$$\alpha = \frac{PMg_x}{p_x} \left(\frac{xp_x + yp_y}{q} \right)$$

Por definición, la suma de los pagos a todos los insumos, es decir, el precio de cada insumo multiplicado por el número de unidades empleadas y sumado para todos los insumos, o sea,

$$C = xp_x + yp_y$$

Además, el costo medio se define como $CM = \frac{C}{q}$. Sustituyendo en nuestra ecuación tenemos

³¹ Ibid., p. 211

$$\alpha = \frac{PMg_x}{p_x} CM$$

La otra información que se requiere es la definición del costo marginal a largo plazo $CMgL = \frac{p_x}{PMg_x}$. La sustitución completa la tarea llegando finalmente a

$$\alpha = \frac{CML}{CMgL}$$

Es decir, el coeficiente de la función es igual a la razón del costo medio a largo plazo por el costo marginal a largo plazo.

Por otro lado, la elasticidad (ε) del costo total es igual a la razón del costo marginal al costo medio, lo que en lenguaje algebraico se escribe como

$$\varepsilon = \frac{CMgL}{CML}^{32}$$

Comparandolo con la ecuación que se obtuvo anteriormente se ve que

$$\varepsilon = \frac{1}{\alpha}$$

³² Ibid., p. 212

Dado que habrá rendimientos crecientes, constantes o decrecientes a escala, según que el coeficiente de la función sea mayor, menor o igual que uno; la elasticidad de la función tendrá el comportamiento inverso. Supongamos que $\alpha > 1$. Esto implica que una expansión proporcional de los insumos hará que la producción aumente en mayor proporción, con el aumento proporcional de los insumos el costo aumenta en menor proporción. La razón de esto es clara: "dado que hay rendimientos crecientes a escala, la expansión proporcional de la producción se logrará con un aumento proporcionalmente menor en el empleo de los insumos"³³. Por tanto, cuando los precios de los insumos permanecen constantes, el costo aumentará proporcionalmente menos que la producción.

3.1.2. El sentido y las fuentes de las economías de escala:

Las curvas de costo promedio a corto plazo (SRAC), señalan la relación existente entre los costos promedios de producción y el porcentaje a que opera la capacidad de una planta. La curva de costo promedio a largo plazo (LRAC) es la unión de los puntos óptimos de la curva SRAC como se muestra en el diagrama 3.1³⁴

³³ Ibid., p. 213

³⁴ Pratten, C. F. 1975. Economies of Scale in Manufacturing Industry. London: Cambridge University Press, p. 4

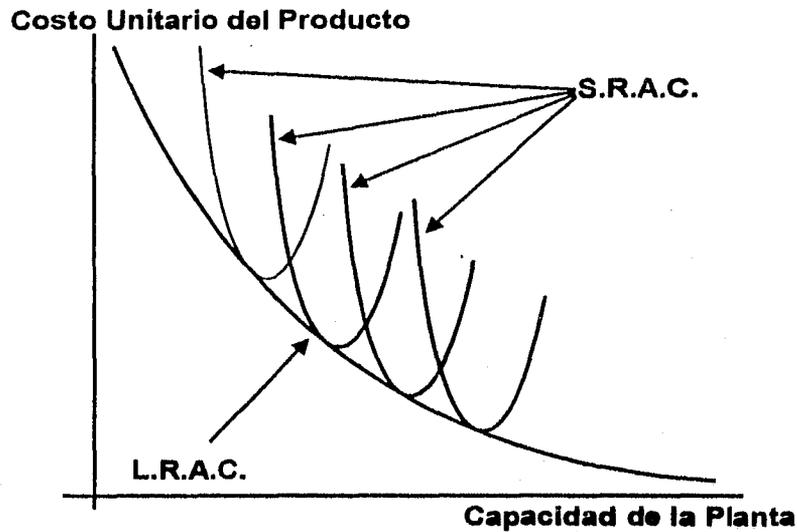


DIAGRAMA 3.1. CURVA DE ESCALAS

En base al diagrama se puede observar que las economías de escala ocurren cuando la curva de escalas baja hacia la derecha, es decir, cuando el precio unitario de producción disminuye al incrementarse el tamaño de la planta.

Partiendo de la planta más pequeña posible, a medida que aumenta su tamaño y la escala de la operación, se producen usualmente ciertas economías de escala. Es decir, que "tras ajustar óptimamente todos los insumos, se puede reducir el coste unitario de producción aumentando el tamaño de la planta"³⁵. Adam Smith expuso una de las principales razones de este fenómeno: la especialización y la división del trabajo. Los factores

³⁵ Ferguson, C. E. & Gould, J. P. 1984 Teoría Microeconómica. México: Fondo de Cultura Económica, p. 214

tecnológicos constituyen una segunda fuerza que contribuye a las economías de escala.

Cuando se consideran los diferentes puntos de una curva de escalas, se hace considerando el uso de la tecnología con que se cuenta en un momento dado. Cuando se considera la construcción de una planta con grandes rangos de producción, y se compara con una planta de bajos rangos de producción, se puede encontrar que la planta grande tendrá maquinaria que no es apropiada para la planta de baja capacidad, sin embargo, al hablar de tecnología actual disponible queda claro que no se tienen que desarrollar estas máquinas de forma especial para la planta en cuestión, es decir, la maquinaria ya existe en el mercado de lo contrario no podemos considerarlo dentro de la curva de escalas.

Cuando se considera la construcción de una planta más grande que cualquiera construida con anterioridad, se descubren nuevos problemas. Se requiere destinar recursos para la investigación y resolución de dichos problemas. Probablemente se encuentren entonces avances técnicos, pero entonces el presupuesto de una tecnología actual disponible queda invalidada. Esto nos lleva a decir que "las curvas de escalación de plantas son válidas para un rango en el que se han probado mediante la experiencia"³⁶.

³⁶ Pratten, C. F. 1975. Economies of Scale in Manufacturing Industry. London: Cambridge University Press, p. 5

Existen diversas dimensiones de escalas:

- (a) Dimensiones que afectan la eficiencia de la producción:
 - (i) La producción total de un producto en particular a través del tiempo.
 - (ii) La duración de los turnos de producción - el período durante el cual un producto es manufacturado o procesado antes de cambiar para procesar otro producto.
 - (iii) El rango de producción de los productos particulares por unidad de tiempo.
 - (iv) La extensión de la estandarización.
 - (v) La capacidad de las unidades de la planta, maquinaria y líneas de producción dentro de la planta.
 - (vi) La capacidad total de las plantas individualmente.
 - (vii) El tamaño total de un complejo de plantas en un solo lugar.
 - (viii) La extensión de la integración vertical.

- (b) Dimensiones que afectan los costos de venta y distribución:
 - (i) Ventas a cada cliente.
 - (ii) La concentración geográfica de los clientes.
 - (iii) La magnitud de las consignaciones a los clientes.

- (c) Dimensiones totales de escala:

- (i) El tamaño de la compañía.
- (ii) La escala de la industria.
- (iii) La escala de la economía nacional.

Las economías de escala son reducciones en los costos atribuibles a diferentes posiciones a lo largo de las dimensiones de escala. En el mismo sentido estas economías de escala son atribuibles al tamaño de la planta, y se pueden referir al tamaño de las etapas, el tamaño de la firma o la industria, etc.

Las economías del incremento de las dimensiones:

Para diversos tipos de equipo de capital, tanto los costos iniciales como los de operación incrementan proporcionalmente menos que la capacidad. Un ejemplo típico de estas economías tiene lugar en la construcción de tanques, recipientes a presión y contenedores de transporte terrestre y marítimo utilizados comúnmente en la industria química y del petróleo. Si el espesor de las paredes de un tanque no es afectado por su tamaño, entonces el costo de incrementar la capacidad aumenta aproximadamente en proporción al área superficial, mientras que la capacidad del tanque se incrementa en proporción de su capacidad volumétrica. Otra razón por la que las grandes unidades son relativamente menos costosas es debido a que se requiere menos material proporcionalmente para hacerlas y fabricarlas. Los costos de operación

pueden ser afectados por el tamaño de las unidades. En las industrias de proceso los costos totales por mano de obra directa en la operación de los equipos no se ven muy afectados por el tamaño de las unidades, y los costos de mantenimiento son comúnmente asumidos como proporcionales al costo de capital del equipo.

Una fuente posible para las deseconomías de escala en la utilización de equipos de capital de grandes dimensiones es que estos requirieran de una mayor inversión para su diseño, construcción e instalación, particularmente cuando el tamaño esta fuera de los rangos de experiencia del fabricante.

Considerando una empresa dentro de una perfecta competencia industrial y asumiendo que la industria es perfectamente competitiva para todos los factores del mercado y que todos los insumos son perfectamente elásticos, la función de producción de la empresa es

$$(1) \quad q = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

donde q es el rango total de producción y x_i es la cantidad de alimentación del insumo i -ésimo. Sin tomar en cuenta el producto principal, todos los productos marginales son positivos y disminuyen de forma uniforme, como es requerido por las ecuaciones (4) y (6) mencionadas más abajo.

Definiendo el precio del insumo i -ésimo por p_i y el precio del producto por p , el costo y la utilidad están dadas, respectivamente, por

$$(2) \quad c = \sum_{i=1}^n p_i x_i$$

$$(3) \quad \Pi = pq - c$$

Dado que el problema se encuentra en el ajuste a largo plazo, todos los factores son susceptibles de ser variables. Por lo tanto se asume que la empresa maximiza (3) sujeta a (1), (2) y la condición de la competencia en equilibrio a largo plazo. Los requerimientos técnicos para obtener el máximo son

$$(4) \quad f_i - \lambda p_i = 0, (i = 1, 2, \dots, n)^{37}$$

$$(5) \quad \frac{1}{\lambda} = p,^{38}$$

$$(6) \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f_{ij} dx_i dx_j < 0^{39}$$

³⁷ Ferguson, C. E. & Saving, T. R. 1969. Long-run Scale adjustment of perfectly competitive firm and Industry. *American Economic Review*. 59, 775

³⁸ Idem.

³⁹ Idem.

La desigualdad (6) se debe cumplir por sí misma sujeta a la condición lineal $\sum_{i=1}^n f_i dx_i = 0$. En lo sucesivo, denominaremos a las matrices asociadas con el no cumplimiento y cumplimiento de las condiciones cuadráticas por $[F^*]$ y $[F]$ respectivamente.

Finalmente, para establecer el equilibrio de la industria a largo plazo requerimos, además de (4) - (6), que el costo marginal sea igual al costo promedio

$$(7) \quad \frac{1}{\lambda} = \frac{\sum_{j=1}^n p_j x_j}{f(x)} \quad 40$$

De lo que se sigue que debemos encontrar esto útil para referir las matrices negativas definidas para (6). Para este fin denotaremos las determinantes por F y F^* y los cofactores correspondientes mediante subíndices, donde las filas y columnas de F están numeradas $0, 1, \dots, n$ y las de F^* por $1, 2, \dots, n$. Entonces es sencillo mostrar que

$$(8) \quad F_{00} = F^*, F_{0i} = -\sum_{j=1}^n f_j F_{ij} \quad 41$$

Sin perder la generalidad se puede asumir que hay un número par de insumos. Entonces (6) y (8) implican que

⁴⁰ Idem.

⁴¹ Idem.

$$(9) \quad \frac{F_{ij}}{F} < 0, (i = 1, 2, K, n)^{42}$$

$$(10) \quad \frac{F_{00}}{F} = \frac{F^*}{F} > 0^{43}$$

La respuesta de la escala óptima a largo plazo de una empresa al cambio en el precio de los factores se puede derivar tomando el diferencial total de (4) sujeto a la condición (7). Esto equivale a forzar la respuesta al cambio en el precio de los factores para cumplir con la minimización del costo manteniendo el equilibrio a largo plazo. Es importante notar que este precio es aún un parámetro de la empresa. De hecho, en el modelo de equilibrio a largo plazo de la industria, la entrada o salida de las empresas obliga al precio a igualar el costo mínimo común promedio a largo plazo para todas las empresas. Por lo tanto no es necesario tomar el precio óptimo en una relación explícita.

De (4) y (7) el sistema relevante de ecuaciones es

$$(11) \quad \sum_{j=1}^n f_{ij} dx_j - p_i d\lambda - \lambda dp_i = 0, (i = 1, 2, K, n)^{44}$$

⁴² Idem.

⁴³ Idem.

⁴⁴ Ibid., 776

$$\sum_{j=1}^n f_j dx_j - \lambda \left[\sum_{j=1}^n p_j dx_j + \sum_{j=1}^n x_j dp_j \right] - cd\lambda = 0$$

Sin perder la generalidad, podemos evaluar el sistema (11) para el vector particular de precios de factores dado por la columna $[dp_1, 0, \dots, 0]$.
Asumiendo esto, sustituimos (4) en (11) y el sistema se reduce a

$$(12) \quad \begin{aligned} -cd\lambda &= \lambda x_1 dp_1, \\ \frac{-1}{\lambda} f_1 d\lambda + \sum_{j=1}^n f_{1j} dx_j &= \lambda dp_1, \\ \frac{-1}{\lambda} f_i d\lambda + \sum_{j=1}^n f_{ij} dx_j &= 0, (i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad 45$$

La matriz de coeficientes de (12) es

$$(13) \quad [H] = \begin{bmatrix} -c & 0 \\ \frac{-1}{\lambda} f_i & f_{ij} \end{bmatrix}_{(i,j=1,2,\dots,n)} \quad 46$$

Los determinantes y cofactores de $[H]$ están relacionados con F y F^* por el siguiente camino

⁴⁵ Idem.

⁴⁶ Idem.

$$\begin{aligned}
 (14) \quad & H = -cF_{00} = -cF^*, \\
 & H_{0i} = -\frac{1}{\lambda}F_{0i} = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^n f_j F_{ij}^* \quad 47 \\
 & H_{i0} = 0, (i = 1, 2, K, n) \\
 & H_{ij} = -cF_{ij}^*, (i = 1, 2, K, n)
 \end{aligned}$$

Resolviendo (12) por la regla de Cramer y utilizando (14) se obtiene

$$\begin{aligned}
 (15) \quad & dx_j = \left(\frac{x_1 F_{0j}}{cF^*} + \lambda \frac{F_{1j}^*}{F^*} \right) dp_1 \quad 48 \\
 & d\lambda = -\frac{\lambda x_1}{c} dp_1
 \end{aligned}$$

De (1) el cambio total a la salida es

$$(16) \quad dq = \sum_{j=1}^n f_j dx_j \quad 49$$

Sustituyendo para dx_j de (15) y sabiendo que $F = \sum_{j=1}^n f_j F_{0j}$, obtenemos la expresión para el cambio a largo plazo en escala óptima a la respuesta en el cambio del precio de los factores

⁴⁷ Idem.

⁴⁸ Idem.

⁴⁹ Idem.

$$(17) \quad \frac{dq}{dp_1} = \frac{x_1 F}{cF^*} + \frac{\lambda}{F^*} \sum_{j=1}^n f_j F_{1j} \quad *50$$

El primer término del lado derecho de la ecuación (17) es siempre positivo dado que cada elemento en la expresión es positivo. Ya que λ y F^* son positivos, el segundo término será positivo o negativo conforme $\sum_{j=1}^n f_j F_{1j}^*$ sea mayor o menor que cero. Ahora diferenciamos (4) y (2) y resolvemos el sistema resultante de $n+1$ ecuaciones para $\frac{dx_1}{dc}$ para obtener

$$(18) \quad \frac{dx_1}{dc} = -\frac{\lambda}{F} \sum_{j=1}^n f_j F_{1j} \quad *51$$

A partir de (18) podemos ver que el segundo término del lado derecho en (17) será positivo sí y sólo sí el factor a considerar tiene una elasticidad de costo negativa. Por lo tanto, "para un factor de este tipo, la escala óptima a largo plazo de una empresa se incrementará cuando el precio de los factores se incremente"⁵².

⁵⁰ Idem.

⁵¹ Idem.

⁵² Idem.

3.1.3 Fuentes de las deseconomías de escala:

El incremento en los costos unitarios cuando se aumenta la escala se debe a dos grupos de razones:

- (a) El suministro de producción es un factor compuesto o el costo de un factor se incrementa como la demanda según el factor de crecimiento. Ejemplos de las limitaciones del factor son:
 - (i) la disponibilidad de fuerza laboral en un área disponible para la empresa.
 - (ii) el espacio disponible en un sitio para una fábrica.
 - (iii) el abastecimiento de agua que se puede tomar de un río para agua de enfriamiento de una planta.
 - (iv) la cantidad requerida de material producido en otro proceso.

- (b) La eficiencia de un factor de producción declina conforme la cantidad del factor de producción se usa para incrementar el tamaño de una firma.

La primera fuente del incremento de los costos no es una fuente de deseconomías de escala como se ha definido. Como se asentó con anterioridad, con el propósito de medir las economías de escala, se asume

que la elasticidad de los factores de suministro de una empresa es perfecta la cantidad de los factores que se compran no afectan el precio. "En la práctica los factores de costo pueden crecer cuando se aumenta la escala"⁵³.

3.2 Estimación de costos:

El Ingeniero Químico es llamado frecuentemente a realizar estimados de inversión para la construcción de plantas de proceso sin tener un diseño preciso de la planta y del equipo. Originalmente se desarrollaron de forma empírica reglas para desarrollar adecuadamente y de forma aproximada este trabajo.

Uno de los métodos más utilizados para obtener la información preliminar de costos es a través del uso de la ecuación costo-capacidad. Como su nombre lo indica, una ecuación de costo capacidad relata el costo de un componente, sistema o planta respecto a su capacidad, una de las ecuaciones más comunes de predicción de costo es:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^X \quad 54$$

⁵³ Pratten, C. F. 1975. Economies of Scale in Manufacturing Industry. London: Cambridge University Press, p. 14

⁵⁴ Thuesen, H. G., Fabricky, W. J., Thuesen, G. J. 1986. Ingeniería Económica. México: Prentice/Hall Hispanoamericana, S. C., p. 405

donde: C_1 = costo a la capacidad Q_1
 C_2 = costo a la capacidad Q_2
 X = exponente

La forma que toman las gráficas dependiendo del valor de X lo podemos ver en el diagrama 3.2⁵⁵

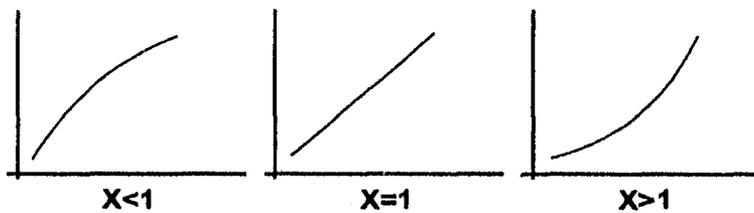


DIAGRAMA 3.2 CURVAS DE INVERSION-CAPACIDAD

El valor del exponente para varios componentes, sistemas o plantas enteras puede ser obtenido o derivado de diversas fuentes, incluidos en el *Chemical Engineers Handbook*, diario técnico (especialidad del *Chemical Engineering*), de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, para organizaciones profesionales o industria y comercio, firmas consultoras y compañías de equipos. La tabla 3.1⁵⁶ es una lista parcial de valores típicos de los exponentes de varias unidades.

⁵⁵ En esta serie de diagramas se puede ver el comportamiento que tendrá la curva Inversión - capacidad para los diferentes valores que tome el exponente.

⁵⁶ Blank, Leland T. & Tarquin, Anthony J. 1992. *Ingeniería Económica*. México: Mc Graw-Hill Interamericana de México, p. 267

Este método fue aplicado primeramente para estimación de costo de equipo en 1947⁵⁷, los resultados del análisis realizado en ese tiempo fueron que los exponentes individuales calculados para cada equipo variaron de 0.48 el más bajo, a 0.87 el más alto, sin embargo seis de los siete equipos estudiados quedaban en un rango entre 0.48 y 0.63, siendo el promedio de los siete equipos de 0.59, muy próximo al 0.6 preestablecido.

Tabla 3.1 Algunos valores de exponentes

Componente/sistema/planta	Rango de tamaño	Exponente
Laguna de aireación	0.05 - 20 MGD	1.13
Planta de lodo activado	1 - 100 MGD	0.84
Reactor	50 - 4,000 gal	0.74
Centrífuga	40 - 60 in	0.71
Tanque de acero inoxidable	100 - 2,000 gal	0.67
Planta hidrogenadora	500 - 20,000 pcsd	0.56
Intercambiador de calor	500 - 3,000 ft ²	0.55
Soplador	1,000 - 7,000 ft/min.	0.46
Planta de Cloro	3,000 - 350,000 ton/año	0.44
Digestor aeróbico	0.2 - 40 MGD	0.14

En 1950, Cecil H. Chilton⁵⁸, propone que el factor de los seis décimos sea utilizado para estimar el costo de plantas completas. En este trabajo Chilton presenta una lista de 36 procesos o productos, la pendiente promedio es de 0.68 y la media se encuentra en 0.66. Al eliminar las pendientes superiores a 0.82, que corresponden a las plantas de unidades múltiples, el promedio obtenido es de 0.62.

⁵⁷ Williams, R. 1947. Six-Tenths Factor' Aids in Approximating Costs. Chemical Engineering. 124-125

⁵⁸ Chilton, C. H. 1950. Six-Tenths Factor' Applies to Complete Plant Costs. Chemical Engineering. 112-114

Las conclusiones de ambos trabajos son las mismas: el factor 0.6 como valor para X en la ecuación de costo capacidad es una buena aproximación. Sin embargo, este valor debe ser utilizado sólo cuando no se posee información más fidedigna, en trabajos más recientes se publican estos valores de X para infinidad de procesos y equipos.

La ecuación costo - capacidad puede ser modificada para tomar en cuenta la influencia de la inflación en el costo del equipo o proceso:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^X \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^{59}$$

Aquí I_1 e I_2 son índices de costos para años particulares.

3.3 Índices de costos:

3.3.1. Generalidades:

El uso de los índices ha sido muy difundido en varios ramos de la ciencia como la economía, administración de empresas y los distintos

⁵⁹ Remer, D. S. & Chai, L. W. 1990. Estimate Costs of Scaled-Up Process Plants. Chemical Engineering. 138

aspectos de la ingeniería. Los índices son una medida estadística de gran importancia que muestran los cambios de una o más variables con respecto al tiempo principalmente, sobre todo los índices de precios y los índices de costos adquieren una gran proyección y aplicabilidad en diferentes países de Europa, Estados Unidos y Japón, destacando entre otros los índices de Marshall & Swift, Engineering News Record, Chemical Engineering, Nelson Refinery, Bureau of Labor Statistics, McGraw Hill, con una amplia gama de aplicaciones especializadas como son: construcción de edificios, de plantas y equipos, materiales de construcción, salarios, equipos de construcción, bienes y servicios, mantenimiento de plantas y muchos otros de gran importancia que dan origen a publicaciones especializadas también, tales como: Employment and Earnings, Wholesale Prices & Price Indexes, Consumer Price Index y otras, mismas que permiten tener una buena orientación para la estimación de costos según las necesidades que se tengan en cada ramo específico.

En México, sin embargo, "se tiene aún poco interés para la aplicación de los índices, lo cual es originado por la falta de índices apropiados para las ramas específicas de la economía, por la escasez general de datos estadísticos que no ofrecen una aceptable confiabilidad y por la baja divulgación de los índices que actualmente se producen en la nación"⁶⁰, esto obliga a que en este tipo de trabajos se requiera utilizar índices

⁶⁰ de Legarreta S., F. J. & Tallab O., J. S. 1979. Utilización de Índices de Precios en Ingeniería Química. México: UNAM (tesis profesional), p. 1

extranjeros cuya aplicación en nuestro país, para ser exacta, requiere de ciertas adaptaciones.

3.3.2. Teoría de los números índice:

Los números índice se definen como una medida estadística que se emplea para mostrar los cambios de una variable o de un grupo de éstas, con respecto al tiempo, monedas, impuestos, profesiones, áreas de negocios, situación geográfica, etc.

Sirven para comparar el costo de los alimentos o el costo de la vida en un lugar determinado durante un período de tiempo con respecto a otro anterior, o de una ciudad con respecto a otra, la producción de algún material comparativamente en tiempo o en situación geográfica, etc.

Su principal aplicación se encuentra en el ramo de la economía y de los negocios. Así tenemos que hay índices de salarios, índices de producción, índices de inflación, índices de desempleo, índices de profesiones, etc., los más utilizados son tal vez el "Índice de Costo de la Vida" o "Índices de Precios de Consumo".

- Precios relativos y sus propiedades:

Precio relativo es la relación del precio de un bien en un período determinado a su precio en otro período que sirve de base o de referencia

$$P_{0/n} = \frac{P_n}{P_0}$$

Donde P_0 es el precio en el período base, P_n corresponde al período considerado y $P_{0/n}$ es el precio relativo. Generalmente se expresa como porcentaje multiplicando el resultado por 100.

Los precios relativos tienen las propiedades de identidad, tiempo recíproco, cíclica o circular y cíclica o circular modificada.

3.3.3. Índice Marshall & Swift:

Este índice estudia los costos de equipos industriales, su base es 100 en 1926, está integrado por un promedio de todo que resulta de un promedio aritmético de 47 grupos de procesos industriales.

Los índices están basados sobre equipos detallados para industrias de Industrias de proceso y son⁶¹:

- Maquinaria y equipo mayor

⁶¹ de Legarreta S., F. J. & Tallab O., J. S. 1979. Utilización de Índices de Precios en Ingeniería Química. México: UNAM (tesis profesional), p. 24

- Trabajo de instalación
- Mobiliario de planta y aparatos y accesorios eléctricos
- Herramientas y equipo menor
- Mobiliario de oficina

Excluyéndose las empresas comerciales de este estudio.

A cada categoría se le calcula su rango de porcentaje por los costos correspondientes al costo total de plantas investigado:

• Maquinaria de proceso	25%
• Depósitos	24%
• Tubería y conexiones	12%
• Trabajo de instalación	19%
• Energía	12%
• Mantenimiento	2%
• Administrativo	6%

Utiliza además un "Factor Ajustable" para incrementar o decrementar un índice, según las condiciones económicas y un "factor intangible o de premio" que depende de desarreglos sociales (huelgas, ineficiencia, carestía, guerra, etc.), y que es muy variable según las circunstancias de cada lugar.

3.3.4. Uso de índices:

Ningún índice puede ser más que un cálculo general (estimación). Debe enfatizarse que los índices se aplican a ciertas industrias consideradas como un todo, y no a plantas que procesen uno o más procesos específicos, así, un índice para química alcanza desde cosméticos y medicinas, hasta la cimbra de un edificio y el material para aislamiento. Después debe reconocerse que las comparaciones del pasado con el presente son siempre basadas en premisas indefinidas. Solamente es necesario considerar que el cambio tecnológico que ha tenido lugar en los últimos 50 años, como la industria petrolera, la computación, etc., y considerar que lo mejor que podemos esperar hacer es el comparar las plantas de hoy en día con la que esperamos sea un facsímil razonable del pasado.

CAPITULO 4
CONSTRUCCION DE LA CURVA DE
INVERSION - CAPACIDAD

4.1 Metodología:

Para llegar a determinar la ecuación que relacione las variables, un primer paso que nos sirve de ayuda es la colección de datos que muestren los correspondientes valores de las variables consideradas.

Por ejemplo, supóngase que X e Y denotan la altura y peso, respectivamente, de hombres adultos. Entonces una muestra de N individuos daría las alturas X_1, X_2, \dots, X_N y los pesos correspondientes Y_1, Y_2, \dots, Y_N .

El paso siguiente es representar los puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ en un sistema de coordenadas rectangulares. "El sistema de puntos resultantes se llama a veces diagrama de dispersión"⁶².

Con el diagrama de dispersión es posible frecuentemente representar una curva que se aproxime a los datos. Tal curva se llama curva de aproximación.

A veces, basándose en los datos muestrales, se desea estimar el valor de una variable Y correspondiente a un valor dado de una variable X .

⁶² Spiegel, Murray R. 1961. Teoría y problemas de Estadística. México: Mc Graw-Hill, p. 217

Esto puede conseguirse estimando el valor de Y de la curva de mínimos cuadrados que ajusta los datos muestrales. La curva resultante se llama curva de regresión de Y sobre X , puesto que Y se estima a partir de X .

La correlación, o el grado de relación entre las variables, sirve para determinar en que medida una ecuación lineal o de otro tipo describe o explica de una forma adecuada la relación entre variables. Si todos los valores de las variables satisfacen exactamente una ecuación, se dice que las variables están correlacionadas perfectamente o que hay una correlación perfecta entre ellas. Cuando no se corresponden los diferentes puntos, por ejemplo los tiros de un dado, se dice que no están correlacionados. Normalmente lo que se encuentra es que existe cierta correlación entre las variables, por ejemplo altura y peso.

El coeficiente de correlación (r) está dado por:

$$r = \sqrt{\frac{(Y_{est.} - \bar{Y})^2}{(Y - \bar{Y})^2}}^{63}$$

La curva de inversión - capacidad puede ser representada por una ecuación de la forma:

$$P = \alpha Q^x$$

⁶³ Ibid., p. 243

donde P es el precio - costo - inversión, Q es la capacidad, α es un factor de ajuste y x es el exponente que indica la relación de escala.

Para hacer un ajuste de esta curva, primeramente la linearizamos mediante logaritmos:

$$\log P = x \log Q + \log \alpha$$

lo que claramente es una ecuación de la forma $y = mx + b$. Posteriormente, ya linearizada, se ajusta mediante el método de mínimos cuadrados. De esta forma obtenemos los valores de x y de $\log \alpha$.

4.2 Información considerada:

La información manejada en este trabajo fue obtenida de RICHARDSON ENGINEERING SERVICES, INC.⁶⁴ en su edición de 1995, los evaporadores son del tipo LBEU, fabricados por Brown Fintube Company conforme a los estándares de Tubular Exchange Manufacturing Assoc. (TEMA). Los costos son válidos en los 48 estados contiguos de la Unión Americana.

⁶⁴ Richardson Engineering Services, Inc. 1995. Industrial Equipment Costs Data. USA: Richardson Engineering Services; Inc., p. Brown Fintube Company 1-11

La nomenclatura utilizada por Brown Fintube Company para el caso de los equipos LBEU es la siguiente: LBEU0812

- L Equipo tipo en línea
- B Cubierta integral diseñada conforme a los estándares de TEMA
- E Un paso por la coraza conforme a estándares TEMA
- U Tubos - U de conexión conforme a estándares TEMA
- 08 Diámetro nominal de la coraza en pulgadas
- 12 Longitud nominal en pies

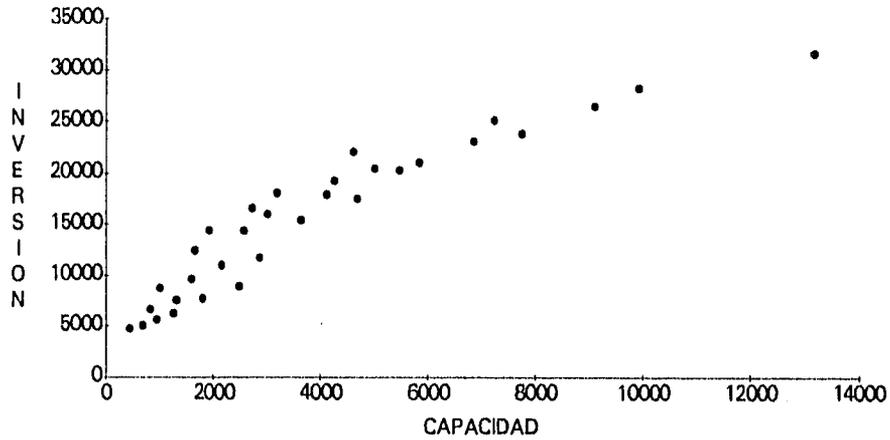
A continuación se encuentra el listado de tipo de equipo, capacidad y costo. Las capacidades se encuentran dadas en Galones por hora, la viscosidad máxima es de 3000 SSU (Saybolt Seconds Universal, viscosidad cinemática) @ 122 °F. La caída de presión máxima en el evaporador es de 5 psi. Los costos están basados en una presión de diseño de 150 psig y construidos conforme a TEMA "C". El rango de calentamiento es de 80 °F a 240 °F. Los precios estimados del equipo están dados en USDIIs.

Tabla de costos y capacidades de equipo LBEU⁶⁵

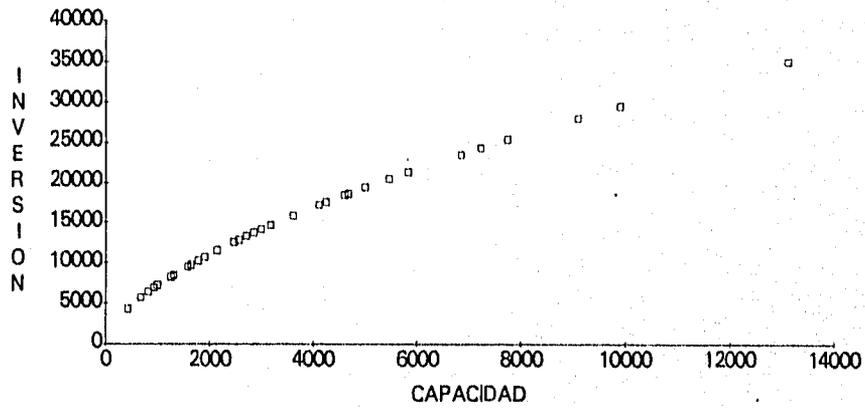
TIPO	CAPACIDAD	PRECIO ESTIMADO
LBEU0807	436	US\$ 4,860
LBEU0811	685	5,150
LBEU0815	937	5,740
LBEU0820	1248	6,330
LBEU1007	830	6,770
LBEU1011	1300	7,655
LBEU1015	1780	7,800
LBEU1020	2470	8,980
LBEU1207	1000	8,835
LBEU1211	1570	9,715
LBEU1215	2150	11,040
LBEU1220	2850	11,780
LBEU1607	1630	12,515
LBEU1611	2560	14,430
LBEU1615	3610	15,460
LBEU1620	4670	17,520
LBEU1807	1910	14,430
LBEU1811	3000	16,050
LBEU1815	4110	17,960
LBEU1820	5460	20,315
LBEU2007	2710	16,635
LBEU2011	4250	19,290
LBEU2015	5820	21,055
LBEU2020	7740	23,850
LBEU2207	3180	18,105
LBEU2211	5000	20,465
LBEU2215	6830	23,115
LBEU2220	9080	26,500
LBEU2407	4600	22,085
LBEU2411	7220	25,175
LBEU2415	9900	28,270
LBEU2420	13150	31,655

⁶⁵ Richardson Engineering Services, Inc. 1995. Industrial Equipment Costs Data.
USA: Richardson Engineering Services, Inc., p. Brown Fintube Company 9

CURVA INVERSIÓN CAPACIDAD
INVERSIÓN EN USDlls CAPACIDAD EN GPH

GRAFICA 4.2.1⁶⁶

CURVA AJUSTADA DE INVERSIÓN-CAPACIDAD
INVERSIÓN EN USDlls CAPACIDAD EN GPH

GRAFICA 4.2.2⁶⁷

⁶⁶ Diagrama de dispersión conforme a la metodología vista en la sección 4.1

⁶⁷ Curva de aproximación por mínimos cuadrados

GRAFICA 4.2.3⁶⁸

4.3 Tratamiento de la Información:

Para encontrar el valor del exponente de la curva de inversión - capacidad, así como el factor de corrección a se realizaron dos gráficas de forma diferente, la primera, cuyo resultado podemos ver en el subcapítulo anterior es la gráfica de los precios del equipo a su correspondiente capacidad. El segundo caso, cuyo resultado veremos en el siguiente subcapítulo es una relación de precios a un precio fijo, en función de las relaciones de capacidades correspondientes.

Dado que los precios obtenidos son de un período bastante reciente, se ha preferido no involucrar aquí una corrección por índices de precios, de

⁶⁸ Promedio de pendientes por secciones en el diagrama de dispersión.

cualquier forma, este índice sería el mismo para cada uno de los precios de las diferentes capacidades, lo que no afecta el resultado final del exponente.

El equipo de referencia elegido para hacer la relación de precios y capacidades es el LBEU1215, el cual tiene una capacidad de 2150 Galones por hora y un precio dado por el fabricante de \$11,040.- US Dlls. Se eligió este equipo como referencia dado que con ello se aproxima más a 1 el valor de α .

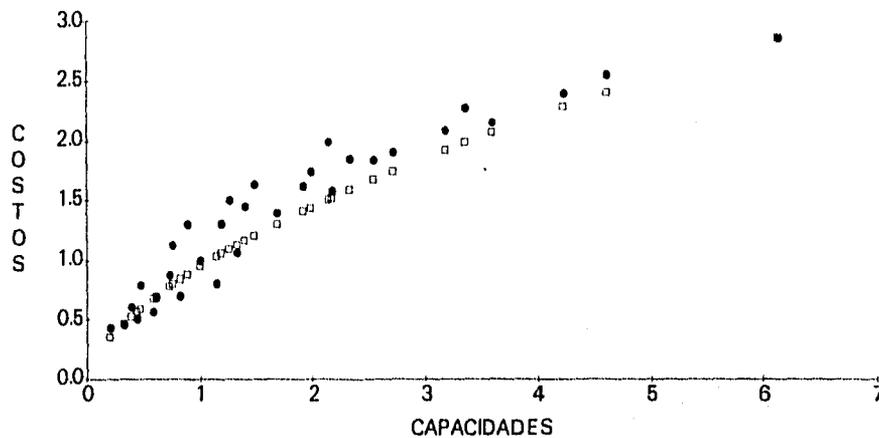
4.4 Datos estadísticos de la curva:

Al graficar los puntos obtenidos de los datos dados por el fabricante con el tratamiento dado en el subcapítulo anterior y hacer la correspondiente regresión lineal para encontrar el valor del exponente en la ecuación:

$$\log\left(\frac{C_1}{C_2}\right) = x \log\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)$$

tenemos los siguientes resultados.

CURVA INVERSIÓN-CAPACIDAD
EVAPORADORES LBEU



GRAFICA 4.4.1⁶⁹

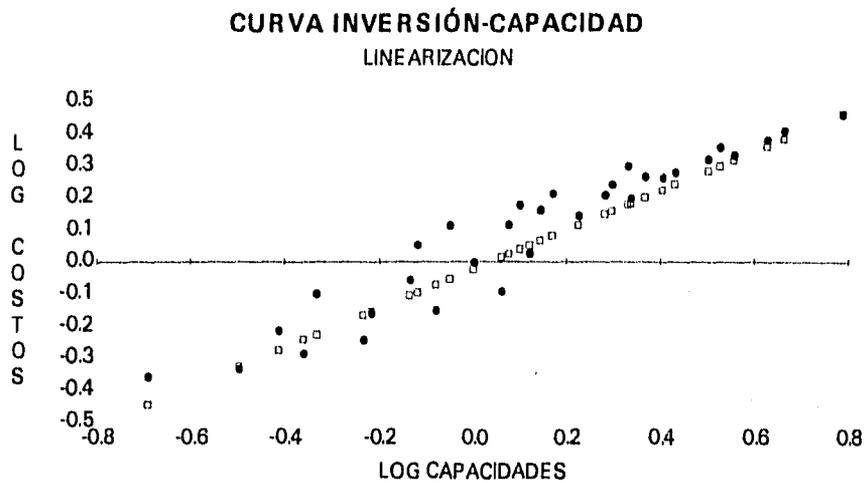
Mediante la regresión lineal se obtuvo un valor para el exponente de 0.610 y un valor de a de 0.95, el índice de correlación es de 0.957303, lo que representa una alta correlación entre las variables. La covariancia es de 0.081.

La desviación estándar es:

$$S_x = 0.364$$

$$S_y = 0.232$$

⁶⁹ Diagrama de dispersión (●) y curva de aproximación (□) conforme a la relación de costos y capacidades.



Como se puede observar en la gráfica, el método del exponente se aproxima bastante a los datos dados por el fabricante, teniendo un error promedio de 13.9% y un error máximo de 32.4%, lo que coincide con el error teórico de este método de estimación de costos de $\pm 30\%$ ⁷¹.

⁷⁰ Diagrama de dispersión (e) y curva de aproximación (o) linealizados.

⁷¹ Jelen, F. C. 1970. Cost and Optimization Engineering.
New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc., p. 323

4.5 Análisis de la curva de inversión - capacidad:

Por los resultados obtenidos se observa que existe una clara relación entre la capacidad del equipo de evaporación de la línea LBEU con el precio de este equipo, la que se puede describir conforme a la siguiente ecuación:

$$\frac{P}{11040} = 0.95 \left(\frac{Q}{2150} \right)^{0.61}$$

donde los números 11040 y 2150 representan el precio y la capacidad, respectivamente, a la que se hace la relación. P es el precio que deseamos conocer a la capacidad Q, 0.95 es un factor de ajuste de la curva y 0.61 es el exponente que indica la relación de escalas existente.

Esto nos lleva a considerar la conveniencia de instalar un equipo, por ejemplo de 9000 GPH, en lugar de dos equipos de 4500 GPH. La capacidad instalada es la misma en ambos casos, sin embargo el costo difiere, ya que en el primer caso este sería de:

$$P = 0.95 \left(\frac{10000}{2150} \right)^{0.61} (11040) = 26785.84$$

mientras que en el segundo caso la ecuación indicaría que:

$$P = 2 \left[0.95 \left(\frac{5000}{2150} \right)^{0.61} (11040) \right] = 35100$$

Como se observa existe una considerable diferencia en el costo para instalar una misma capacidad con uno o con dos equipos. Lo que nos permite ver claramente las ventajas que proporciona el aprovechamiento de las escalas en la industria química. Ahora bien, esto es lo que indica la ecuación, en la realidad el fabricante produce equipos de 5000 GPH y de 9900 GPH con un costo cada uno de ellos de \$20,465.- y \$28,270.- respectivamente. El error en que se incurre es, por un lado en 1% de la capacidad ya que no existe un equipo que maneje 10,000 GPH, y por otro lado un error en la estimación del costo, que en el primer caso es de 5.25% y en el segundo del 14.24%, en ambos casos por debajo del costo real.

Este error es bastante aceptable para una estimación previa de costos, en la que el error global de la estimación cae al rededor del $\pm 30\%$, sobre todo teniendo en cuenta que esta técnica se aplicará cuando no estén disponibles los costos proporcionados por el fabricante.

**CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES**

1) Importancia de la evaporación:

Como se vio la evaporación es un proceso fundamental en la industria química. El ingeniero químico requiere de utilizar todos sus conocimientos y experiencia, así como su intuición, para diseñar un sistema de evaporación adecuado para un proceso particular, considerando todos los aspectos que involucra, discerniendo el tipo de evaporador que se requerirá, si se opera a simple o múltiple efecto y las consideraciones económicas pertinentes para la empresa. En este último renglón el presente trabajo puede ser un instrumento útil para el ingeniero de diseño.

2) Relación con las economías de escala:

Los equipos de evaporación tienen un comportamiento en su relación de costo-capacidad conforme a las economías de escala, lo que permite asegurar que conforme aumente el tamaño del equipo, el costo por unidad de producción disminuirá. Por ello resulta más económico, instalar un equipo de 10,000 GPH que dos equipos de 5,000 GPH, dicho de otra forma, el doble de capacidad no significa el doble de inversión.

Esto es importante dado que la industria química de hoy enfrenta serios retos ante la globalización y la apertura de los mercados y, en consecuencia, ante la competencia internacional. Las economías de escala

son un factor importante que permitirá, junto con la capacitación y la optimización de procesos, ofrecer productos competitivos a nivel mundial.

3) Relación con la definición de proyectos:

Haber establecido este factor de escala para equipos de evaporación, es una ayuda para determinar los recursos requeridos en la definición de un proyecto particular de evaporación. Con ello se pueden evitar sobregiros debidos a una mala definición de costos.

Al utilizar este instrumento es importante tener presentes los cambios que se pueden suscitar debido a la inflación o a situaciones geográficas específicas, en estos casos se requerirá la utilización de índices que permitan adecuar los costos para la realidad en que se desean aplicar.

4) Utilidad de la curva Inversión-capacidad:

Esta curva es una herramienta sumamente útil en la realización de estimados de magnitud, los cuales tienen una precisión de $\pm 30\%$, dato que se verificó en la realización de este trabajo.

Los estimados de orden de magnitud permiten tomar decisiones en una etapa temprana del proyecto sobre cuál será el diseño más adecuado, o bien, si se tienen los recursos suficientes para la realización del mismo. También permite corroborar información obtenida posteriormente en la elaboración del proyecto, confrontando la información con los datos previstos.

5) Utilidad de los índices de costos.

El utilizar los índices de costos para actualizar los valores obtenidos con la ecuación inversión-capacidad es un paso imprescindible para adecuar dichos valores y contar con una mayor precisión, la cual aumentará conforme los datos sean más recientes. Es importante recordar que datos cuya antigüedad superan los diez años no son susceptibles para el cálculo.

6) Validez de la Metodología:

La metodología utilizada fue una regresión lineal que nos dio un índice de correlación de 0.957 con desviación estándar en x de 0.364 y en y de 0.232, la covariancia fue de 0.081. Lo que permite afirmar que la curva obtenida es lo suficientemente confiable para ser aplicada en métodos de estimación rápida.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

7) Fidelidad de la información considerada:

Los datos fueron obtenidos de una empresa de consultoría de fama internacional la cual a su vez obtiene los datos directamente del fabricante. La publicación fue realizada en 1995, lo que hace difícil obtener información más reciente. Por lo anterior se considera que la información es lo suficientemente confiable para un trabajo serio.

8) Importancia del tratamiento de la información:

Es imprescindible dar un tratamiento adecuado a la información, en especial al elegir el equipo cuya capacidad y costo serán utilizados como referencia, ya que esto permite una mayor o menor correlación de los datos.

9) Recomendaciones:

Este trabajo sirvió para determinar la ecuación conocida comúnmente como la ecuación del factor de los seis décimos, resultando que existe una ligera diferencia en el valor del exponente y que se requiere ajustar con un factor a para tener una mayor precisión. Esta tesis disminuye ese factor de error que, utilizando la ecuación de los seis decimos tendría unos errores de acuerdo a la tabla 5.1. Por lo que se recomienda el uso de esta ecuación

para estimar los valores de un equipo a las capacidades deseadas cuando no sea factible acceder a la información del fabricante.

Como se observa en la tabla existe un error asociado al uso de la ecuación tradicional que hace crecer el error final del estimado de magnitud.

Tabla 5.1 Comparación de las ecuaciones

CAPACIDAD EN GPH	PRECIO FACTOR 0.6	PRECIO SEGUN TESIS	ERROR %
1000	\$ 6,974.39	\$ 6,575.14	6.07
2000	10,571.19	10,035.37	5.34
3000	13,482.76	12,851.36	4.91
4000	16,022.93	15,316.58	4.61
5000	18,318.42	17,549.99	4.38
6000	20,436.04	19,614.51	4.19
7000	22,416.35	21,548.40	4.03
8000	24,286.22	23,377.07	3.89
9000	26,064.62	25,118.47	3.77
10000	27,765.53	26,785.84	3.53

Por lo anterior se considera que el trabajo realizado en la presente tesis puede ser un instrumento de mayor confianza para estimar costos de equipos de evaporación.

BIBLIOGRAFIA

- Asali de la Mora, Manuel E. 1992 . Análisis de la curva de Inversión-Capacidad para el poliestireno. México: UNAM (Tesis Profesional) Facultad de Química.
- Badger, Walter L. & Banchemo, Julius T. 1955. Introduction to Chemical Engineering. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1a Edición
- Blank, Leland T. & Tarquin, Anthony J. 1992. Ingeniería Económica. México: Mc Graw-Hill Interamericana de México, 3a Edición.
- Chilton, C. H. 1950. Six-Tenth Factor' Applies to Complete Plant Costs. Chemical Engineering, pp. 112-114
- de Legarreta S., F. J. & Tallabs O., J. S. 1979. Utilización de Índices de Precios en Ingeniería Química. México: UNAM (Tesis profesional) Facultad de Química.
- Ferguson, C. E. & Gould, J. P. 1984. Teoría Microeconómica. México: Fondo de Cultura Económica. 2a Edición
- Ferguson, C. E. & Saving, T. R. .1969. Long-run scale adjustment of perfectly competitive firm & industry. American Economic Review. 59, pp. 774-783.
- Foust, Alan S. 1983. Principios de Operaciones Unitarias. México: CECSA. 1a. Edición.
- Intriligator, Michael D. 1973. Optimización Matemática y Teoría Económica. España: Prentice/Hall Internacional. 1a Edición
- Jelen, F. C. 1970. Cost and Optimization Engineering. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1a Edición

- Kern, Donald Q. 1950. Process Heat Transfer. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1a. Edición
- McCabe, Warren L & Smith, Julian C. 1956. Unit Operations of Chemical Engineering. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1a. Edición
- Perry, John H. 1950. Chemical Engineers' Handbook. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 3a Edición
- Pratten, C. F. 1975. Economies of Scale in Manufacturing Industry. London: Cambridge University Press. 1a Edición
- Remer, D. S. & Chai, L. W. April 1990. Estimate Costs of Scaled-Up Process Plants . Chemical Engineering. pp. 138-175
- Richardson Engineering Services, Inc. 1995. Industrial Equipment Costs Data. USA: Richardson Engineering Services, Inc.
- Spiegel, Murray R. 1961. Teoría y problemas de estadística. México: Mc Graw-Hill, 1a Edición
- Thuesen, H. G., Fabricky, W. J., Thuesen, G. J. 1986. Ingeniería Económica. México: Prentice/Hall Hispanoamericana S. C., 1a Edición
- Williams, R. December 1947. Six-Tenths Factor' Aids in Approximating Costs. Chemical Engineering. pp. 124-125