



8  
201  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ZARAGOZA"**

**DESARROLLO DE UN PAQUETE DE COMPUTO  
PARA ESTIMAR EL COSTO DEL EQUIPO  
PRINCIPAL DE PLANTAS DE PROCESO**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
RAYMUNDO NAVARRETE SANDOVAL

MEXICO, D. F.

1990

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## INDICE

RESUMEN	1
OBJETIVOS	2
INTRODUCCION	3
CAPITULO 1	
GENERALIDADES	6
CAPITULO 2	
EQUIPOS QUE INVOLUCRAN TRANSFERENCIA DE ENERGIA	12
2.1 Intercambiadores de calor	13
2.1.1 Intercambiadores de tubos y coraza	15
2.1.2 Intercambiadores de doble tubo	26
2.2 Torres de enfriamiento	31
2.3 Quemadores de campo	36
2.4 Calentadores a fuego directo	39
2.5 Soloaires	45
CAPITULO 3	
EQUIPOS QUE INVOLUCRAN MANEJO DE FLUIDOS	
3.1 Compresores	53
3.1.1 Compresores centrífugos	54
3.1.2 Compresores reciprocantes	56
3.2 Bombas	56
3.2.1 Bombas centrífugas	58
3.2.2 Bombas reciprocantes	64
3.3 Eyectores de vapor	69
3.4 Motores eléctricos	73
CAPITULO 4	
RECIPIENTES	77
4.1 Recipientes a presión	78
4.2 Tanques de almacenamiento	89
4.3 Internos de recipientes (platos)	94
4.4 Columnas de absorción	98
CAPITULO 5	
EQUIPOS QUE INVOLUCRAN MANEJO DE SOLIDOS	101
5.1 Cristalizadores	102
5.2 Molinos	106
5.3 Transportadores	110
5.4 Tamices	116

**CAPITULO 6****EQUIPOS QUE INVOLUCRAN SEPARACION DE MATERIALES 118****6.1 Ciclones 119****6.2 Filtros 125****6.3 Secadores 132****CAPITULO 7****DESARROLLO DEL PROGRAMA 138****7.1 Descripción del programa 139****7.2 Manual de operación 143****RESULTADOS 181****ANALISIS DE RESULTADOS 190****CONCLUSIONES 194****APENDICES 196****BIBLIOGRAFIA 200**

**CAPITULO 6**

**EQUIPOS QUE INVOLUCRAN SEPARACION DE MATERIALES 118**

**6.1 Ciclones 119**

**6.2 Filtros 125**

**6.3 Secadores 132**

**CAPITULO 7**

**DESARROLLO DEL PROGRAMA 138**

**7.1 Descripción del programa 139**

**7.2 Manual de operación 143**

**RESULTADOS 181**

**ANALISIS DE RESULTADOS 190**

**CONCLUSIONES 194**

**APENDICES 196**

**BIBLIOGRAFIA 200**

## RESUMEN

Este trabajo presenta los métodos de estimación de costos de los equipos: bombas, internos de recipientes (platos), filtros, motores eléctricos, molinos, quemadores de campo, ciclones, tamices, secadores, recipientes a presión, soloaires, columnas de absorción, eyectores de vapor, torres de enfriamiento, compresores, tanques de almacenamiento, cristalizadores, intercambiadores de calor, transportadores y calentadores a fuego directo.

Todos los métodos encontrados para cada uno de los equipos antes mencionados, a partir de una investigación bibliográfica, son analizados y resumidos en una tabla comparativa donde se indica: número de parámetros que emplea cada método, año base, materiales de construcción empleados, ventajas y desventajas que presentan unos con respecto a otros.

Una vez analizados y resumidos los métodos de cálculo se selecciona un método por equipo del cual se describe el algoritmo de cálculo.

Los métodos seleccionados son codificados en lenguaje FORTRAN-77, en subrutinas, para posteriormente ser integrados a un programa principal y constituir así el paquete de computo para estimar el costo del equipo principal de plantas de proceso.

## OBJETIVOS

- 1.- Analizar los principales métodos de estimación de costo de equipo de proceso.
- 2.- Seleccionar los métodos de estimación de costo de equipo de proceso.
- 3.- Implementar un programa de computo para estimar el costo de equipo de plantas de proceso.

## INTRODUCCION

Hablar del costo del equipo de proceso de una planta, es hablar de la importancia que tiene éste en el estimado de la inversión fija, la mayoría de los métodos para estimar la inversión fija se basan en el costo del equipo de proceso, por ello es conveniente contar con una fuente de información que facilite los cálculos de los costos del equipo de proceso una vez que éste ha sido definido.

Debido a la importancia que tiene la estimación del costo de equipo de proceso, una firma de ingeniería debe contar con fuentes de información para apoyar al ingeniero en costos al estimar el monto de la inversión fija de plantas de proceso, las fuentes de información más comunes son: Cotizaciones recientes de proveedores de equipo, datos del departamento de compras de la propia compañía, literatura especializada, paquetes de computo etc..

Un paquete de computo es una herramienta sistemática con la que es conveniente contar para facilitar la estimación del costo de equipo de proceso, que en ocasiones resulta ser un tanto laborioso debido al número de equipos que haya que calcular para una planta o proceso. El tiempo empleado al realizar la estimación de costos de equipo es menor si se cuenta con un paquete de computo que facilite los cálculos y de este modo disminuir las horas hombre empleadas, al realizar ésta actividad, las cuales se reflejan en el tiempo de terminación de un proyecto, por consiguiente se desarrolla un paquete de computo para determinar el costo de equipo principal de plantas de



Para desarrollar el programa se realizó una investigación bibliográfica, para reunir el mayor número posible de métodos de estimación de costos de equipo de proceso. Los diferentes métodos seleccionados, para cada equipo, se analizaron para posteriormente determinar un método de estimación, esta selección se realizó en función del número de parámetros que emplea, año base y materiales de construcción.

El método seleccionado para cada equipo es desglosado detalladamente indicando el algoritmo de cálculo. Los métodos seleccionados son codificados en FORTRAN-77, lenguaje en el cual se desarrolló el paquete de cómputo.

El capítulo primero, Generalidades, presenta una visión general del papel que juega el costo del equipo de proceso en un estudio de costo.

En el capítulo segundo se resumen los métodos de estimación de costos de los equipos que involucran transferencia de calor: intercambiadores de calor, torres de enfriamiento, calentadores de campo, calentadores a fuego directo y soloaires, en los cuales se describe el algoritmo de cálculo.

En el capítulo tercero se resumen los métodos de estimación de costos y el algoritmo de cálculo del método seleccionado para los equipos que involucran manejo de fluidos los cuales son: bombas, compresores, eyectores y motores eléctricos.

En el capítulo cuatro se describen los métodos de estimación de costos de: recipientes a presión, tanques de almacenamiento, platos de recipientes (platos) y columnas de absorción.

El quinto capítulo contiene los métodos de estimación de

costos de: cristalizadores, molinos, transportadores y tamices vibratorios.

En el capítulo seis se describen los métodos de estimación de costos de: ciclones, filtros y secadores.

Finalmente el capítulo siete presenta una descripción general del paquete de computo y el como está constituido, conjuntamente con el manual de operación en el cual se indica: que calcula cada subrutina, las variables empleadas y las unidades en las cuales deben ser alimentadas éstas así como el rango de validez.

## I. GENERALIDADES.

Para comprender mejor la importancia de la estimación del costo de equipo mayor de proceso, es necesario ubicar ésta actividad dentro de las fases del desarrollo de un proyecto.

Un proyecto se define como la concepción de planeación que se establece para llevar a cabo las actividades que permitan realizar la producción de un bien o servicio como consecuencia del surgimiento de una necesidad.

Un proyecto de tipo industrial se divide a grandes rasgos en las siguientes fases:

Inicio.

Concepción.

Definición.

Desarrollo.

Implementación.

Operación.

Terminación.

El inicio solo es el surgimiento de la necesidad de un bien o servicio.

En la segunda fase, concepción, se realizan trabajos preliminares como: solicitud de cotización, solicitud a empresas de algo que se requiera, propuestas de firma de ingeniería para elegir que empresa va a realizar el trabajo, se establecen los objetivos en cuanto a tiempo, costo y funcionabilidad, resuelven dudas en como implementar el trabajo y con que herramientas tecnológicas, es también en ésta fase donde se ve la

factibilidad de realizar el proyecto por medio de:

Análisis de mercado.

Evaluación del proceso (D.F.P.)

Selección de la localización de la planta

Estudios de factibilidad económica que incluyen:

-estimado del costo de capital.

-inversión requerida.

-retorno de la inversión.

Análisis de beneficio social.

Para hacer un estimado de la inversión fija en un estudio de factibilidad se deben tomar en cuenta los costos de producción que involucra tanto fijos como variables. Dentro de los costos fijos, aquellos que son independientes del factor de producción de la planta, se tienen: terreno, edificios, equipo de proceso, tubería, instrumentación, ingeniería básica y de detalle, supervisión, etc.

La mayor parte de los métodos para estimar la inversión fija se basan en el costo del equipo de proceso y evalúan los demás elementos como un porcentaje de éste. Es por ello que desde el momento en que se tiene la concepción del proceso y de los equipos que involucrará se puede realizar un estimado de la inversión necesaria, si se conoce el costo de equipos similares.

Una firma de ingeniería cuenta con un departamento de estimación de costos, el cual realiza evaluaciones económicas, estimados y control de costos durante sus diferentes fases, por ejemplo: la evaluación, planeación y estimados para ingeniería de detalle, construcción y arranque.

La estimación del costo de equipo es necesario no solo para conocer el valor aproximado de un determinado equipo o de algunos equipos en particular, sino que es un trabajo en donde la función del ingeniero en costos es estimar el monto de la inversión fija de plantas de proceso. El ingeniero en costos cuenta con varias fuentes de información para estimar el costo del equipo, una vez que éste ha sido definido, estas fuentes de información son:

Cotizaciones recientes de proveedores de equipo.

Datos del departamento de compras de la propia compañía.

Literatura especializada.

Programas o paquetes de computo para la estimación de costos de equipo de proceso.

La fuente más recomendable es una cotización reciente del proveedor de equipo, generalmente ésta tiene un costo. Cuando el ingeniero en costos no puede obtener una cotización con proveedores puede recurrir a los datos del departamento de compras de previas adquisiciones de la propia compañía, no siempre se cuenta con antecedentes de compra de equipo similar.

La literatura es otra fuente de información donde los datos son correlacionados y presentados en forma concisa, sin embargo tales datos pueden no ser actuales.

Otra opción que se tiene es la creación de programas para la estimación de costos de equipo de proceso, con el empleo de computadoras, mediante los cuales el ingeniero en costos automatiza sus actividades aún cuando se tiene la desventaja de que la actualización de programas tiene que ser frecuente para

que los resultados que se obtengan sean confiables.

La actualización de los costos se realiza con índices, como se indica en la siguiente ecuación.

$$\text{Costo estimado} = \text{Costo base}(I_1/I_0)$$

donde

$I_1$ : índice del año al cual se requiere actualizar el costo.

$I_0$ : índice del año al cual se estima el costo original.

Existen diversos tipos de índices que aplican según el tipo de planta a la cual pertenezca el equipo mayor o tipo de proceso, como ejemplo de estos índices tenemos el índice CE, que se publican en la revista Chemical Engineering, mensualmente, ó el índice de Marshall and Swift, que son reportados trimestralmente.

Cuando se requiere un estimado del costo de un equipo que difiere de otro solo en el tamaño y al cual se le conoce el precio base es posible aplicar el factor de las seis décimas dado a continuación.

$$C_b = C_a (B/A)^n$$

donde

A: Tamaño de la unidad para la cual el costo es conocido, expresado en función de la característica principal del equipo.

B: Tamaño de la unidad para la cual se requiere el costo.

$n = 0.6$  (exponente de las seis décimas).

$C_a$ : Costo de la unidad A.

$C_b$ : Costo del equipo de interés.

Sin embargo las curvas reales de costos muestran que el exponente no siempre es de 0.6, y que este varía desde 0.3 hasta 0.9, dependiendo de la capacidad y tipo de unidad.

Hasta el momento solo se ha mencionado la manera de estimar el costo actual de un equipo, sin embargo frecuentemente no basta con saber el precio actual, sino también es necesario tener una idea de cuanto puede costar en un futuro cercano, como puede ser el tiempo de entrega. Es por ello que se debe considerar la escalación de precios, tomando en cuenta condiciones de pago y tiempos de entrega.

Este ajuste de precios puede ser un acuerdo entre proveedores y comprador. El acuerdo consiste en ajustar el costo en base a los aumentos que puedan tener: la mano de obra, materiales de construcción, devaluación o aumento de la moneda, de acuerdo al tipo de moneda en la cual se realicen los pagos. Es difícil saber que puede suceder a los precios durante los próximos años o tiempos de entrega, por esta razón las condiciones para ajustes de precios en órdenes de compra son apropiados. El ajuste puede realizarse en base a fórmulas de escalación las cuales pueden ser dadas o establecidas por el proveedor o por común acuerdo entre cliente y proveedor, o por ecuaciones típicas de ajustes de precios como la que se establece a continuación.

$$(P.A) = ((F_L - B_L)/B_L)L + ((F_M - B_M)/B_M)M$$

donde

(P.A): % de costo ajustado.

$F_L$  : indice por mano de obra para período final.

$F_M$  : indice por material para período final.

$B_L$  : indice por mano de obra para período base.

$B_M$  : indice por material para período base.

L : % de costos base por labor.

M : % de costo base por material.

período base: mes de ajuste, usualmente el mes de compra.

período final: fecha final para ajuste de costo usualmente el mes de embarque o fecha en que se expidió el equipo.



## II. EQUIPO QUE INVOLUCRA TRANSFERENCIA DE ENERGIA.

En este capítulo se analizan los métodos de estimación de costos de equipos en los que se lleva a cabo la transferencia de energía. Los equipos considerados son: intercambiadores de calor de tubos y coraza e intercambiadores de doble tubo, torres de enfriamiento, quemadores de campo, calentadores a fuego directo y soloaires. Para cada uno de los equipos antes mencionados se analizan diferentes métodos de estimación de costos y posteriormente se selecciona uno de éstos. Para llevar a cabo la selección, del método, se determinan las características que presenta cada uno de los métodos con respecto a los demás, por ejemplo: año base del costo, número de parámetros considerados, tipos de materiales de construcción, etc.. Una vez que se determina cual es el método que se empleara para determinar el costo, éste es descrito en forma detallada. Para el análisis se cuenta con: seis métodos para intercambiadores de calor, dos para torres de enfriamiento, uno para quemadores de campo, tres para calentadores a fuego directo y dos para soloaires.

## 2.1. Intercambiadores de calor.

De los métodos resumidos, tabla (2.1A), para determinar el costo de intercambiadores de calor, se cuenta con cuatro métodos para intercambiadores de tubos y coraza y dos para intercambiadores de doble tubo. Para intercambiadores de tubos y coraza se tienen los métodos: uno, dos, tres y cuatro de los cuales se selecciono el método número tres debido a las ventajas que presenta éste con respecto a los demás, estas ventajas son: maneja setenta y seis materiales de construcción, tabla (2.1E), para tubos y coraza. Este método emplea siete parámetros de diseño: diámetro, longitud, área, pitch, arreglo, calibre y tipo de intercambiador. El año base es 1982.

Para intercambiadores de doble tubo se cuenta con los métodos cinco y seis de los cuales se selecciono el método número seis dado a las ventajas que presenta, estas ventajas son: hace corrección por material para setenta y seis diferentes materiales de construcción mostrados en la tabla (2.1E), tres parámetros de diseño: diámetro, longitud y área, el año al cual está referido el costo base es (1982).

TABLA (2.1A)  
METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE INTERCAMBIADORES  
DE CALOR

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1976	(20)	-DIAMETRO -P Y T DE LOS TUBOS -TIPO DE INTERCAMBIADOR -LONGITUD - T DE LA CORAZA -AREA -NO. Y TIPO DE BAFLES -NO. DE PLACAS DE SOPORTE -NO. DE SILLETAS, BOQUILLAS Y CONECCIONES	-AC. A-214 -COBRE -AC. INOX.316 -AC. INOX.304	-EMPLEA 10 PARAMETROS DE DISEÑO	-EMPLEA 4 MATERIALES
2  AÑO BASE 1984	(14)	-AREA	-AC. INOX. 316	-ES UN METODO RAPIDO	-SOLO USA UN MATERIAL DE CONSTRUCCION
3  AÑO BASE 1982	(21)	-DIAMETRO -LONGITUD -AREA -PITCH -ARRREGLO -CALIBRE -TIPO DE INTERCAMBIADOR	-AC. INOX.316 -AC. INOX.304 -AC. INOX.317 -AC. INOX.310 -AC. INOX.321 -71 MATERIALES MAS	-EMPLEA 8 DATOS DE DISEÑO -EMPLEA DIVERSOS MATERIALES (76)	-----
4  AÑO BASE 1975	(13)	-LONGITUD -AREA -PRESION -TEMPERATURA -NO. DE PASOS -DIAMETRO	-AC. AL CARBON -AC. INOX. 304	-EMPLEA 6 PARAMETROS DE DISEÑO	-SOLO FUNCIONA PARA UN AREA, P Y UNA TEMPERATURA

CONTINUACION TABLA (2.1A)

METODO NO.	REF	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
5 AÑO BASE 1968	(36)	-LONGITUD -AREA -PRESION -TEMPERATURA -DIAMETRO -NO. DE PASOS -PITCH	-AC. AL CARBON -AC. INOX. 304 -AC. INOX. 316 -MOLIBDENO -TITANIO -MONEL -AC. TEMPLADO	-EMPLEA 8 PARAMETROS DE DISEÑO	-----
6 AÑO BASE 1982	(23)	-DIAMETRO -LONGITUD -AREA	-AC. AL CARBON -OTROS	-EMPLEA 76 MATERIALES	-EMPLEA 3 PARAMETROS DE DISEÑO

2.1.1. Intercambiadores de tubos y coraza

Este método estima el costo de intercambiadores con diseño de cabezal flotante (anillo dividido), tubos en U y espejos fijos. Para cada uno de éstos se consideran varias configuraciones de acuerdo a la clasificación del código TEMA. El costo base esta referido al año 1982.

El costo del equipo está en función de: diámetro de los tubos y coraza, construcción del tubo (soldado o sin costura), calibre de la pared, pitch, arreglo, longitud, material de construcción y presión de diseño. El método abarca diámetros de la coraza de 12 a 148 pulgadas, longitudes de tubo de 8 a 36 pies, espesores del tubo de 10 a 20 BWG, número de pasos por los tubos de 1 a 8, presiones de diseño en la coraza de 100 a 2500 PSIG y setenta y seis materiales de construcción para tubos y coraza.

La ecuación para determinar el costo base es:

$$B = (6.6 / (1 - \exp((7-D)/27))) (P) (F) (R) \quad (2.1)$$

donde los factores (F) y (R) son obtenidos de las tablas (2.1B) y (2.1C) respectivamente. En la tabla (2.1D) se listan valores del factor (P), para diámetros externos del tubo, pitch y tipo de arreglo más comunes. Para valores de (P) no dados en esta tabla se determinan por medio de la ecuación (2.2).

TABLA (2.1B)  
FACTOR DE CORRECCION POR CABEZAL DELANTERO (TEMA)

TEMA	TIPO	FACTOR (F)
----	TERMINAL NO FRONTAL (CASO ESPECIAL)	0.95
B	BONETE (CUBIERTA INTEGRAL)	1.00
A	CANAL Y CUBIERTA REMOVIBLE	1.02 - 1.03
N	CANAL INTEGRAL CON ESPEJO Y CUBIERTA REMOVIBLE (TUBOS FIJOS)	1.05
C	CANAL INTEGRAL CON ESPEJO Y CUBIERTA REMOVIBLE	1.06 - 1.07
D	CIERRE ESPECIAL PARA ALTAS PRESIONES	1.5 - 1.7

TABLA (2.1C)

FACTOR DE CORRECCION POR TIPO DE CABEZAL POSTERIOR (TEMA)

TEMA	TIPO	FACTOR (R)
S	CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO	1.0
M	ESPEJO FIJO SEMEJANTE A "B"	0.8
L	ESPEJO FIJO SEMEJANTE A "A"	0.83
U	HAZ DE TUBOS EN U	0.9
T	CABEZAL FLOTANTE SIN DISPOSITIVO DE APOYO	1.05
N	ESPEJO FIJO SEMEJANTE A "N"	0.85
P	CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR	1.04
W	CABEZAL FLOTANTE CON ANILLO DE CIERRE HIDRAULICO	1.02

$$P = 0.75 (P_t)^2 (a/d_o) \quad (2.2)$$

La ecuación (2.1) asume las siguientes características:

- Tubos de acero al carbón 14 BWG, soldados.
- Longitud nominal de tubo 20 pies.

- Número de pasos por los tubos 1 ó 2.
- Presión de diseño del lado de los tubos  $\leq 150$  psi.
- Presión de diseño del lado de la coraza  $\leq 150$  psi.
- Material de construcción, todo en acero al carbon.

Cuando las características del intercambiador a evaluar difieren, se aplican las siguientes correcciones:

El costo total está dado por la siguiente ecuación.

$$E_b = B (1 + C_r) (A) \quad (2.3)$$

Donde ( $C_r$ ) es evaluado por la ecuación (2.4), el término (B), se se obtiene de la ecuación (2.1) y está basado en una coraza tipo TEMA E. Para otros tipos de coraza diferentes a E, el costo base es corregido por el factor (CS), este factor se obtiene de la tabla (2.1E).

$$C_T = (CS + CX + CL + CNTP + CPT + CPS + CMTS + CMT + CMS + CMC + CG) \quad (2.4)$$

Los términos de la ecuación (2.4) se obtienen a continuación.

El factor de corrección por juntas de expansión (CX) se obtiene por medio de las ecuaciones (2.5) y (2.6). Los tipos de juntas de expansión más comunes son: tipo pestaña y tipo fuelle, las juntas tipo pestaña están limitadas a expansiones de 3/16 de pulgada.

La corrección al costo, por juntas tipo pestaña, está dada

por la siguiente ecuación

$$CX = 0.72721266 - 0.135949214 * (\ln X) \quad (2.5)$$

Para juntas tipo fuele se emplea la ecuación siguiente.

$$CX = 0.46268734 - 0.08794758 * (\ln X) \quad (2.6)$$

El término (X) de las ecuaciones (2.5) y (2.6) es obtenido por las ecuaciones (2.11) y (2.12), las cuales están en función del diámetro interno.

TABLA (2.1D)  
FACTOR DE CORRECCION POR ARREGLO Y PITCH

diámetro externo del tubo por pitch	FACTOR (P)	
	pitch triangular 30 ó 60 grados	pitch cuadrado 45 ó 90 grados
5/8 in x 25/32 in	0.62	no es común
3/4 in x 15/16 in	0.80	no es común
3/4 in x 1 in	0.85	1.0 (base)
7/8 in x 13/32 in	0.87	no es común
1 in x 1 1/4 in	0.98	1.16
1 1/4 in x 1 9/16 in	1.23	1.45
1 1/4 in x 1 37/64 in	1.29	1.49
1 1/2 in x 1 7/8 in	1.47	1.73
1 1/2 in x 1 57/64 in	1.56	1.80
1 3/4 in x 1 3/16 in	1.72	2.03
1 3/4 in x 1 13/64 in	1.81	2.13
2 in x 2 1/2 in	1.97	2.32
2 in x 2 17/32 in	2.08	2.45



TABLA (2.1E)  
CORRECCION DE COSTO POR TIPO DE CORAZA DE ACUERDO  
A LA CLASIFICACION DE TEMA

TEMA	TIPO DE CORAZA	CORRECCION (CS)
---	INTERCAMBIADOR DE TUBO ABIERTO (CON CORAZA CASO ESPECIAL)	-0.2
E	UN PASO	0.0
J	FLUJO DIVIDIDO (DOBLE SALIDA)	0.0
X	FLUJO CRUZADO	0.0
G	FLUJO ABIERTO (UNA SALIDA)	0.075
H	DOBLE FLUJO DIVIDIDO	0.125
F	DOS PASOS CON BAFLE LONGITUDINAL	0.175
K	REBOILER TIPO KETTLE	0.30

Corrección por juntas de expansión (CL).

Para la ecuación base se tomó en cuenta una longitud nominal de 20 pies. El factor de corrección por longitud es obtenido por la ecuación (2.7), éste factor se determina para el caso en el cual la longitud nominal sea menor de 20 pies.

Corrección por longitud del tubo.

Para la ecuación base se tomó en cuenta la longitud nominal de 20 pies.

$$CL = \left[ 1 - L/20 \right] \left( 1.5 - \frac{0.002083 \cdot (D_i - 12)}{1 - (L/20)} \right) \quad (2.7)$$

si la longitud nominal es mayor a 20 pies  $CL = 0$

Corrección por pasos en los tubos (CNTP).

El factor de costo por número de pasos por los tubos es obtenido por la siguiente ecuación.

$$CNTP = \frac{(N_{TP} - 1)}{100} \quad (2.8)$$

Corrección por presión de diseño (CPS y CPT).

Las ecuaciones (2.9) y (2.10) son aplicables para hacer la corrección por presión de diseño por el lado de los tubos y por el lado de la coraza, respectivamente.

$$CPT = \left[ \left( \left( P_{DT} / 150 \right) - 1 \right) (0.035 + 0.00056(D_i - 12)) \right] \quad (2.9)$$

$$CPS = \left( \left( P_{DT} / 150 \right) - 1 \right) (0.07 + 0.0016(D_i - 12)) + X \quad (2.10)$$

El término (X) es calculado por la ecuación (2.11) para el caso en que  $D_i > 20$  pulgadas, para  $D_i \leq 20$  pulgadas se aplica la ecuación (2.12).

$$X = - 0.840254225 + 1.4813445(\text{Ln } D_1) \quad (2.11)$$

$$X = 0.62557263 + 1.0685888(\text{Ln } D_1) \quad (2.12)$$

$X = 0$  para  $P_{os} \leq 2000$  Psig.

Corrección por material de construcción.

La corrección por material del espejo es:

$$\text{CMTS} = 0.04 (M2 - 1) \quad (2.13)$$

La corrección por material de los tubos se obtiene de la siguiente ecuación.

$$\text{CMT} = Y (M1 - 1) \quad (2.14)$$

donde (Y) es obtenido por:

$$Y = 0.129 + 0.0016(D_1 - 12)(d_o / (0.75(P_1)^2 a)) \quad (2.15)$$

La corrección por material de la coraza esta dada por:

$$\text{CMS} = 0.1 (M2 - 1) \quad (2.16)$$

El factor de corrección por material del canal o bonete se obtiene de la ecuación (2.17).

$$\text{CMC} = 0.06 (M2 - 1) \quad (2.17)$$

Los factores, (M1) empleado en la ecuación (2.14) y el factor (M2) empleado en las ecuaciones (2.13), (2.16) y (2.17), son tabulados en la tabla (2.1F).

Corrección por calibre (CG).

El costo de los tubos depende del espesor de la pared. Para otros casos diferentes a 14 BWG la corrección de costo está dada por la siguiente ecuación.

$$CG = Y (g - 1) \quad (2.18)$$

donde (Y) es obtenido de la ecuación (2.15) y el término (g) de la ecuación (2.19).

$$g = 4.439617229 - 1.31276043(\text{Ln BWG}) \quad (2.19)$$

TABLA (2.1F)

FACTORES DE CORRECCION POR MATERIAL DE CONSTRUCCION

MATERIAL	FACTOR M1 PARA EL COSTO DE LOS TUBOS		FACTOR M2 PARA EL COSTO DE LA CORAZA
	SOLDADO	SIN SOLDAR	
AC. AL CARBON	1.0	2.50	1.0
1/2 Mo	1.04	2.60	1.04
1 Mo	1.05	2.70	1.05
2 1/2 Ni	1.15	2.90	1.15
3 1/2 Ni	1.20	3.10	1.20
2 Ni-1 Cu	----	3.30	1.30
1 Cr-1/2 Mo	----	2.60	2.00
1 1/4 Cr-1/2 Mo	----	2.70	2.10
2 1/4 Cr-1 Mo	----	3.00	2.40
3 Cr-1 Mo	----	3.20	2.50
5 Cr-1/2 Mo	----	4.40	3.50
7 Cr-1/2 Mo	----	5.50	----
9 Cr-1 Mo	----	6.10	----
AC. INOX. 304	2.80	6.50	3.70
AC. INOX. 304L	3.00	7.50	4.70
AC. INOX. 309	5.80	14.50	7.70
AC. INOX. 310	7.40	12.00	9.80
AC. INOX. 310L	7.60	12.40	10.10
AC. INOX. 316	4.70	10.10	6.20
AC. INOX. 316L	4.80	11.00	6.40
AC. INOX. 317	8.10	13.30	8.10
AC. INOX. 317L	8.30	13.60	8.30
AC. INOX. 321	4.20	9.50	5.60
AC. INOX. 329	10.50	17.20	10.50
AC. INOX. 330	7.90	12.90	9.50
AC. INOX. 347	5.50	13.70	7.30
AC. INOX. 405	6.00	15.00	6.90
AC. INOX. 410	6.90	17.20	7.90
AC. INOX. 430	5.40	10.60	6.20
AC. INOX. 439	5.00	11.20	5.80
AC. INOX. 444	7.80	8.80	9.00
AC. INOX. 446	4.70	10.00	5.40
AC. INOX. 904L	15.30	19.20	17.00
SANDVIK 2RE-69	----	14.50	----
SANDVIK 3RE-60	----	10.10	----
SANDVIK 253-MA	----	12.70	----
SANDVIK SAF-2205	----	11.80	----
SANICRO 28	16.10	20.20	18.20
E-BRITE 26-1	9.00	----	10.00

CONTINUACION DE LA TABLA (2.1F)

MATERIAL	FACTOR M1 PARA EL COSTO DE LOS TUBOS		FACTOR M2 PARA EL COSTO DE LA CORAZA
	SOLDADO	SIN SOLDAR	
ALLOY 255	12.00	23.90	14.00
CARPENTER 20CB3	15.10	-----	16.00
CARPENTER 20Mo6	18.90	-----	-----
AL-6-X	12.20	-----	-----
AL-29-4	12.00	-----	-----
AL-29-4-2	11.80	-----	-----
AL-29-4-C	5.0	-----	-----
NIQUEL 200	-----	20.90	18.40
MONEL 400	-----	15.50	14.50
INCONEL 600	19.40	-----	15.30
INCONEL 625	-----	32.70	27.40
INCOLOY 800	11.00	21.80	9.00
INCOLOY 800H	-----	18.00	-----
INCOLOY 825	-----	23.50	-----
HASTELLOY B-2	34.90	48.60	38.40
HASTELLOY C-4	28.70	40.00	31.30
HASTELLOY C-276	29.10	38.10	31.00
HASTELLOY G	15.30	24.70	18.10
HASTELLOY X	16.70	27.10	21.30
TITANIO GRADO 2	11.00	22.00	11.00
TITANIO GRADO 7	21.00	42.00	-----
TITANIO GRADO 12	14.00	28.00	-----
ZIRCONIO 702	35.00	43.70	36.80
ZIRCONIO 705	39.00	48.70	40.00
ALUMINIO	-----	1.60	1.60
NAVAL ROLLED BRASS	-----	3.50	3.50
ADMIRALTY	-----	3.60	3.60
ALUMINIO BRASS	-----	3.70	3.70
ALUMINIO 5%	-----	4.10	4.10
COPPER	-----	4.20	4.20
CUPRO-NIQUEL 90-10	3.50	4.60	4.60
CUPRO-NIQUEL 70-30	4.20	5.50	5.50
SA-214	4.40	-----	-----
SA-334-1	4.70	-----	-----
SA-334-3	-----	9.00	-----
SA-214 ACANALADO	7.00	-----	-----
SA-334-1 ACANALADO	7.40	-----	-----
SA-210 ACANALADO	-----	8.40	-----

### 2.1.2 Intercambiadores de doble tubo.

Este método estima el costo de intercambiadores de doble tubo en función de: diámetro de los tubos, longitud de los tubos y material de construcción. El costo base es determinado en acero al carbón para el año de 1982.

El costo base se determina por:

$$BDT = (485 / L_{DT}^{(0.705)}) \quad (2.20)$$

Debido a que la construcción en aleación afecta el costo del intercambiador significativamente la corrección del costo por material de construcción se calcula por la siguiente ecuación.

$$CH_{DT} = BDT(1 + CI_{\tau})(ADT) \quad (2.21)$$

donde (BDT) se determina por la ecuación (2.20) y  $(CI_{\tau})$  por la siguiente ecuación.

$$CI_{\tau} = C_{mt} + C_{ms} + C_{mc} + C_{di} \quad (2.22)$$

Los términos por corrección de material de construcción de la ecuación anterior se determinan a continuación.

La corrección del costo por material del tubo interno se obtiene por:

$$C_{mt} = f_i(MI - 1) \quad (2.23)$$

$$f_t = 0.2 + 0.001 (L_{DT}) \quad (2.24)$$

La corrección del costo por material del tubo externo se obtiene por:

$$C_{me} = f_e (M2 - 1) \quad (2.25)$$

$$f_e = 0.460714285 + 0.00285714 (L_{DT}) \quad (2.26)$$

La corrección por material de las tapas se obtiene por:

$$C_{mc} = f_c (M2 - 1) \quad (2.27)$$

$$f_c = 0.34857142 - 0.00371428 \quad (2.28)$$

Los factores de corrección por material (M1) y (M2) empleados en las ecuaciones (2.23), (2.25) y (2.27), respectivamente, son listados en la tabla (2.1F) del punto (2.1.1). Estos factores son tabulados para más de 70 materiales o aleaciones, (M1) tiene diferente valor para tubos soldados o tubos sin soldar.

El factor de corrección por diámetro interno de la coraza se calcula por las ecuaciones (2.29) a la (2.33).

$$\text{Para } D_i = 4 \text{ pulg.} \quad C_{di} = 0 \quad (2.29)$$

$$\text{Para } D_i = 2 \text{ pulg.} \quad C_{di} = -0.0085(L_{DT}) + 0.705 \quad (2.30)$$

$$\text{Para } D_i = 3 \text{ pulg.} \quad C_{di} = -0.0015(L_{DT}) + 0.1875 \quad (2.31)$$



$$\text{Para } D_i = 6 \text{ pulg. } C_{di} = -0.001(L_{DT}) - 0.06 \quad (2.32)$$

$$\text{Para } D_i = 8 \text{ pulg. } C_{di} = -0.00066666(L_{DT}) - 0.08666 \quad (2.33)$$

#### NOMENCLATURA

- A: Área de transferencia de energía, tubos y coraza, en pies cuadrados.
- ADT: Área de transferencia de energía, doble tubo, en pies cuadrados.
- B: costo base por pie cuadrado, intercambiador de tubos y coraza.
- BDT: costo base en acero al carbón, intercambiador de doble tubo.
- BWG: calibre de los tubos.
- $C_{di}$ : factor de corrección por diámetro interno de la coraza, intercambiador de doble tubo.
- CG: factor de corrección por calibre de los tubos.
- $CI_T$ : factor de corrección por material de construcción, intercambiador de doble tubo.
- CL: factor de corrección por longitud del tubo.
- $CM_{DT}$ : costo en aleación, intercambiador de doble tubo.
- CMC: factor de corrección por material de construcción del canal o bonete.
- $C_{mc}$ : factor de corrección por material de las tapas.

CMS: factor de corrección por material de construcción de la coraza.

$C_{MB}$ : factor de corrección por material del tubo externo.

CMT: factor de corrección por material de construcción de los tubos.

$C_{mi}$ : factor de corrección por material del tubo interno.

CMTS: factor de corrección por material de construcción del espejo.

CNTP: factor de corrección por número de pasos por los tubos.

CPS: factor de corrección por presión de diseño por el lado de la coraza.

CPT: factor de corrección por presión de diseño por el lado de los tubos.

CS: factor de corrección por tipo de coraza.

$C_T$ : factor de corrección por material de construcción tubos y coraza.

CX: factor de corrección por juntas de expansión.

$D_i$ : diámetro interno del tubo externo, intercambiador de doble tubo, en pulg.

$D_c$ : diámetro interno de la coraza, en pulg.

$E_b$ : costo total corregido, tubos y coraza.

F: factor de corrección por cabezal delantero.

L: longitud nominal, en pies.

$L_{DT}$ : longitud nominal en pies, intercambiador de doble tubo.

M1: relación del costo del tubo (soldado o sin costura) relativo a ac. al carbón.

M2: relación del costo de las placas, relativo a ac. al carbón para la coraza, espejos y canal.

- $N_{TP}$ : número de pasos por los tubos.
- $P$ : factor de costo por diámetro externo del pitch y arreglo.
- $P_t$ : pitch del tubo en pulgadas.
- $P_{DT}$ : presión de diseño por el lado de los tubos (psi).
- $P_{DS}$ : presión de diseño por el lado de la coraza (psi).
- $R$ : factor de corrección por cabazal posterior.
- $X$ : factor de ajuste por presión de diseño, mayor de 2000 psig., por el lado de la coraza .
- $Y$ : costo de los tubos en acero al carbón.
- $a = 0.85$  para pitch triangular.
- $a = 1$  para angulo de arreglo de  $45^\circ$  o  $90^\circ$ .
- $a = 0.85$  para angulo de arreglo de  $30^\circ$  o  $60^\circ$ .
- $a = 1$  para pitch cuadrado.
- $d_o$ : diámetro externo de los tubos.
- $f_c$ : factor de corrección por longitud de las tapas.
- $f_e$ : factor de corrección por material del tubo externo
- $f_i$ : factor de corrección por material del tubo interno.
- $g$ : factor de costo por calibre del tubo.

## 2.2 Torres de enfriamiento.

Para determinar el costo de torres de enfriamiento se pueden emplear cualquiera de los dos métodos de la tabla (2.2A).

Utilizando el primer método se determina el costo con base en los siguientes datos: carga total de calor, temperatura de bulbo húmedo, temperatura del agua a la entrada de la torre y la temperatura de salida, el año base es 1972.

Para emplear el segundo método se requieren los siguientes datos: capacidad, temperatura de bulbo húmedo y  $\Delta T$  de acercamiento, este método tiene como año base 1977.

TABLA (2.2A)

MÉTODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1972	(34)	-CARGA TOTAL DE CALOR -TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO -TEMPERATURA DEL AGUA CALIENTE A LA ENTRADA -TEMPERATURA DEL AGUA FRIA	-CONCRETO	-EL METODO DEPENDE DE VARIABLES QUE SE DETERMINAN Y DEPENDEN DE LAS CARACTERISTICAS DEL SITIO EN EL QUE OPERA LA TORRE	-NO INDICA LA LONGITUD DE LAS CELDAS
2  AÑO BASE 1977	(25)	-CAPACIDAD -TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO - $\Delta T$ DE ACERCAMIENTO	-CONCRETO	-EL COSTO INCLUYE MOTORES, BOMBAS, VENTILADORES	-----

De los métodos resumidos en la tabla (2.2A), se selecciono el método número dos debido a que éste maneja un amplio rango de capacidades, temperaturas, emplea factores de corrección para temperaturas de bulbo húmedo y  $\Delta T$  de acercamiento, cuando la torre tiene una capacidad mayor de 12E6 btu/H.

El costo obtenido por este método incluye el costo de la torre, ventiladores, motores, bombas, y gastos de instalación.

El costo base está dado por la siguiente ecuación.

$$C_A = ((C - 34500) (F1) (F2) + 34500) \quad (2.33)$$

donde el factor (C) está en función de la capacidad de calor absorbido por la torre, este factor es obtenido por medio de las ecuaciones (2.34) a la (2.42), las cuales son empleadas de acuerdo a la capacidad y al  $\Delta T$ . Los factores (F1) y (F2) son tabulados en la tabla (2.2B).

Si la capacidad de la torre es menor de 12E6 btu/h la siguiente ecuación es aplicable.

$$C = 1035 + 93.265(G) \quad (2.34)$$

Cuando la capacidad de la torre es mayor de 12E6 btu/h y el rango de temperatura es igual a 60°F, el costo de la torre se puede determinar por la ecuación (2.35).

$$C = 34500 + 11.7(G) \quad (2.35)$$

La ec. (2.36) es válida para un rango de 50°F.

$$C = 34500 + 11.0(G) \quad (2.36)$$

La ec. (2.37) es válida para un rango de 40°F.

$$C = 34500 + 10.1(G) \quad (2.37)$$

La ec. (2.38) es válida para un rango de 30°F.

$$C = 34500 + 8.76(G) \quad (2.38)$$

La ec. (2.39) es válida para un rango de 25°F.

$$C = 34500 + 7.9(G) \quad (2.39)$$

La ec. (2.40) es válida para un rango de 20°F.

$$C = 34500 + 6.89(G) \quad (2.40)$$

La ec. (2.41) es válida para un rango de 15°F.

$$C = 34500 + 5.8(G) \quad (2.41)$$

La ec. (2.42) es válida para un rango de 10°F.

$$C = 34500 + 4.43(G) \quad (2.42)$$

Las ecuaciones indicadas anteriormente, tienen como base una temperatura de bulbo húmedo igual a 82°F y un  $\Delta T$  de acercamiento de 10°F.

Para otras temperaturas de bulbo húmedo se tienen los siguientes factores de corrección.

TABLA (2.2B)

TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO °F	FACTOR F1	ΔT DE ACERCAMIENTO °F	FACTOR F2
68	1.54	6	1.6
70	1.46	8	1.2
72	1.38	10	1.0
74	1.30	12	0.85
76	1.22	16	0.65
78	1.15	20	0.50
80	1.07	24	0.40
82	1.00	--	---

NOMENCLATURA

C: costo base en dólares.

G: flujo a la entrada en gal/min.

C<sub>A</sub>: costo total.

F1, F2: factores de corrección por temperatura.



### 2.3 Quemadores de campo.

Para la estimación de costos de quemadores de campo solo se cuenta con un método, tabla (2.3A).

Este método emplea los siguientes parámetros de diseño :  
tipo de fluido , calor generado, flujo de material.

Los dos tipos más comunes de quemadores son: el elevado y el tipo fosa. El primero es montado sobre un cañon de chimenea fuera del área de proceso.

Los quemadores elevados se encuentran en tres tipos (diseños): humeantes, sin humo y endotérmico. La selección de estos depende de: tipo de material a quemar y del calor desprendido o generado.

Específicamente, los quemadores de humo o humeantes son usados con gases puros, inflamables, e hidrocarburos con grandes contenidos de hidrógeno/carbón (25% o más). Los quemadores sin humo son usados para quemar orgánicos con bajo contenido de energía, menos de 100 btu/ft<sup>3</sup>. Como el quemador tipo fosa quema ambos residuos, gaseosos y líquidos, tiene un mayor costo (éste es un tanto compensado por los bajos costos de operación y mantenimiento).

Los costos de un quemador dependen de: flujo, diseño y elevación.

El costo en dolares para razones de flujo entre 2500 y 250,000 lb/h es obtenido por la ecuación (2.43).

TABLA (2.3A)

METODO PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE QUEMADORES DE CAMPO

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1979	(33)	-TIPO DE FLUIDO A QUEMAR -CALOR GENERADO POR EL MATERIAL -CANTIDAD DE MATERIAL	-----	-EL COSTO INCLUYE ESCALERAS PLATAFORMAS Y CHIMENEAS	-----

$$C_F = (a) M^b (\exp (c (\ln M)^2)) \quad (2.43)$$

Los valores para los parámetros a, b y c son los siguientes:

TIPO DE QUEMADOR Y RESIDUO DE GAS

PARA-METRO	DE TIERRA		ELEVADO	
	MAS DE 60 BTU/FT <sup>3</sup> DE ETILENO	MENOS DE 60 BTU/FT <sup>3</sup>	MAS DE 100 BTU/FT <sup>3</sup>	MENOS DE 100 BTU/FT <sup>3</sup>
a	4310	10.40	288	875
b	-0.0105	1.07	0.398	0.256
c	0.0296	-0.0314	0.0	0.0

Los costos para quemadores elevados incluyen: escaleras, plataformas y chimeneas de altura suficiente, para asegurar que el grado o nivel de radiación no sea mayor de 1500 btu/hr-ft<sup>2</sup>. Los valores de los parámetros son para el mismo tipo de soporte (aproximadamente 40 pies de altura).

#### NOMENCLATURA

CT: costo total.

M: flujo de residuo de gas a quemar en lb/h.

a, b, c: parámetros por tipo de fluido a quemar.

## 2.4 Calentadores a fuego directo.

Para la determinación del costo de calentadores a fuego directo se cuenta con tres métodos de estimación de costos.

El método número uno considera cuatro parámetros de diseño los cuales son: tipo de calentador (tipo de diseño), calor absorbido (btu/h), presión de diseño y material de construcción, éste tiene corrección para tres tipos de material de construcción (ac. inox., ac. al carbón y cromo-molibdeno). El año base es 1982.

El método número dos determina el costo por medio de tres parámetros de diseño: presión de diseño, tipo de horno y material de construcción de los cuales emplea (ac. templado, ac. al carbón, cromo-molibdeno y ac. inox. 18-8). El año base es 1975.

El método número tres considera como parámetros de diseño: tipo de horno, presión de diseño, calor absorbido y material de construcción (ac. al carbón, cromo-molibdeno y acero inoxidable). El año base es 1968.

De los métodos antes mencionados se selecciono el método número uno, debido a que, éste es más actual que los otros dos. Estos tres métodos son resumidos en la tabla (2.4A).

TABLA (2. 4A)

## METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1982	(12)	-TIPO DE CALENTADOR (TIPO DE DISEÑO) -CALOR ABSORBIDO -PRESION DE DISEÑO	-AC. INOX. -AC.AL CARBON -ALEACION CR-MOLIBDENO	-EL COSTO BASE ES MAS ACTUAL	-NO HACE CORRECCION POR TEMPERATURA
2  AÑO BASE 1975	(35)	-PRESION DE DISEÑO -TIPO DE DISEÑO	-AC. TEMPLADO -AC.AL CARBON -CROMO-MOLIBDENO -AC.INOX.18-8	-----	-NO CONSIDERA EL CALOR ABSORBIDO -EMPLEA 3 PARAMETROS
3  AÑO BASE 1968	(36)	-TIPO DE CALENTADOR -PRESION DE DISEÑO -CALOR ABSORBIDO	-AC.AL CARBON -CROMO-MOLIBDENO -AC. INOX.	-----	-EMPLEA TRES PARAMETROS

De los métodos descritos anteriormente se selecciono el método número uno, debido a las ventajas que éste presenta con respecto a los demás; es más actual, emplea tres parámetros de diseño.

El tamaño de los calentadores a fuego directo está definido en términos de la capacidad de absorción de calor de los equipos o capacidad de servicio. Arriba de los 500,000 btu/h se diseñan

unidades pequeñas y mayor de un millón de btu/h unidades especiales.

Para determinar el costo de un calentador es necesario saber: la cantidad de calor absorbido en btu/h, tipo de horno, presión de diseño (psig) y material del tubo. El costo incluye la instalación completa en campo e indirectos.

El costo de un calentador se obtiene mediante la ecuación (2.44).

$$CH = \text{costo base} (1 + F_d + F_p) \quad (2.44)$$

El costo base se obtiene por medio de las ecuaciones (2.45) a la (2.50).

La ecuación (2.44) es aplicable para diseño de tipo cilíndrico, térmico, pirólisis, calentador de proceso y reformador (sin catalisis).

Los factores ( $F_d$ ) y ( $F_p$ ) para calentadores tipo cilíndrico, se obtienen de la siguiente tabla.

TABLA (2.4B)  
FACTORES POR TIPO Y PRESION DEDISEÑO

TIPO DE DISEÑO	FACTOR $F_d$	PRESION DE DISEÑO (Pb1)	FACTOR $F_p$
CILINDRICO	0.0	MAYOR DE 500	0.0
TERMICO	0.33	MAYOR DE 1000	0.15
TERMICO	0.0	MAYOR DE 1500	0.20

Los factores de corrección, ( $F_d$ ) y ( $F_p$ ), para calentadores tipo caja, son tabulados en la tabla (2.4C).

TABLA (2.4C)  
FACTORES POR TIPO Y PRESION DE DISEÑO

TIPO DE DISEÑO	FACTOR $F_d$	PRESION DE DISEÑO (PSI)	FACTOR $F_p$
CALENTADOR DE PROCESO	0.0	MAYOR DE 500	0.0
PIROLISIS	0.10	MAYOR DE 1000	0.10
REFORMADOR	0.35	MAYOR DE 1500	0.15
REFORMADOR	0.35	MAYOR DE 2000	0.25
REFORMADOR	0.35	MAYOR DE 2500	0.40
REFORMADOR	0.35	MAYOR DE 3000	0.60

Para la estimación del costo base, de calentadores a fuego directo tipo cilíndrico con tubos radiantes, en acero al carbón se emplea la siguiente correlación, válida para un rango de (2,000,000 - 30,000,000) btu/h.

$$\text{costo base} = 0.35818893 (\text{ACT})^{(0.8101553)} \quad (2.45)$$

Para el mismo tipo de calentador, construido en cromo/molibdeno, se tiene la ecuación (2.46), válida para un rango de (20,000,000 - 30,000,000) btu/h.

$$\text{costo base} = 0.6906294 (\text{ACT})^{(0.79178711)} \quad (2.46)$$

Para determinar el costo de un calentador en acero inoxidable, es aplicable la ecuación (2.47) con el mismo rango de aplicación que la ecuación (2.46).

$$\text{costo base} = 0.754504669 (\text{ACT})^{(0.7891717148)} \quad (2.47)$$

Para calentadores a fuego directo, tipo caja, se cuenta con tres correlaciones.

Para calentadores contruidos en acero al carbón y con tubos radiantes se utiliza la ec. (2.48), válida para un rango de (20,000,000 - 200,000,000) btu/h.

$$\text{costo base} = 0.1936957 (\text{ACT})^{(0.85005877)} \quad (2.48)$$

Para construcciones en cromo-molibdeno se tiene la siguiente correlación, con el mismo rango de aplicación que la ecuación (2.48).

$$\text{costo base} = 0.2100162328 (\text{ACT})^{(0.86202037)} \quad (2.49)$$

En acero inoxidable se determina el costo base mediante la ecuación (2.50), con el mismo rango de aplicación que la ecuación (2.49).

$$\text{costo base} = 0.4429834 (\text{ACT})^{(0.83556179)} \quad (2.50)$$



## NOMENCLATURA

**ACT:** calor absorbido en btu/h.

**CH:** costo total.

**F<sub>d</sub>:** factor de corrección por tipo de diseño.

**F<sub>p</sub>:** factor de corrección por presión de diseño.

## 2.5 Soloaires.

Para determinar el costo de soloaires se cuenta con dos métodos.

El primer método considera seis parámetros de diseño: presión de diseño, área, calibre del tubo, longitud del tubo, tipo de fluido y número de tubos por fila. Este método hace corrección por material de construcción para seis materiales. El año base es 1975.

El segundo método emplea cinco parámetros de diseño: presión de diseño, área, longitud del tubo, no. de filas de tubos y no. de tubos por fila. Este hace corrección por material de construcción, para tres materiales. El año base es 1976.

Se seleccionó el primer método, ya que, éste considera más datos de diseño y mayor número de materiales de construcción, los métodos son resumidos en la tabla (2.5A).

TABLA (2.5A)

MÉTODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE SOLOAIRES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1975	(35)	-PRESION DE DISEÑO -AREA -CALIBRE DEL TUBO -LONGITUD DEL TUBO -TIPO DE FLUIDO -NO. DE HILERAS POR TUBO	-AC. INOX. 316 -AC. INOX. 304 -AC. INOX. 321 -ALEACION DE ALUMINIO -MONEL -ALUMINIO 3S	-EL COSTO INCLUYE VENTILADOR Y MOTOR	-NO APLICA A CONDENSADORES DE VACIO
2  AÑO BASE 1976	(20)	-PRESION DE DISEÑO -AREA -LONGITUD DEL TUBO -NO. DE FILAS DE TUBOS -NO. DE TUBOS	-AC. AL CARBON -AC. INOX. 304 -AC. INOX. 316	-EL COSTO INCLUYE TUBOS ALETADOS, SOPORTES, VENTILADOR	-EMPLEA 3 MATERIALES

Método de cálculo.

El método simplificado consiste en: determinar las características de las filas de tubos y la energía transferida por los ventiladores, y en tal caso el costo por medio de los coeficientes (S) y (C), los cuales son función de:

-Carga térmica.

-Temperaturas de entrada y salida del fluido de

proceso,  $(T_1)$  y  $(T_2)$ .

-Temperatura de entrada del aire ( $t_a$ ).

-Resistencia a la transferencia de calor, ofrecida por el fluido.

El costo, base asume:

-Tubos de 10 metros de longitud, 1 pulgada de diámetro.

-acero suave.

-calibre (BWG) 12.

-espesor de la pared, con un tipo de aluminio G, insertado dentro de ranuras en la superficie del tubo.

-seis filas de tubos.

-presión de diseño de 10 bars.

-perno tipo return y cubierto en acero suave.

-pitch manualmente regulado en la hoja del ventilador.

-motor totalmente encerrado, con ventilador para enfriar (TEFC).

El costo corregido del soloaire es determinado de la ecuación (2.51).

$$\text{costo} = (\text{costo base}) f_e f_p f_l f_n f_m \quad (2.51)$$

donde el costo base es producto del coeficiente (C), que se obtiene de las ecuaciones (2.54) a la (2.59) y el coeficiente (S) el cual se obtiene mediante la ecuación (2.53).

$$\text{Costo base} = S (C) \quad (2.52)$$

$$S = \frac{Q \times 10^{-3}}{T_1 - t_a} \quad (2.53)$$

El término (C) está en función del factor de temperatura (R) éste se obtiene por medio de la ecuación (2.54).

$$R = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - t_a} \quad (2.54)$$

Para valores de  $R \leq 0.1$  es aplicable la ecuación (2.55)

$$C = 120592.2945 \times R_1 + 415.1006266 \quad (2.55)$$

Para valores de  $0.1 < R \leq 0.4$  es aplicable la siguiente ecuación.

$$C = 144607.432 \times R_1 + 495.4048742 \quad (2.56)$$

Para  $0.4 < R \leq 0.6$  es aplicable la ecuación (2.57)

$$C = 167044.1339 \times R_1 + 545.1211634 \quad (2.57)$$

Para  $0.6 < R \leq 0.8$  es aplicable la ecuación (2.58)

$$C = 200797.4265 \times R_1 + 681.2647734 \quad (2.58)$$

Para  $0.8 < R \leq 1.0$  es aplicable la siguiente ecuación

$$C = 17639.35324 \times R1 \quad (0.3693228944)$$

(2.59)

(R1) es obtenido de la tabla (2.5C).

Los coeficientes de corrección son obtenidos de la tabla (2.5B).

TABLA (2.5B)

FACTORES DE CORRECCION AL COSTO BASE DE SOLOAIRES

ESPEJOR DEL TUBO (mm)	BWG	FACTOR $f_e$
2.77	12	1.0
2.11	14	0.9
1.65	16	0.8
1.24	18	0.7
PRESION (BARS)	FACTOR $f_p$	
≤ 10	1.0	
10 - 20	1.03	
20 - 30	1.06	
30 - 50	1.10	
50 - 75	1.13	
75 - 100	1.15	
100 - 150	1.20	
LONGITUD DEL TUBO (m)	FACTOR $f_l$	
12	0.90	
10	1.00	
8	1.05	
6	1.12	
5	1.15	

CONTINUACION DE LA TABLA (2.5B)

NUMERO DE TUBOS POR FILA	FACTOR $f_N$
3	1.25
4	1.15
5	1.05
6	1.00
8	0.90
10	0.85
MATERIAL DE LOS TUBOS	FACTOR $f_m$
ACERO SUAVE	1.00
ALUMINIO 3S	1.30
ALEACION DE ALUMINIO	1.50
ACERO INOXIDABLE 304	2.20
ACERO INOXIDABLE 316	3.00
ACERO INOXIDABLE 321	2.50
MONEL	3.20

TABLA (2.5C)

RESISTENCIA A LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR TIPO DE FLUIDO

FLUIDO	RESISTENCIA TOTAL R1
AGUA DE ENFRIAMIENTO	0.00036
SOLUCIONES ACUOSAS	0.0006
GAS LICUADO PROPANO	0.0006
HIDROCARBUROS LIGEROS	0.0008
HIDROCARBUROS INTERMEDIOS	
VISCOSIDAD PROMEDIO 1 cp	0.0014
VISCOSIDAD PROMEDIO 5 cp	0.0038
VISCOSIDAD PROMEDIO 10 cp	0.0058
FLUIDOS PARA CONDENSACION	
VAPOR	0.00038
AMONIACO	0.00048
GLP	0.00048
HIDROCARBUROS LIGEROS	0.00110
NAPTHA LIGERA	0.00140
NAPTHA PESADA	0.00180
GASOLINA	0.00100
GAS Y ACEITE	0.00180



## NOMENCLATURA

CTS: costo total.

Q: carga térmica, en kcal/h.

R: resistencia total, en  $(h)(m^2)(^{\circ}C)/kcal$ .

S: conversión impuesta, en  $kcal/h^{\circ}C$ .

$T_1$ : temperatura de entrada del fluido, en  $^{\circ}C$ .

$T_2$ : temperatura de salida del fluido, en  $^{\circ}C$ .

$f_e$ : factor de corrección por espesor del tubo.

$f_l$ : factor de corrección por longitud del tubo.

$f_m$ : factor de corrección por material de los tubos.

$f_N$ : factor de corrección por número de tubos por fila.

$f_p$ : factor de corrección por presión.

$t_a$ : temperatura de entrada del aire  $^{\circ}C$ .

### III. EQUIPOS QUE INVOLUCRAN MANEJO DE FLUIDOS

En este capítulo se analizan los métodos de estimación de costos de: compresores (centrífugos y reciprocantes), bombas (centrífugas y reciprocantes), eyectores de vapor y motores eléctricos.

Para compresores centrífugos y reciprocantes se cuenta con cuatro métodos, siete métodos de estimación para bombas centrífugas y tres métodos de estimación para bombas reciprocantes, para eyectores y motores eléctricos se tienen dos métodos para cada uno.

### 3.1 Compresores.

Se tienen tres métodos para la determinación del costo de compresores centrífugos, resumidos en la tabla (3.1A).

El método número uno determina el costo, de una unidad de compresión empleando un parámetro de diseño, BHP, éste método tiene como datos base: acero al carbón y año base 1968.

El método número dos emplea como parámetros de diseño, tipo de compresor, HP y máxima presión de descarga, éste tiene como año base 1975.

El método número cuatro emplea como parámetros de diseño, BHP, y la capacidad de descarga, el año base 1982.

De los métodos arriba descritos se ha seleccionado el método número cuatro, debido a que, éste es más actual que los otros dos métodos. A continuación se describe el método seleccionado.

TABLA (3.1A)

METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE COMPRESORES CENTRIFUGOS Y RECIPROCANTES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1 AÑO BASE 1968	(36)	-BHP	-AC.AL CARBON	-EMPLEA RAZON DE COMPRESION	-APLICA A COMPRESORES CENTRIFUGOS
2 AÑO BASE 1975	(35)	-TIPO DE COMPRESOR -BHP -MAXIMA PRESION DE DESCARGA	-AC. FUNDIDO -AC. INOX. 316 -AC. INOX. 304	-APLICA A COMPRESORES CENTRIFUGOS Y RECIPROCANTES	-EL COSTO NO INCLUYE EL MOTOR
3 AÑO BASE 1982	(12)	-BHP -CAPACIDAD	-AC.AL CARBON	-EL COSTO INCLUYE EL MOTOR O TURBINA	-APLICA A COMPRESORES CENTRIFUGOS
4 AÑO BASE 1976	(20)	-BHP -PRESION DE DESCARGA	-AC.AL CARBON	-EL COSTO INCLUYE ACCESORIOS E INSTRUMENTACION	-NO HACE CORRECCION POR OTROS MATERIALES

### 3.1.1 Compresores centrifugos.

La determinación del costo de compresores centrifugos incluye el costo de la unidad motriz, ya sea motor eléctrico o turbina.

Para determinar el costo de un compresor con turbina se emplea la ecuación (3.1), esta es aplicable para valores de BHP mayores de 100 y menores de 3000.

$$\text{costo base} = 569.55 (\text{BHP})^{(0.9271641)} \quad (3.1)$$

Para compresores con motor eléctrico es aplicable la ecuación (3.2) valida para valores de BHP mayores de 100 y menores de 4000.

$$\text{costo base} = 704.8329854 (\text{BHP})^{(0.86956032)} \quad (3.2)$$

### 3.1.2 Compresores reciprocantes.

Para la determinación del costo de compresores reciprocantes se cuenta unicamente con los metodos uno y tres los cuales son resumidos en la tabla (3.1A).

De estos dos métodos se seleccionó el método número tres, debido a que, éste es más actual, el costo total incluye accesorios e instrumentación.

En los tipos de desplazamiento positivo, el más usado es el compresor recíprocante con capacidades mucho más bajas que los centrífugos pero con presión de descarga arriba de 6000 psi.

La siguiente ecuación es aplicable para estimar el costo de un compresor recíprocante, con turbina de gas, para valores de BHP mayores de 100 y menores de 2000.

$$\text{costo base} = 745.7402482 (\text{BHP})^{(0.9454506818)} \quad (3.3)$$

El costo de un compresor recíprocante con motor, para valores de BHP mayores de 100 y menores de 3000, se determina con la ecuación (3.4).

$$\text{costo base} = 719.2003537 (\text{BHP})^{(0.90213039)} \quad (3.4)$$

Para compresores con turbina de vapor, cuyos valores de BHP sean mayores de 100 y menores de 3500 se aplica la siguiente ecuación.

$$\text{costo base} = 282.30066 (\text{BHP})^{(1.0196862)} \quad (3.5)$$

donde BHP es la potencia del compresor centrífugo o recíprocante.

### 3.2 Bombas.

Para determinar el costo de bombas centrífugas se tienen siete métodos, cada uno de los cuales emplea diferentes parámetros de diseño. El método número uno emplea: flujo, presión de descarga, NPSH y tipo de bomba, éste hace corrección para doce materiales. El año base es 1979.

El método número dos determina el costo por medio de los parámetros, flujo y presión de descarga, para el material base. El año base es 1976.

El método número tres emplea cuatro parámetros de diseño los cuales son: flujo, NPSH, presión de succión y temperatura. El costo determinado por este método puede ser corregido para diez diferentes materiales de construcción, el año base es 1982.

El método número cuatro tiene como año base 1975, emplea los siguientes parámetros, para determinar el costo: flujo, caída de presión, temperatura y presión de succión. Por medio de éste se puede determinar el costo para cinco diferentes materiales de construcción.

El método número cinco hace corrección para diez materiales de construcción, el costo está en función de: flujo, caída de presión y presión de succión. El año base es 1968.

Los métodos seis y siete emplean el flujo como dato para determinar el costo, estos hacen corrección para uno y dos materiales con años base 1974 y 1984, respectivamente.

Los métodos se resumen en la tabla (3.2A).

TABLA (3.2A)

METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1 AÑO BASE 1979	(6)	-FLUJO -PRESION DE DESCARGA -NPSH -TIPO (VSC, HSC)	-AC. FUNDIDO -AC. INOX. 304 -AC. INOX. 316 -NIQUEL -MONEL -TITANIO -BRONCE -OTROS	-EMPLEA 12 MATERIALES	-EL COSTO NO INCLUYE EL MOTOR
2 AÑO BASE 1976	(20)	-FLUJO -PRESION DE DESCARGA	-AC. FORJADO PARA BOMBAS DISEÑADAS DE ACUERDO A LOS ESTANDARES DE API 316 -HIERRO DUCTIL -OTROS	-EL COSTO INCLUYE MOTOR Y ACCESORIOS -APLICA A BOMBAS DE MULTIEtapas	-EMPLEA DOS TIPOS DE MATERIAL
3 AÑO BASE 1982	(12)	-FLUJO -NPSH -PRESION DE SUCCION -TEMPERATURA	-AC. INOX. -BRONCE -AC. FUNDIDO -HIERRO FUNDIDO -MONEL -NIQUEL -TITANIO -HASTELLOY C -HASTELLOY B -ALEACION 20	-CONSIDERA 10 MATERIALES -INCLUYE EL COSTO DEL MOTOR	-APLICA A BOMBAS DE UNA ETAPA DE TIPO HORIZONTAL



CONTINUACION DE LA TABLA (3.2A)

METODO NO.	REF	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
4  AÑO BASE 1975	(35)	-FLUJO -CAIDA DE PRESION -TEMPERATURA -PRESION DE SUCCION	-AC. FORJADO -BRONCE -URANIO -HASTELLOY C -AC. FORJADO (INTERNOS DE AC. INOX. 316)	-CONSIDERA LA TEMPERATURA DE OPERACION -CONSIDERA LA CAIDA DE PRESION	-EMPLEA 5 MATERIALES
5  AÑO BASE 1968	(36)	-FLUJO -CAIDA DE PRESION -PRESION DE SUCCION	-HIERRO FUNDIDO -BRONCE -AC. INOX. -MONEL -NIGUEL -TITANIO -OTROS	-EMPLEA 10 MATERIALES -EL COSTO INCLUYE EL MOTOR	-----
6  AÑO BASE 1974	(13)	-FLUJO	-HIERRO FORJADO	-----	-EMPLEA UN MATERIAL -UNICAMENTE EMPLEA EL FLUJO
7  AÑO BASE 1984	(14)	-FLUJO	-AC. AL CARBON -AC. INOX.	-----	-EMPLEA 2 MATERIALES -UNICAMENTE EMPLEA EL FLUJO

### 3.2.1 bombas centrifugas.

De los siete métodos, resumidos en la tabla (3.2A), para determinar el costo de bombas centrifugas, se ha seleccionado el método número uno, debido a que, éste considera mayor número de datos de diseño como son: flujo en (GPM), presión de descarga, NPSH, tipo de bomba (vsc o hsc) y material de construcción, este método tiene como año base 1979.

Por medio de este método de estimación de costos de bombas centrifugas se puede obtener el costo correlacionando éste con el valor máximo del parámetro (S), tamaño, que puede ser manejado por una bomba, este parámetro es determinado por la ecuación (3.8).

El costo de una bomba es determinado por la ecuación (3.6). Correlacionando el costo base ( $C_B$ ) y factores de costo, por tipo de diseño ( $F_T$ ) y tipo de material ( $F_M$ ).

$$C_P = (C_B F_T F_M) + C_M \quad (3.6)$$

Los datos base son:

para un etapa, 3550 rpm, tipo vsc y material hierro fundido.

El costo base es determinado por medio de la ecuación (3.7).

$$C_B = \exp (8.3949 - 0.6019 (\ln S) + 0.0519 (\ln S)^2) \quad (3.7)$$

donde

$$S = Q \sqrt{H} \quad (3.8)$$

El factor de costo ( $F_T$ ), por tipo de bomba, está dado por la siguiente ecuación.

$$F_T = \exp (b_1 + b_2 (\ln S) + b_3 (\ln S)^2) \quad (3.9)$$

donde los términos  $b_1, b_2, b_3$  están dados en la tabla (3.2B).

TABLA (3.2B)

TIPO	$b_1$	$b_2$	$b_3$
una etapa, 1750 rpm, VSC	5.1029	-1.2217	0.0771
una etapa, 3550 rpm, HSC	0.0632	0.2744	-0.0253
una etapa, 1750 rpm, HSC	2.0290	-0.2371	0.0102
dos etapas, 3550 rpm, HSC	13.7321	-2.8304	0.1542
multietapa, 3550 rpm, HSC	9.8849	-1.6164	0.0834

Los factores por material de construcción ( $F_M$ ) están dados en la siguiente tabla.

TABLA (3.2C)

FACTORES DE COSTOS POR MATERIAL DE CONSTRUCCION

MATERIAL	FACTOR DE COSTO F <sub>M</sub>
ACERO FUNDIDO	1.35
ACERO INOXIDABLE 304	2.00
ACERO INOXIDABLE 316	2.00
ALOY FUNDIDO NO. 20	2.50
NIQUEL	3.50
MONEL	3.30
ISO B	4.95
ISO C	4.60
TITANIO	9.70
HASTELLOY C	2.95
BRONCE	1.90
HIERRO DUCTIL	1.15
ACCESORIOS DE 304 o 316	1.15

Este método provee la estimación de seis diferentes tipos de bombas centrífugas: de una, dos y multietapas, 1750 y 3550 rpm, de posición horizontal o vertical.

Los límites de capacidad, cabeza, y potencia, para cada tipo de bomba se indican en la tabla (3.2D).

TABLA (3.2D)

	FLUJO (gpm)		CABEZA (ft-lb <sub>f</sub> )/lb		HP
	límites		límites		límite
tipo	inf.	sup.	inf.	sup.	sup.
una etapa, 3550 rpm,VSC	50	900	50	400	75
una etapa, 1750 rpm,VSC	50	3500	50	200	200
una etapa, 3550 rpm,HSC	100	1500	100	450	150
una etapa, 1750 rpm,HSC	250	5000	50	500	250
dos etapas, 3550 rpm,HSC	50	1100	300	1100	250
multietapas, 3550 rpm,HSC	100	1500	650	3200	1450

Para el costo del motor ( $C_M$ ) ver sección (3.4).

### 3.2.2 Bombas reciprocantes.

Para determinar el costo de bombas reciprocantes se tienen los métodos resumidos en la tabla (3.2.2A). El método número uno emplea el flujo, para determinar el costo de la bomba, con corrección para cinco materiales de construcción, el año base es 1976. El método número dos emplea el flujo, caída de

presión y presión de succión como parámetros para determinar el costo de la bomba, éste está limitado a condiciones de operación de 150 psi y 250 °F, para el año base de 1968.

El método número tres emplea los parámetros de diseño, flujo, caída de presión y presión de succión. Este emplea cuatro materiales de construcción. El año base es 1975.

De los tres métodos mencionados anteriormente se seleccionó el método número tres, debido a que, éste emplea más parámetros de diseño y el año base es más reciente.

TABLA (3.2.2A)

METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE BOMBAS RECIPROCANTES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1 AÑO BASE 1976	(20)	-FLUJO	-AC. INOX. -BRONCE-ALU- MINIO -NIGUEL -MOWEL -HIERRO	-----	-SOLO CON- SIDERA UN PARAMETRO DE DISEÑO
2 AÑO BASE 1968	(36)	-CAIDA DE PRESION -FLUJO -PRESION DE SUCCION	-HIERRO FORJADO -BRONCE -AC. FORJADO -AC. INOX.	-EMPLEA 3 PARA- METROS	-EL COSTO BASE LIMI- TA A 250 GRAD.F. Y 150 PSI (CONDICIO- NES DE OPERACION)
3 AÑO BASE 1975	(35)	-FLUJO -CAIDA DE PRESION -PRESION DE SUCCION	-HIERRO FUNDIDO -AC. FUNDIDO -AC. INOX. 304 -AC. INOX. 316	-ES MAS ACTUAL QUE EL METODO NO. 2	-NO CONSI- DERA FAC- TOR POR TEMPERATU- RA

### Método de cálculo.

Usando las ecuaciones (3.11) y (3.13) se obtiene el costo de bombas reciprocantes para dos rangos de presión, como una función de la potencia hidráulica.

Estas ecuaciones corresponden a bombas duplex construidas en hierro fundido, con regulación manual, para una presión de succión de menos de 20 bar, las ecuaciones pueden ser modificadas de acuerdo a lo siguiente:

- Cantidad de cilindros.
- Tipo de regulación.
- Sistema de lubricación.
- Material de construcción.
- Presión de descarga.

El costo total corregido, no incluye el costo del motor. El costo en otro material diferente a hierro fundido es determinado por la siguiente ecuación.

$$C_T = (\text{costo base}) (f_p) (f_m) \quad (3.10)$$

Los factores  $(f_m)$  y  $(f_p)$  son mostrados en la tabla (3.2.2B) y (3.2.2C), respectivamente.

TABLA (3.2.2B)

FACTORES DE CORRECCION POR MATERIAL DE CONSTRUCCION

MATERIAL	FACTOR $f_m$
HIERRO FUNDIDO	1.00
CAUCHO CUBIERTO DE HIERRO FUNDIDO	1.15
ACERO FUNDIDO	1.10
ACERO INOXIDABLE 304	1.30
ACERO INOXIDABLE 316	1.50

TABLA (3.2.2C)

FACTORES DE CORRECCION POR PRESSION DE SUCCION

PRESSION DE SUCCION (BAR)	FACTOR $f_p$
menor a 20	1.0
20 - 40	1.3
40 - 70	1.5

Para la estimación del costo base, para una caída de presión mayor de 100 bar, se emplea la ecuación (3.11).

$$\text{costo base} = 172.9589066 (\text{NPS}) + 4972.8282 \quad (3.11)$$

donde:

$$\text{NPS} = \Delta P (\text{flujo}) \quad (3.12)$$



Para valores de (NPS) dentro del rango (4 - 400) (bar)(m<sup>3</sup>/h).

Cuando la caída de presión menor de 100 bar se aplica la ecuación (3.13).

$$\text{costo base} = 68.3773 (\text{NPS}) + 464.4220 \quad (3.13)$$

Para valores de NPS dentro del rango (1 - 1000) (bar)(m<sup>3</sup>/h).

#### NOMENCLATURA

C<sub>T</sub>: costo total actual, bomba reciprocante.

C<sub>B</sub>: costo base en dolares, bomba centrífuga.

C<sub>M</sub>: costo del motor, bomba centrífuga.

C<sub>S</sub>: costo de la bomba centrífuga.

F<sub>T</sub>: factor de costo por tipo de diseño, bomba centrífuga.

F<sub>M</sub>: factor de corrección por tipo de material, bomba centrífuga.

H: cabeza de la bomba, (ft-lb<sub>f</sub>)/lb, centrífuga.

NPS: cabeza de la bomba, (bar)(m<sup>3</sup>/h), reciprocante.

Q: flujo, gal/min., bomba centrífuga.

S: tamaño de la bomba, centrífuga.

b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>: factores por tipo de diseño, bomba centrífuga.

f<sub>m</sub>: factor de corrección por material de construcción, bomba reciprocante.

f<sub>p</sub>: factor de corrección por presión de succión, bomba reciprocante.

### 3.3 EYECTORES DE VAPOR.

En la tabla (3.3A) se presentan los métodos de estimación de costos de eyectores de vapor. El método número uno considera los parámetros de diseño, capacidad y presión de succión, este método emplea dos materiales de construcción, hierro fundido para el cuerpo y acero inoxidable para las boquillas, el método no considera el número de etapas del eyector, el año base es 1975.

El método número dos emplea tres parámetros de diseño, capacidad, presión de succión y número de etapas, para este método se cuenta con tres materiales de construcción, el año base es 1976.

De los dos métodos mencionados anteriormente se ha seleccionado el método número dos, debido a que, este es más actual y considera el número de etapas del eyector.

También cuenta con corrección para tres materiales de construcción.

Para el cálculo del costo se requiere la siguiente información:

- material (acero al carbon, acero inoxidable o hastelloy).
- número y tipo de condensadores (uno o dos), de superficie o barométrico.
- número de etapas (hasta 5 etapas).
- factor de medida, (lb/h), de aire/presión de succión, en mmHg.

TABLA (3.3A)  
METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE EYECTORES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1975	(35)	-CAPACIDAD -PRESION DE SUCCION	-AC. INOX. (BOQUILLAS) -HIERRO FUN- DIDO (CUER- PO)	-----	-NO CONSI- DERA NO.DE ETAPAS
2  AÑO BASE 1976	(20)	-CAPACIDAD -PRESION DE SUCCION -NUMERO DE ETAPAS	-AC. INOX. -AC.AL CARBON -HASTELLOY	-CONSIDERA NUMERO DE ETAPAS	-----

Método de cálculo.

El costo corregido del eyector es determinado por la ecuación (3.14), donde el costo base (PBE) se calcula con la ecuación (3.15), ésta es función del factor de medida (FM).

$$CB = PBE (F_1) (F_2) (F_3) \quad (3.14)$$

$$PBE = 630.586 5863723 (FM) (0.4131766146) \quad (3.15)$$

Esta ecuación (3.15) es aplicable para un rango de (0.1 - 100), para valores de (FM). los factores  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  se obtienen de las tablas (3.3B), (3.3C) y (3.3D), respectivamente.

TABLA (3.3B)

FACTORES POR NUMERO Y TIPO DE CONDENSADORES

NUMERO Y TIPO DE CONDENSADORES	FACTOR $F_1$
SIN CONDENSADORES	1.0
1 CONDENSADOR DE SUPERFICIE	2.3
2 CONDENSADORES DE SUPERFICIE	1.6
1 CONDENSADOR BAROMETRICO	1.7
2 CONDENSADORES BAROMETRICOS	1.9

TABLA (3.3C)

FACTORES POR NUMERO DE ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	FACTOR $F_2$
UNA	1.0
DOS	1.8
TRES	2.1
CUATRO	2.5
CINCO	4.0

TABLA (3.3D)

FACTORES POR TIPO DE MATERIAL

MATERIAL	FACTOR $F_3$
ACERO AL CARBON	1.0
ACERO INOXIDABLE	2.0
HASTELLOY	3.0

## NOMENCLATURA

FM: factor de medida.

$F_1$ : factor por número y tipo de condensadores.

$F_2$ : factor por número de etapas.

$F_3$ : factor por material.

PBE: costo base.

### 3.4 Motores Eléctricos.

En la tabla (3.4A) se resumen los métodos de estimación de costos de motores eléctricos.

El método número uno emplea los parámetros de diseño, potencia, velocidad y tipo de motor. El año base es 1979.

El método número dos emplea únicamente la velocidad y la potencia como parámetros, no considera el tipo de motor, el año base es 1975.

De los métodos descritos anteriormente se seleccionó el método número uno, debido a que, éste es más actual y considera el tipo de motor.

TABLA (3. 4A)

MÉTODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE MOTORES ELECTRICOS

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1 AÑO BASE 1979	(6)	-POTENCIA -VELOCIDAD -TIPO DE MOTOR	-----	-CONSIDERA EL TIPO DE MOTOR	-----
2 AÑO BASE 1975	(35)	-POTENCIA -VELOCIDAD	-----	-----	-NO CONSI- DERA TIPO DE MOTOR

Método de cálculo.

El costo de motores eléctricos es correlacionado con el tamaño nominal del motor y con una potencia de (1 HP = 745 watts). La correlación y los coeficientes enlistados en la tabla (3.4B) son para tres tipos de motores y tres velocidades: 3600, 1800 y 1200 rpm.

El costo del motor se determina por medio de la ecuación (3.16), para un motor de voltaje estandar de 60 Hz.

$$C_M = \exp (a_1 + a_2 (\ln P) + a_3 (\ln P)^2) \quad (3.16)$$

TABLA (3.4B)

COEFICIENTES POR TIPO DE MOTOR  
 motor a prueba de goteo abierta

VELOCIDAD	COEFICIENTES			
rpm	$a_1$	$a_2$	$a_3$	limites HP
3600	4.8314	0.09666	0.10960	1 - 7.5
	4.1514	0.53470	0.05252	7.5 - 250
	4.2432	1.03251	-0.03595	250 - 700
1800	4.7075	-0.01511	0.22888	1 - 7.5
	4.5215	0.47242	0.04820	7.5 - 250
	7.4044	-0.06464	0.05448	250 - 600
1200	4.9298	0.30118	0.12630	1 - 7.5
	5.0999	0.35861	0.06052	7.5 - 250
	4.6163	0.88531	-0.02188	250 - 500
motor totalmente encerrado (con ventilador para enfriar)				
3600	5.1058	0.03316	0.15374	1 - 7.5
	3.8544	0.83311	0.02399	7.5 - 250
	5.3182	1.08470	-0.05695	250 - 400
1800	4.9687	-0.00930	0.22616	7.5 - 250
	4.5347	0.57065	0.04609	-- --
1200	5.1532	0.28931	0.14357	1 - 7.5
	5.3858	0.31004	0.07406	7.5 - 350



CONTINUACION DE LA TABLA (3.4B)

motor a prueba de explosión				
rpm	$a_1$	$a_2$	$a_3$	limites HP
3600	5.3934	-0.00333	0.15475	1 - 7.5
	4.4442	0.60820	0.05202	7.5 - 200
1800	5.2851	0.00048	0.19949	1 - 7.5
	4.8178	0.51086	0.05293	7.5 - 250
1200	5.4166	0.31216	0.10573	1 - 7.5
	5.5655	0.31284	0.07212	7.5 - 200

NOMENCLATURA

$C_M$ : costo base del motor.

P: potencia en HP.

$a_1, a_2, a_3$ : coeficientes por tipo de motor.

#### IV. RECIPIENTES.

En esta sección se analizan los métodos de estimación de costos de: recipientes a presión, tanques de almacenamiento, internos de recipientes y columnas de absorción.

Para recipientes a presión se tienen cinco métodos de estimación de costos, tres métodos para tanques de almacenamiento, uno para internos de recipientes y uno para columnas de absorción.

Haciendo un análisis de cada uno de los métodos, por equipo, se seleccionará el método más adecuado para determinar el costo de cada equipo.

#### 4.1 Recipientes a presión.

Para determinar el costo de recipientes a presión se tienen cinco métodos, tabla (4.1A).

Para determinar el costo utilizando el método número uno son necesarios los siguientes parámetros: diámetro, longitud, presión de diseño, peso de la coraza y tipo de recipiente.

Este método cuenta con ocho materiales de construcción, el año base es 1979. En caso de que se desconozca el peso del recipiente, éste parámetro se determina por el mismo método de cálculo.

El método número dos emplea los parámetros: diámetro, longitud, espesor, corrosión permisible, posición del recipiente, peso del recipiente, densidad del material, esfuerzo permisible. Este método emplea únicamente acero al carbón como material de construcción, el año base para este método es 1976.

El método número tres emplea los siguientes parámetros, para determinar el costo de los recipientes: presión de operación, esfuerzo permisible, diámetro, temperatura de operación, área de las tapas, longitud y peso. Este método emplea ocho materiales de construcción, el cual emplea como material base acero templado y un año base de 1975.

El método número cuatro emplea los siguientes parámetros: volumen, posición y espesor del material, hace corrección por material de construcción únicamente para tres tipos de material, y tiene como año base 1982.

Por último el método número cinco solo emplea dos parámetros de diseño: capacidad y tipo de tapas, éste hace corrección para un material de construcción y tiene como año base 1971.

TABLA (4.1A)

METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE RECIPIENTES A PRESION

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1979	(17)	-DIAMETRO -LONGITUD -PRESION DE DISEÑO -PESO DE LA CORAZA -TIPO DE RECIPIEN- TE	-AC.AL CARBON -AC.INOX. 304 -AC.INOX. 316 -NIQUEL 200 -MONEL 400 -INCONEL 600 -TITANIO -INCOLOY 825 -CARPENTER	-MANEJA 9 MATERIA- LES DE CONSTRU- -CCION, ES APLICABLE CUANDO SE CONO- CE O NO EL PESO DEL RECI- PIENTE	-----
2  AÑO BASE 1976	(20)	-DIAMETRO -LONGITUD -ESPEJOR -PESO DEL RECIPIEN- TE -DENSIDAD DEL MATE- RIAL -ESFUERZO PERMISI- BLE -FACTOR DE CORROSION -TIPO DE RECIPIEN TE	-AC.AL CARBON	-MANEJA 8 PARAME- TROS DE DISEÑO	-EMPLEA UN MATE- RIAL DE CONSTRU- CCION

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CONTINUACION TABLA (4.1A)

METODO NO.	REF	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
3  AÑO BASE 1975	(35)	-PRESION DE OPERACION -ESFUERZO PERMISIBLE -DIAMETRO -TEMPERATURA DE OPERACION -AREA DE LAS TAPAS -LONGITUD -PESO -FACTOR DE RECUBRIMIENTO	-INCONEL 600 -INCONEL 625 -HASTELLOY G -MONEL -URANIO B6 -URANIO 50	-MANEJA 8 PARAMETROS DE DISEÑO -SE PUEDE INCLUIR EL COSTO DE INTERESES	-NO INDICA COMO CALCULAR EL PESO DE LA CORAZA EN CASO DE QUE NO SE CONOZCA
4  AÑO BASE 1982	(12)	-VOLUMEN -POSICION -ESPESOR DEL MATERIAL	-AC. INOX. 304 -AC. INOX. 316 -FIBRA DE VIDRIO REFORZADO	-----	-SOLO UTILIZA 3 MATERIALES DE CONSTRUCCION
5  AÑO BASE 1971	(13)	-CAPACIDAD -TIPO DE CABEZAS	-AC. INOX. 304	-----	-NO TOMA EN CUENTA (LONGITUD, DIAMETRO, PESO)

De los métodos anteriores se ha seleccionado el número uno, debido a que éste maneja mayor número de materiales que los métodos: dos, cuatro y cinco. El método número tres maneja mayor número de materiales que el método uno, solo que, éste es más actual que el tres, otra ventaja que presenta el método número uno con respecto al tres, es que, indica como determinar el peso del recipiente, en caso de que éste se desconozca, además este método cuenta con ecuaciones para estimar otros parámetros como son: presiones y espesor.

Los costos de recipientes a presión, horizontales y verticales, se pueden obtener en un extenso rango de longitudes, diámetros, presiones de diseño y materiales de construcción. Este incluye: costos para la coraza del recipiente, boquillas, entradas hombre, faldones y escaleras. Pikulik y Díaz (20), presentan un método de estimación de costos que involucra la especificación de: número, tamaño de boquillas y entradas hombre, así como de los faldones y escaleras para recipientes verticales y horizontales. El costo de los recipientes es correlacionado en término de los parámetros de que más depende los cuales son: flujo, tiempos de residencia, velocidades de separación liq.-vap., etc.; esto es posible porque los datos de costos desarrollados son para recipientes que incluyen el número y tamaño estándar de boquillas y entradas hombre.

El costo de plataformas y escaleras es correlacionado, por separado, del costo de los recipientes. Las correlaciones para costos de recipientes, son igualmente válidas para el peso del recipiente (incluyendo accesorios) y para el peso del recipiente sin accesorios. La parte posterior es calculada suponiendo tapas

elípticas 2:1, sin considerar las boquillas, entradas hombre y soportes.

Si se desconoce el peso del recipiente este puede ser calculado directamente con: el diámetro, longitud tangente-tangente y presión de diseño del recipiente.

Los datos base para este método son:

-coraza de acero al carbón

-año base 1979.

Para determinar el costo total de un recipiente, ( $C_t$ ), construido en otro material, diferente a acero al carbón, se emplea la siguiente ecuación.

$$C_t = (C_b (F_M) + C_a) \quad (4.1)$$

La ecuación (4.2) determina el costo base ( $C_b$ ) en función del peso en un rango de (813 <  $W_b \leq 914,000$ ) libras.

$$C_b = \exp (8.271 - 0.23300 (\ln W_b) + 0.04333 (\ln W_b)^2) \quad (4.2)$$

El costo de plataformas y escaleras esta dado por la ecuación (4.3) ésta es válida para un rango de (3 - 12) pies de diámetro.

$$C_a = 1012.2 (D_b)^{0.20294} \quad (4.3)$$

Para determinar el costo base de recipientes verticales a

presión es aplicable la ecuación (4.4) en un intervalo de (4876 <  $W_b \leq 226,000$ ) libras.

$$C_b = (8.80 - .28885 (\ln W_b) + 0.04576 (\ln W_b)^2) \quad (4.4)$$

Para determinar el costo de plataformas y escaleras se aplica la ecuación (4.5) con el siguiente rango de aplicación para diámetro y longitud ( $6 < D_i \leq 10$ ), ( $12 < L_T \leq 20$ ) pies, respectivamente.

$$C_a = (182.5 (D_i)^{0.73960} (L_T)^{0.70684}) \quad (4.5)$$

El factor de costo por material de construcción ( $F_M$ ) es seleccionado de la tabla (4.1B).

TABLA (4.1B)

FACTOR POR MATERIAL DE CONSTRUCCION

MATERIAL	FACTOR $F_M$
ACERO INOXIDABLE 304	1.7
ACERO INOXIDABLE 316	2.1
CARPENTER 20 CB-3	3.2
NIQUEL 200	5.4
MONEL 400	3.6
INCONEL 600	3.9
INCOLOY 825	3.7
TITANIO	7.7
ACERO AL CARBON	1.0



Cálculo del peso de la coraza.

El peso de la coraza depende de: la densidad del material, diámetro, longitud tangente-tangente y espesor de la pared. El espesor está en función de: la presión de diseño, diámetro, longitud y fuerza de tensión o del coeficiente de elasticidad del material de construcción. Para recipientes verticales el espesor requerido debe ser tomado dentro de las consideraciones, esto es de particular importancia en el cálculo del peso de la coraza para torres.

El peso de la coraza es calculado por la siguiente ecuación.

$$W_a = \pi D_i (L_T + 0.8116 (D_i) (T_s) (C) \quad (4.6)$$

Espesor de la pared para presión interna.

El espesor por presión interna se determina por la ec. (4.7)

$$T_p = P_g (R) / (S (E) - 0.6 (P_g)) \quad (4.7)$$

La máxima tensión tolerable (S) es una propiedad específica del material de construcción; si éste material es acero al carbón, se deducen dos diferentes cualidades dependiendo del espesor requerido.

Para una pared de espesor mayor de 2 pulgadas se selecciona el acero de bajo grado SA-515-65, para espesores de 1.25 pulg. la eficiencia por soldadura (E) es de 1.85, término empleado en la ecuación (4.7). Espesores mayores de 1.25 pulgadas, para otros materiales de construcción, la eficiencia por soldadura es de 1.0.

Espesor de pared para recipientes.

La ecuación (4.8) para la presión máxima ( $P_c$ ) está en función del espesor del recipiente.

$$P_c = \frac{2.6 (T_e/D_o)^{2.5} (K_M)}{(L_T/D_o) - 0.45 (T_e/D_o)^{0.5}} \quad (4.8)$$

El espesor ( $T_e$ ) para resistir la presión externa, será cinco veces la diferencia entre la presión de diseño del recipiente (presión a vacío) y la presión externa.

la siguiente correlación, para el espesor, está en función de ( $T_e$ ), ( $L_T$ ) y ( $D_o$ ) en metros.

$$(T_e)_c = L_T (7.1095 (D_o) - 2.167) (10^{-3}) - 4.826 (10^{-3}) \quad (4.9)$$

cuando  $L_T$  y  $D_o$  están en pulgadas:

$$(T_e)_c = L_T (0.18058 (D_o) - 2.167 (10^{-3}) - 0.190) \quad (4.10)$$

El espesor requerido para resistir la presión externa está dado por la ecuación (4.11).

$$T_p = T_e + (T_e)_c \quad (4.11)$$

Espesor por carga de viento.

Con  $T_e$ ,  $D_o$  y  $L_T$  en metros y las otras variables en unidades consistentes SI, incluyendo el esfuerzo máximo permisible ( $S$ ) en pascales, el espesor de la pared es calculado por la ec. (4.12).

$$T_v = \frac{P_c (V)^2 (D_o + Z) (T_L)^2}{(S \pi D_o^2)} \quad (4.12)$$

El espesor requerido para resistir la presión interna está dado por la ecuación siguiente.

$$T_g = \frac{P_g (R)}{(2 S E + 0.4 P_g)} \quad (4.13)$$

El espesor de los fondos de un recipiente vertical está dado por la siguiente ecuación.

$$T_b = T_v + T_g \quad (4.14)$$

Los espesores para calcular el peso de la coraza es el promedio del espesor de la parte superior y de los fondos, más el factor por corrosión.

El cálculo del espesor de la pared está dado por las ecuaciones (4.15) y (4.16), para recipientes horizontales y verticales respectivamente.

$$T_p = T_p + T_c \quad (4.15)$$

$$T_p = \frac{1}{2} (T_p + T_b) + T_c \quad (4.16)$$

El espesor final es redondeado al valor entero más próximo de los siguientes (en pulgadas).

ESPESOR	INCREMENTO DE REDONDEO
1.0	1/32
2.0	1/16
3.0	1/8
> a 3.0	1/4

#### NOMENCLATURA

- $C_a$ : costo de plataformas y escaleras.  
 $C_b$ : costo base del recipiente en acero al carbón.  
 $C_t$ : costo total.  
 $D$ : diámetro, en pies.  
 $D_o$ : diámetro externo, en pulgadas.  
 $E$ : eficiencia por soldadura.  
 $E_M$ : módulo de elasticidad.  
 $F_M$ : factor de costo por material de construcción.  
 $L_T$ : longitud tangente-tangente, en pies.  
 $P_c$ : presión máxima permisible.  
 $P_g$ : presión de diseño (psig).  
 $R$ : radio interno del recipiente (pulgadas).  
 $S$ : esfuerzo máximo permisible (psi).  
 $T_b$ : espesor de los fondos de un recipiente vertical (pulg).  
 $T_e$ : espesor para resistir la presión externa (pulg).  
 $(T_e)_c$ : espesor corregido.  
 $T_g$ : espesor requerido para resistir la presión interna (pulg).

$T_p$ : espesor de la pared para presión interna (pulgadas).

$T_s$ : espesor de la pared calculado en pulgadas.

$T_v$ : espesor de la pared.

$V$ : velocidad del viento (m/seg).

$W_s$ : peso de la coraza en libras.

$\rho$ : densidad del material en (lb/pulg<sup>3</sup>).

$\rho_a$ : densidad del aire.

#### 4.2 Tanques de almacenamiento.

Para determinar el costo de tanques de almacenamiento se tienen tres métodos éstos son resumidos en la tabla (4.2A).

De éstos tres métodos se hace una comparación en cuanto a número de parámetros de diseño que maneja cada uno, número de materiales de construcción y año base.

El primer método emplea como parámetro de diseño el volumen, éste tiene corrección por material de construcción para quince diferentes materiales para el año base de 1979.

El método número dos determina el costo del tanque únicamente por medio de la capacidad y utiliza tres materiales de construcción el cual tiene como año base 1982.

Por medio del método tres es posible determinar el costo empleando como parámetros de diseño: diámetro y altura, éste hace el cálculo únicamente en acero al carbón con año base 1976.

De los métodos descritos anteriormente se selecciono el método número uno ;debido a que, éste método emplea quince materiales de construcción.

TABLA (4.2A)

METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1979	(5)	-CAPACIDAD	-AC. INOX. 316 -AC. INOX. 304 -AC. INOX. 347 -NIQUEL -MONEL -TITANIO -ZIRCONIO	-CONSIDERA QUINCE MATERIALES DE CONSTRUCCION  -CONSIDERA SI EL TANQUE ES ARMADO EN CAMPO O NO	-----
2  AÑO BASE 1982	(12)	-CAPACIDAD	-AC. INOX. 316 -AC. INOX. 304 -AC. INOX.	-----	-EMPLEA 3 MATERIALES -NO ESPECIFICA EL MATERIAL BASE
3  AÑO BASE 1976	(20)	-DIAMETRO -ALTURA	-AC. AL CARBON	-----	-NO HACE CORRECCION POR OTROS MATERIALES

Método de cálculo.

El costo de tanques de almacenamiento ( $C_T$ ) es determinado por:

$$C_T = C_B (F_M) \quad (4.17)$$

Las correlaciones para el costo base ( $C_B$ ) están dadas en el sistema inglés de unidades. Son dadas dos correlaciones, una para estimar el costo de construcción en un taller de fabricación de tanques y otra para determinar el costo si el tanque es construido en campo.

El costo base en acero al carbón, para tanques fabricados en taller, se determina por la ecuación (4.18) aplicable en un rango de (1300 - 21000) galones.

$$C_B = \exp (2.331 + 1.3673 (\ln V) - 0.063088 (\ln V)^2) \quad (4.18)$$

El costo base para tanques en acero al carbón, armados en campo, se determina por la ecuación (4.19) válida para un rango de (21000 - 11,000,000) galones de capacidad.

$$C_B = \exp (11.362 - 0.6104 (\ln V) + 0.045355 (\ln V)^2) \quad (4.19)$$

En la tabla siguiente se muestra el factor ( $F_M$ ).



TABLA (4.2B)

FACTORES DE COSTO POR MATERIAL DE CONSTRUCCION

MATERIAL	FACTOR $F_M$
ACERO AL CARBON	1.0
ACERO INOXIDABLE 316	2.7
ACERO INOXIDABLE 304	2.4
ACERO INOXIDABLE 347	3.0
NIQUEL	3.5
MONEL	3.3
INCONEL	3.8
ZIRCONIO	11.0
TITANIO	11.0
LADRILLO Y CAUCHO O LADRILLO Y	
POLIESTER CUBIERTO DE ACERO	2.75
LADRILLO O PLOMO CUBIERTO DE	
ACERO	1.9
POLIESTER, FIBRA DE VIDRIO	
REFORZADO	0.32
ALUMINIO	2.7
COBRE	2.3
CONCRETO	0.55

Del procedimiento de estimación del costo se omiten el número y tamaño de boquillas y entradas hombre.

Estos detalles causan variaciones en el costo de tanques, que usualmente está dentro de la exactitud del estimado preliminar. El costo de la construcción en campo incluye los costos de plataformas y escaleras, pero no de los cimientos y la instalación de otros materiales (tubería, instrumentación, etc.).

El costo de la construcción, en taller de fabricación, no incluye ninguno de los materiales de instalación.

#### NOMENCLATURA

$C_T$  : costo total.

$C_B$  : costo base.

$F_M$  : factor de corrección por material de construcción

$V$  : capacidad en galones.

#### 4.3 Internos de recipientes.

Para determinar el costo de internos de recipientes (platos) se tiene un método el cual emplea como parámetros de diseño: tipo de plato, diámetro, número de platos por recipiente, material de construcción y año base 1979, tabla (4.3A).

Las correlaciones para el costo base de platos tipo válvula están hechas en base a acero al carbón, en función del diámetro de la torre.

Las correlaciones son desarrolladas en base a datos de costos de platos de un paso tipo armadura, de lastre removible.

Los datos base para determinar el costo son:

- tipo válvula.
- acero al carbón.

El costo total estimado de una torre de platos ( $C_t$ ) es calculado por la siguiente ecuación, en la cual el término ( $N_T$ ) representa el número de platos requerido.

$$C_t = C_b (F_M) + N_T (C_{bt}) (F_{TM}) (F_{TT}) (F_{NT}) + C_{PL} \quad (4.20)$$

donde el costo de la columna ( $C_b$ ) y el costo por plataformas y escaleras ( $C_{PL}$ ) se determinan en la sección (4.1).

El costo del plato tipo válvula, en acero al carbón, se puede determinar por la ecuación (4.21), con un rango de aplicación de (2 - 16) pies de diámetro.

$$C_{bt} = 278.38 \exp (0.1739 (D)) \quad (4.21)$$

El factor de costo por material de construcción ( $F_{TM}$ ) para acero inoxidable 304 se determina por la ecuación (4.22).

$$F_{TM} = 1.189 + 0.0577 (D) \quad (4.22)$$

Para determinar el costo en acero inoxidable 316 el factor ( $F_{TM}$ ) se define como:

$$F_{TM} = 1.401 + 0.0724 (D) \quad (4.23)$$

Para carpenter 20CB-3 se tiene la ecuación (4.24).

$$F_{TM} = 1.525 + 0.0788 (D) \quad (4.24)$$

Para determinar el costo en monel, el factor ( $F_{TM}$ ) se determina por la siguiente ecuación.

$$F_{TM} = 2.306 + 0.1120 (D) \quad (4.25)$$

El factor de costo por tipo de plato ( $F_{TT}$ ) se obtiene de la tabla (4.3B).

TABLA (4.3A)  
METODO PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE INTERNOS DE RECIPIENTES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	COMENTARIOS	DESVENTAJAS
1 AÑO BASE 1979	(18)	-TIPO DE PLATO -DIAMETRO -NO. DE PLATOS	-AC. AL CARBON -AC. INOX. 316 -AC. INOX. 304 -CARPENTER 20CB-3 -MONEL	APLICA PARA CUATRO TIPOS DE PLATOS	-----

TABLA (4.3B)  
 FACTOR DE COSTO POR TIPO DE PLATO

TIPO DE PLATO	FACTOR $F_{TT}$
VALVULA	1.00
REGILLA	0.80
CAPSULA	1.59
TANIZ	0.85

Si un diseño está dado para menos de 20 platos el factor por número de platos ( $F_{NT}$ ) es calculado por medio de la siguiente ecuación.

$$F_{NT} = 2.25 / (1.0414)^{NT} \quad (4.26)$$

Para un número de platos mayor de 20  $F_{NT} = 1.0$

## NOMENCLATURA

- $C_b$ : costo base para la torre en acero al carbón.
- $C_{bt}$ : costo base del plato tipo válvula en acero al carbón.
- $C_{PL}$ : costo por plataformas y escaleras.
- $F_M$ : factor de corrección por tipo de material de la torre.
- $F_{NT}$ : factor de costo por número de platos.
- $F_{TM}$ : factor de costo por tipo de material de construcción para el plato.
- $F_{TT}$ : factor de costo por tipo de plato.
- $N_T$ : número de platos.

#### 4.4 Columnas de absorción.

Para determinar el costo de columnas de absorción se tiene un método, tabla (4.4A). Este método emplea los siguientes parámetros de diseño: altura del empaque, diámetro interno de la coraza, longitud, peso de la coraza, material de construcción y año base 1979.

La estimación del costo del empaque en una torre está basado en: el volumen requerido de empaque y costo por unidad de volumen. El costo total estimado de una torre empacada es determinado por:

$$C_t = C_b (F_m) + (\pi D_i^2 / 4) H_p C_p + C_{pl} \quad (4.27)$$

Correcciones para el costo de torres de absorción.

El costo de la coraza para una columna de absorción se determina por medio de la ecuación (4.28) válida para un intervalo de (4250 - 980,000) libras.

$$C_b = \exp (6.329 + 0.18255 (\ln W_g) + 0.02297 (\ln W_g)^2) \quad (4.28)$$

Para plataformas y escaleras se determina el costo por la ecuación (4.29), aplicable en los siguientes rangos de diámetro y longitud (3 - 21) pies, (21 - 40) pies, respectivamente.

$$C_{pl} = 182.50 D_i^{(0.73960)} L_t^{(0.70684)} \quad (4.29)$$

TABLA (4.4A)

METODO PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE COLUMNAS DE ABSORCION

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	COMENTARIOS	DESVENTAJAS
1	(18)	-ALTURA DEL EMPAQUE -DIAMETRO -LONGITUD -PRESO DE LA CORAZA	-AC. INOX.304 -AC. INOX.316 -NIGUEL 200 -MONEL 400 -TITANIO -CARPENTER -INCONEL 600 -INCOLOY 825	-CONSIDERA -OCHO MATE RIALES DE CONSTRU-- CCION	-NO CALCULA EL PESO DE LA CORAZA
AÑO BASE 1979					

Los factores de costo por material de construcción ( $F_m$ ) son mostrados en la tabla (4.1B) (ver sección 4.1).

El factor de costo por unidad de volumen para el tipo de empaque se muestra en la tabla (4.4B).



TABLA (4.4B)

FACTORES DE COSTO DEL EMPAQUE DE LA COLUMNA POR UNIDAD  
DE VOLUMEN

TIPO DE EMPAQUE	FACTOR $C_p$ \$ /ft <sup>3</sup>
ANILLOS RASHING DE CERAMICA 1 in	14.5
ANILLOS RASHING DE METAL 1 in	23.9
SILLETAS INTALOX 1 in	14.5
ANILLOS RASHING DE CERAMICA 1 in	10.1
ANILLOS RASHING DE METAL 2 in	17.0
ANILLOS PALL DE METAL 1 in	23.9
SILLETAS INTALOX 2 in	10.1
ANILLOS PALL DE METAL 2 in	17.0

## NOMENCLATURA

$C_b$ : costo base de la columna en acero al carbón.

$C_p$ : costo del empaque por unidad de volumen.

$C_{pl}$ : costo de plataformas y escaleras.

$D_i$ : diámetro interno, en pies.

$F_m$ : factor de costo por material de construcción en acero al carbón.

$H_p$ : altura del empaque, en pies.

$L_t$ : longitud tangente-tangente, en pies.

$W_s$ : peso de la coraza, en libras.

## V. EQUIPOS QUE INVOLUCRAN MANEJO DE SOLIDOS.

En este capítulo se analizan los métodos de estimación de costos de: cristalizadores (sembrados, de tubo de corriente de aire, con circulación externa forzada y cristalizadores batch a vacío), molinos (de bolas, cónicos, pulverizador, de quijadas, giratorios y de martillo), transportadores (de banda, de rosca y de balde elevador) y tamices vibratorios.

Para cada uno de éstos equipos se tiene un método de estimación de costo, excepto para transportadores para los cuales se tienen dos métodos.

Al determinar el costo de un cristizador por medio del método aquí empleado se requieren los siguientes datos: capacidad, tipo de cristizador, tipo de partícula y material de construcción.

Si se requiere determinar el costo de un molino, con el empleo de este método, son necesarios los siguientes datos: capacidad y tipo de molino.

En cuanto a transportadores se refiere, se cuenta con dos métodos para la estimación del costo. Para emplear el primer método se requiere el siguiente dato: longitud del transportador. Para el método número dos se necesitan los siguientes datos: ancho de la banda, longitud, altura, tipo de transportador, velocidad y densidad del producto.

El método para determinar el costo de tamices puede ser empleado si se tienen los siguientes datos: superficie del tamiz y número de etapas.

### 5.1 Cristalizadores.

Para determinar el costo de cristalizadores se tiene un método el cual se resume en la tabla (5.1A).

Este método emplea los siguientes parámetros de diseño: capacidad, tipo de cristalizador. El año base es 1975.

El costo base asume: construcción en acero al carbón, tamaño del producto 90% mayor de 16 MESH, para cristalizadores sembrados, y 90% mayor de 20 MESH, para cristalizadores con circulación externa.

TABLA (5.1A)

METODO PARA ESTIMAR EL COSTO DE CRISTALIZADORES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
(1) AÑO BASE 1975	(35)	-CAPACIDAD -TIPO DE CRISTALIZADOR -TIPO DE PARTICULA	-ACERO -ACERO FORJADO -AC. INOX. 304

### Método de cálculo.

#### Cristalizador sembrado.

Para el cálculo del costo base, del cristalizador sembrado, se tiene la siguiente ecuación, válida para un rango de

$0.7 < CC1 < 40 \text{ ton/h.}$

$$PBCS = (227834.7365(CC1^{0.6025777}))FCCS \quad (5.1)$$

donde el factor de corrección, (FCCS), se obtiene de la tabla (5.1B).

#### Cristalizador batch a vacío.

El costo base se calcula con la siguiente ecuación, aplicable en el rango de  $1.5 < CC2 < 30 \text{ ton/h.}$

$$PBCB = (25317.27447(CC2^{0.456927})FCCB) \quad (5.2)$$

el factor de corrección (FCCB) se obtiene de la tabla (5.1C).

#### Cristalizador con tubo de corriente de aire.

El costo se obtiene de la siguiente ecuación, válida para un rango de capacidad de:  $0.7 < CC3 < 30 \text{ ton/h.}$

$$PBCT = 165167.7455(CC3^{0.571856}) \quad (5.3)$$

Cristalizador con circulación externa forzada.

Las ecuaciones de costo base son las siguientes:

para un rango de  $6 < CC4 < 50$  ton/h se aplica la ec. (5.4)

$$PBCC = (100625.0461 (CC4^{0.486133}) FCCB) \quad (5.4)$$

para un rango de  $50 < CC4 < 500$  ton/h se aplica la siguiente ecuación.

$$PBCC = (69518.67896 (CC4^{0.674192}) FCCB) \quad (5.5)$$

El factor (CCB) se obtiene de la tabla (5.1C).

TABLA (5.1B)

TAMAÑO DE PARTICULA	FACTOR FCCS
90% DEL PRODUCTO MAYOR DE 16 MESH	1.00
90% DEL PRODUCTO MAYOR DE 20 MESH	0.90
90% DEL PRODUCTO MAYOR DE 30 MESH	0.75

TABLA (5.1C)

MATERIAL	FACTOR FCCB
ACERO AL CARBON	1.0
ACERO FORJADO	1.0
ACERO INOXIDABLE 304	2.5

## NOMENCLATURA

- CC1: capacidad del cristalizador sembrado, en ton/h.
- CC2: capacidad del cristalizador batch, en ton/h.
- CC3: capacidad del cristalizador con tubo de corriente de aire,  
, en ton/h.
- CC4: capacidad del cristalizador con circulación externa forzada  
, en ton/h.
- FCCS: factor de corrección por tamaño de partícula.
- FCCB: factor de corrección por material.
- PBCS: costo base, cristalizador sembrado.
- PBCB: costo base, cristalizador batch a vacío.
- PBCT: costo base, cristalizador con tubo con corriente de aire.
- PBCC: costo base, cristalizador con circulación externa forzada.

## 5.2 Molinos.

Para determinar el costo de molinos se tiene únicamente el método resumido en la tabla (5.2A). Este método emplea los siguientes parámetros de diseño: capacidad y tipo de molino, para un año base de 1975.

El costo base considera construcción en acero. Los tipos de molinos que este método calcula son: de bolas, cónico, pulverizador, de quijada, giratorio y de martillo.

TABLA (5.2A)  
METODO PARA ESTIMAR EL COSTO DE MOLINOS

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
1 AÑO BASE 1975	(35)	-CAPACIDAD -TIPO DE MOLINO	-ACERO

### Método de cálculo.

#### Molino de bolas.

El costo base se calcula con la siguiente ecuación, válida para un intervalo de  $1.25 \leq CM \leq \text{ton/h}$ .

$$PBMB = (26027.89148 (CM)^{0.698907}) \quad (5.6)$$

#### Molino cónico.

El costo base se determina por la ecuación (5.7), válida para un rango de  $24 \leq CM \leq 200 \text{ ton/h}$ .

$$PBMC = 621.0068448 (CM)^{1.096326} \quad (5.7)$$

#### Molino pulverizador.

El costo base se determina por la siguiente ecuación, válida para un rango de  $1 \leq CM \leq 5 \text{ ton/h}$ .

$$PBMP = 11190 + 2618.14433 (CM) \quad (5.8)$$

#### Molino de quijada.

El costo base es determinado por la siguiente ecuación, válida para un rango  $10 \leq CM \leq 200 \text{ ton/h}$ .

$$PBMQ = 3598.713715 (CM)^{0.559108} \quad (5.9)$$



Molino giratorio.

El costo base se determina por la ecuación (5.10), válida para un rango de  $30 \leq CM \leq 200$  ton/h.

$$PBMG = 4459.328367 (CM)^{0.587441} \quad (5.10)$$

Molino de martillos.

El costo base se determina por la siguiente ecuación, válida para un rango de  $2.5 \leq CM \leq 80$  ton/h.

$$PBMM = 1327.803199 (CM)^{0.778405} \quad (5.11)$$

El costo corregido es determinado por la ecuación (5.12).

$$PCMM = PBMM (FCMM) \quad (5.12)$$

donde el factor (FCMM) se obtiene de la tabla (5.2B).

TABLA (5.2B)

FACTOR DE CORRECCION POR TAMAÑO DE PARTICULA

TAMAÑO DE PARTICULA	MESH	FACTOR FCMM
1.651	10	0.6
0.294	48	1.0
0.147	100	1.7
-----	98% < A 325 MESH	2.5

## NOMENCLATURA

CM: capacidad, en ton/h.

FCMM: factor de corrección por tamaño de partícula.

PBMB: costo base, molino de bolas.

PBMC: costo base, molino cónico.

PBMP: costo base, molino pulverizador.

PBMQ: costo base, molino de quijadas.

PBMG: costo base, molino giratorio.

PBMM: costo base, molino de martillos.

PCMM: costo corregido, molino de martillos.

### 5.3 Transportadores.

El método de cálculo para el costo de transportadores fue elegido de los métodos resumidos en la tabla (5.3A) de éstos se ha seleccionado el método número dos el cual tiene como año base 1975. Este método se selecciono debido a que aplica a diferentes tipos de transportadores.

El costo base es función de:

altura o distancia de transporte.

tipo de transportador.

.de banda (plana o acanalada).

.de rosca (acero al carbón o acero inox. 304).

.de balde elevador.

El costo base asume:

transportador de banda.

.ancho de 0.5 m.

.velocidad lineal de 1 m/s.

transportador de rosca.

.diámetro de rosca de 0.4 m.

.velocidad de rotación de 60 rpm.

transportador de balde elevador.

.capacidad de 80 ton/h.

.balde de acero inox. 304.

TABLA (5.3A)

METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE TRANSPORTADORES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1  AÑO BASE 1975	(25)	-LONGITUD DEL TRANSPORTADOR	-NO SE MENCIONA	-EL COSTO INCLUYE MOTOR Y ACCESORIOS	-APLICA A TRANSPORTADOR DE ROSCA
2  AÑO BASE 1976	(35)	-ANCHO DE LA BANDA -LONGITUD -ALTURA -TIPO DE TRANSPORTADOR -VELOCIDAD -DENSIDAD DEL PRODUCTO	-AC. INOX. 304 -AC. FORJADO	-CALCULA EL COSTO DE TRANSPORTADOR DE BANDA, DE ROSCA, DE BALDE ELEVADOR	-----

Método de cálculo.

Transportador de banda.

El cálculo del costo base para transportadores de banda plana se determina con la ecuación (5.13), válida para un rango de  $2 \leq L \leq 27$  m, o con la ecuación (5.14), aplicable para un rango de  $27 \leq L \leq 400$  metros.

$$PBTB = 1204.51761 (L)^{0.622395} \quad (5.13)$$

$$PBTB = 1215.9525 (L)^{0.643265} \quad (5.14)$$

El cálculo del costo base para un transportador de banda acanalada se determina con la siguiente ecuación, válida para un rango de  $3 \leq L \leq 400$  metros.

$$PBTB = 1768.09639 (L)^{0.652981} \quad (5.15)$$

El costo corregido está dado por:

$$PCTB = PBTB (FCTB) \quad (5.16)$$

donde el factor (FCTB), por ancho de la banda, se obtiene de la tabla (5.3B).

Transportador de rosca.

El costo base para un transportador de rosca construido en acero al carbón es determinado por la siguiente ecuación, válida

para un rango de  $2 \leq L \leq 30$  metros.

$$PBTR = 616.518191 (L)^{0.759673} \quad (5.17)$$

El cálculo del costo base para un transportador de rosca construido en acero inoxidable 304 se determina por medio de la siguiente ecuación, válida para un rango de  $2.4 \leq L \leq 30$  metros.

$$PBTR = 1199.256833 + 453.073368 (L) \quad (5.18)$$

El costo corregido para un transportador de rosca se determina por la siguiente ecuación.

$$PCTR = PBTR (FCTR) \quad (5.19)$$

El factor (FCTR), corrección por diámetro, se obtiene de la tabla (5.3C).

Transportador de balde elevador.

El costo base se calcula por medio de la siguiente ecuación, válida para un rango de  $3 \leq H \leq 30$  metros.

$$PBTBE = 5670.247722 (H)^{0.592233} \quad (5.20)$$

el costo corregido esta dado por.

$$PCTBE = PBTBE (FCTBE) \quad (5.21)$$

donde (FCTBE) se obtiene de la tabla (5.3D).

TABLA (5.3B)

FACTOR DE CORRECCION POR ANCHO DEL TRANSPORTADOR

ANCHO (m)	FACTOR FCTB
0.50	1.0
0.65	1.2
0.80	1.3
1.00	1.5
1.20	1.7

TABLA (5.3C)

FACTOR DE CORRECCION POR DIAMETRO DEL TRANSPORTADOR

DIAMETRO (m)	FACTOR FCTR (AC. AL CARBON)	FACTOR FCTR (ACERO INOX.)
0.15	0.65	0.6
0.30	0.85	0.8
0.40	1.00	1.0
0.50	1.15	1.2

TABLA (5.3D)

FACTOR DE CORRECCION POR CAPACIDAD

* CAPACIDAD (TON/H)	FACTOR FCTBE
0.5	0.30
25.0	0.75
80.0	1.00
120.0	1.20

\* gravedad especifica  $\approx 1.0$

#### NOMENCLATURA

FCTBE: factor de corrección por capacidad.

FCTB: factor de corrección por ancho de la banda.

FCTR: factor de corrección por diámetro.

H: altura, en metros.

L: longitud, en metros.

PBTB: costo base, transportador de banda.

PCTB: costo corregido.

PBTR: costo base, transportador de rosca.

PCTR: costo corregido.

PBTBE: costo base, transportador de balde elevador.

PCTBE: costo corregido.



#### 5.4 Tamices vibratorios.

El costo de tamices vibratorios es obtenido por el método resumido en la tabla (5.4B).

El año base de cálculo es 1975, el costo base es función del área superficial en  $m^2$ , éste no incluye el costo del motor.

Método de cálculo.

El costo base se determina por medio de la siguiente ecuación, válida para un rango de  $2 \leq S \leq 10 m^2$ .

$$PBTV = 7043.812924 (S)^{0.591325} \quad (5.22)$$

El costo corregido es obtenido por la siguiente ecuación.

$$PCTV = PBTV \cdot FCTV \quad (5.23)$$

donde el factor de corrección (FCTV), por el número de etapas, se obtiene de la siguiente tabla.

TABLA (5.4A)

FACTOR DE CORRECCION POR NUMERO DE ETAPAS

NO. DE ETAPAS	FACTOR FCTV
1	1.00
2	1.20
3	1.35

TABLA (5.4B)

METODO PARA ESTIMAR EL COSTO DE TAMICES VIBRATORIOS

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	COMENTARIOS
1  AÑO BASE 1975	(35)	-SUPERFICIE DEL TAMIZ  -NUMERO DE ETAPAS	- NO ESPECIFICA MATE- RIAL	- NO INDICA MATERIAL BASE

NOMENCLATURA

FCTV: factor de corrección por número de etapas.

PCTV: costo corregido.

PBTV: costo base.

S: superficie, en m<sup>2</sup>.

## VI. EQUIPOS QUE INVOLUCRAN SEPARACION DE MATERIALES.

En esta sección se describen los métodos de estimación de costos de: ciclones, filtros y secadores.

Para determinar el costo de ciclones se cuenta con dos métodos, para el primero de ellos se requieren los siguientes parámetros de diseño: área, calibre de la placa, calibre de la tolva y calibre de la voluta. Este método emplea dos materiales de construcción el cual tiene como año base 1977.

Para determinar el costo por el segundo método es necesario conocer: capacidad y tipo de ciclón, éste maneja un solo material de construcción, el año base es 1975.

Para calcular el costo de filtros se tienen dos métodos, si el costo se determina por el primer método se requieren los siguientes datos: superficie, tipo de filtro, material y aplicación del filtro, éste método emplea tres materiales de construcción y tiene como año base 1982.

El método número dos emplea los siguientes parámetros: superficie y tipo de filtro, éste hace corrección para cuatro materiales de construcción y tiene como año base 1975.

Para determinar el costo de secadores se tiene un método éste emplea los siguientes parámetros de diseño: superficie, tipo de secador y capacidad de evaporación, el método emplea tres materiales de construcción y tiene como año base 1975.

## 6.1 Ciclones.

De los métodos que se resumen en la tabla (6.1A) para la estimación de costos de ciclones se selecciono el método número uno debido a que éste emplea más datos de diseño, considera también el costo de accesorios el cual es determinado por medio de correlaciones individuales, el año base del método es 1977.

### Método de cálculo.

El costo total de un ciclón y sus componentes (soporte, voluta y tolva) es estimado por medio de la siguiente ecuación.

$$CTC = \text{costo base} + CS + CT + CV \quad (6.1)$$

El costo base, sin incluir accesorios, es determinado por las siguientes ecuaciones.

Para ciclones construidos en acero al carbón se emplea la siguiente ecuación, válida para placas con espesor de 3/16 de pulg. y áreas dentro del rango  $0.5 \leq A \leq 12$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 1140 + 570 (A) \quad (6.2)$$

Para placas de calibre 10 y un área dentro del rango  $0.5 \leq A \leq 14$  pies<sup>2</sup> es aplicable la siguiente ecuación.

$$\text{costo base} = 1026 + 433 (A) \quad (6.3)$$

Para placas de calibre 14 y áreas dentro del rango  $0.5 \leq a \leq 14$

pies<sup>2</sup> es aplicable la siguiente ecuación.

$$\text{costo base} = 684 + 342 (A) \quad (6.4)$$

Para ciclones construidos en acero inoxidable se tienen las ecuaciones (6.5) a la (6.7).

La ecuación (6.5) es aplicable para áreas dentro del rango  $1.0 \leq A \leq 8.5$  pies<sup>2</sup> y placas de 3/16 de pulgada de espesor.

$$\text{costo base} = 1710 + 1767 (A) \quad (6.5)$$

Para placas de 10 pulgadas y área de  $1.0 \leq A \leq 13$  pies<sup>2</sup> se aplica la siguiente ecuación.

$$\text{costo base} = 1482 + 1094 (A) \quad (6.6)$$

Para áreas dentro del rango  $1.0 \leq A \leq 14.5$  pies<sup>2</sup> y placas de 14 pulgadas se tiene la ecuación (6.7).

$$\text{costo base} = 912 + 741 (A) \quad (6.7)$$

Para estimar el costo de soportes se tienen las ecuaciones (6.8) a la (6.10). La siguiente ecuación aplica para un área dentro del rango  $1.0 \leq A \leq 2.0$  pies<sup>2</sup>.

$$CS = 570 + 148 (A) \quad (6.8)$$

La ecuación (6.9) es válida para un área de  $2.0 \leq A \leq 6.0$  pies<sup>2</sup>

$$CS = 1026 + 143 (A) \quad (6.9)$$

Para un área de  $6.0 \leq A \leq 14$  pies<sup>2</sup> se aplica la ecuación (6.10).

$$CS = 1938 + 120 (A) \quad (6.10)$$

Para tolvas en acero inoxidable se aplican las tres siguientes ecuaciones.

La ecuación (6.11) aplica para placas con espesor de 3/16 de pulgada y un área de  $1.0 \leq A \leq 13.0$  pies<sup>2</sup>.

$$CT = 228 + 296 (A) \quad (6.11)$$

Para placas de calibre 10 y área entre el rango  $1 \leq A \leq 14$  pies<sup>2</sup> es válida la siguiente ecuación.

$$CT = 228 + 195 (A) \quad (6.12)$$

Para placas de calibre 14 y un rango de aplicación igual que la ecuación (6.12) se tiene la siguiente ecuación.

$$CT = 182 + 141 (A) \quad (6.13)$$

Para tolvas construidas en acero al carbono son aplicables las ecuaciones (6.14) a la (6.16). La ecuación (6.14) es válida para placas de 3/16 de pulgada y área entre el rango  $1.0 \leq A \leq 14$  pies<sup>2</sup>.

$$CT = 160 + 92 (A) \quad (6.14)$$

La ecuación (6.15) es válida para placas de calibre 10 y un área dentro del rango  $1.0 \leq A \leq 14$  pies<sup>2</sup>.

$$CT = 148 + 77 (A) \quad (6.15)$$

La ecuación (6.16) es válida para placas de calibre 14 y un rango de aplicación igual que la ecuación (6.15).

$$CT = 137 + 68 (A) \quad (6.16)$$

Para la estimación de costos de la voluta se cuenta con las siguientes ecuaciones para construcción en acero inoxidable y un rango de aplicación de  $0.5 \leq A \leq 12$  pies<sup>2</sup>.

$$CV = 513 + 618(A) - 12.9 (A^2) \quad (6.17)$$

La ecuación (6.18) aplica para placas de 3/16 de pulgada.

$$CV = 462 + 432 (A) - 12 (A^2) \quad (6.18)$$

La ecuación (6.19) es válida para placas de calibre 14.

$$CV = 352 + 307 (A) - 9.1 (A^2) \quad (6.19)$$

Para una voluta construida en acero al carbono y un área dentro del rango de 0.5 a 12 pies<sup>2</sup>, se tienen las siguientes tres ecuaciones.

$$CV = 310 + 214 (A) - 4.1 (A^2) \quad (6.20)$$

La ecuación (6.20) aplica para placa de 3/16 de pulgada.

Las ecuaciones (6.21) y (6.22) aplican para placas de calibre 10 y placas de calibre 14, respectivamente.

$$CV = 290 + 165 (A) - 3.0 (A^2) \quad (6.21)$$

$$CV = 269 + 143 (A) - 2.2 (A^2) \quad (6.22)$$

TABLA (6.1A)  
METODOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE CICLONES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1 AÑO BASE 1977	(24)	-AREA DE ENTRADA -CALIBRE DE LA PLACA -CALIBRE DE LA TOLVA -CALIBRE DE LA VOLUTA	-AC.AL CARBON -AC. INOX.	-MANEJA 4 DATOS DE DISEÑO -ES MAS ACTUAL	-SOLO CONSIDERA 2 MATERIALES DE CONSTRUCCION
2 AÑO BASE 1975	(35)	-CAPACIDAD -TIPO DE CICLON	-ACERO	-CONSIDERA EL TIPO DE CICLON	-EMPLEA UN MATERIAL



# NOMENCLATURA

A: área total, en pies<sup>2</sup>.

CTC: costo total del ciclón.

CT: costo de la tolva.

CV: costo de la voluta.

CS: costo de soportes.

costo base: costo del ciclón sin incluir accesorios.

## 6.2 Filtros.

Para determinar el costo de filtros se cuenta con dos métodos, tabla (6.2A).

Para determinar el costo por medio del primer método se requieren los siguientes parámetros de diseño: superficie de filtrado, material de construcción, tipo de filtro y aplicación de éste, el año base para este método es 1982.

Empleando el segundo método se requieren los siguientes parámetros: superficie y tipo de filtro, el año base para éste método es 1975.

De estos dos métodos se ha elegido el primero, debido a que, éste es más actual, maneja mayor número de parámetros.

TABLA (6.2A)

MÉTODOS PARA LA ESTIMACION DEL COSTO DE FILTROS

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	(12)	-AREA DEL FILTRO -MATERIAL -TIPO DE FILTRO -USO DEL FILTRO	-AC.AL CARBON -AC.INOX. 304 -AC.INOX. 316	-EMPLEA EL USO DEL FILTRO COMO DATO	-EMPLEA 3 MATERIALES DE CONSTRUCCION
AÑO BASE 1982					
2	(35)	-AREA DEL FILTRO -TIPO DE FILTRO	-AC.INOX. 304 -AC.INOX. 317 -AC.AL CARBON	-EMPLEA UN MATERIAL MAS QUE EL METODO UNO	-EL AÑO BASE NO ES RECIENTE
AÑO BASE 1975					

Método de cálculo.

De la ecuación (6.23) se determinan los costos de filtros batch y/o tubular, a presión, estos son construidos en acero al carbón con accesorios en acero inoxidable, material de construcción más común.

Los costos determinados por esta ecuación son únicamente

para filtros sin incluir accesorios, el rango de aplicación de esta ecuación es de  $30 \leq A \leq 2500$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 5.785203 (A^{-0.347855}) (A) \quad (6.23)$$

#### Filtros a vacío.

Mediante las siguientes ecuaciones se determinan los costos de cuatro filtros a vacío.

Filtros prensa.

Filtros belt.

Filtros de caldero inclinado.

Filtros de tambor de compartimiento simple.

#### Filtros prensa.

La ecuación (6.24) para estimar el costo de un filtro prensa construido en acero al carbón, válida para un rango de aplicación de  $10 \leq A \leq 600$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 18603.7649 (A^{-0.650941}) (A) \quad (6.24)$$

La ecuación (6.25) es aplicable para filtros prensa en acero inoxidable 316, válida para el mismo rango que la ecuación (6.24).

$$\text{costo base} = 15015.83924 (A^{-0.529527}) (A) \quad (6.25)$$

### Filtros belt.

La ecuación (6.26) es válida para un rango de  $10 \leq A \leq 1200$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 17617.75724 (A^{-0.521482}) (A) \quad (6.26)$$

### Filtros continuos a vacio (caldero inclinado).

Para filtros de caldero inclinado construidos en acero inoxidable 316. se emplea la siguiente ecuación, válida para un rango de  $200 \leq A \leq 2000$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 9220.438503 (A^{-0.330942}) (A) \quad (6.27)$$

Filtros de tambor de compartimiento simple a vacio construidos en acero inoxidable 316 se emplea la siguiente ecuación, aplicable para un rango de  $13 \leq A \leq 200$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 20286.16276 (A^{-0.489819}) (A) \quad (6.28)$$

Para determinar el costo de filtros continuos de discos rotatorios a vacio, empleados en el servicio pesado e industria en general, especialmente industria metalúrgica, se emplea la ecuación (6.29) la cual es válida dentro del rango  $100 \leq A \leq 3500$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 6451.0342 (A^{-0.598569}) (A) \quad (6.29)$$

Para filtros continuos de discos rotatorios a vacio construidos en acero inoxidable 304, empleados en la industria

del papel, es aplicable la siguiente correlación, válida para un rango de  $150 \leq A \leq 6000$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 2547.6595 (A^{-0.340027}) (A) \quad (6.30)$$

Para obtener el costo en acero inoxidable 316 por medio de la ecuación (6.30) se multiplica ésta por el factor de corrección por material de construcción (FC) el cual está en función del tamaño de la unidad.

TAMAÑO DE LA UNIDAD	FACTOR FC
unidades pequeñas	1.19
unidades grandes	1.24

El costo de la unidad no incluye el costo del agitador, únicamente incluye tanque de alimentación y tapa.

Filtros de tambor rotatorio de multicompartimiento a vacío.

La ecuación para determinar el costo de este tipo de filtros, empleados en la industria de pulpa y papel, construidos en acero inoxidable 304 es válida para un rango de  $200 \leq A \leq 1800$  pies<sup>2</sup> la cual se indica a continuación.

$$\text{costo base} = 19367.44323 (A^{-0.5462233}) (A) \quad (6.31)$$

La ecuación (6.32) es aplicable al mismo tipo de filtro que la ecuación anterior, ésta es válida para un rango de  $300 \leq A \leq 1800$  pies<sup>2</sup> para filtros construidos en acero al carbón.

costo base = 14551.65529 (A -0.558029)

(6.32)

Los costos de filtros en general cubre únicamente la construcción en acero al carbón, para estimar el costo en acero inoxidable 316 se debe multiplicar por el factor de corrección por material de construcción (F1) éste está en función del tamaño de la unidad.

TAMAÑO DE LA UNIDAD	FACTOR F1
unidades pequeñas	1.15
unidades medianas	1.40
unidades grandes	1.70

El factor (F1) es aplicable para los tipos de filtros calculados por las ecuaciones (6.31) a la (6.34).

Para estimar el costo de unidades construidas en acero inoxidable 316 a partir de acero inoxidable 304, multiplicar por el factor (F2) que se muestra a continuación.

TAMAÑO DE LA UNIDAD	FACTOR F2
unidades pequeñas	1.08
unidades medianas	1.11
unidades grandes	1.16

Para estimar el costo en acero inoxidable 317 a partir de acero inoxidable 304 se hace uso de los siguientes factores, dependiendo del tamaño de la unidad.

TAMAÑO DE LA UNIDAD	FACTOR F3
unidades pequeñas	1.23
unidades medianas	1.31
unidades grandes	1.40

El costo incluye accesorios.

Filtros con raspador de descarga y filtros con banda de descarga.

Ambos tipos de filtros son usados en servicios químicos, metalúrgicos e industria en general, éstos están contruidos en acero al carbón.

Las siguientes dos ecuaciones son aplicables para filtros con raspador y filtros con banda, respectivamente. La ecuación (6.33) es válida para un rango de  $10 \leq A \leq 1500$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 9749.201169 (A^{-0.647141}) (A) \quad (6.33)$$

La siguiente ecuación es aplicable dentro del rango  $10 \leq A \leq 800$  pies<sup>2</sup>.

$$\text{costo base} = 12748.92873 (A^{-0.665569}) (A) \quad (6.34)$$

#### NOMENCLATURA

A: Área del filtro en pies cuadrados.

FC, F1, F2, F3: factores de corrección por material de construcción en función del tamaño de la unidad de filtrado.



### 6.3 Secadores.

Para estimar el costo de secadores únicamente se cuenta con un método, éste es resumido en la tabla (6.3A), el año base es 1975.

El costo base determinado por este método es función de: capacidad de evaporación, superficie y tipo de secador.

Los tipos de secadores calculados por este método son: secador batch tipo caja, secador flash, secador cilindrico rotatorio a vacío, secador a vacío de doble cono, secador pulverizador, secador de tambor rotatorio con calor de quemador de gas y secador rotatorio con tubo de vapor.

TABLA (6.3A)

#### METODO PARA LA ESTIMACION DEL COSTO DE SECADORES

METODO NO.	REF.	PARAMETROS DE DISEÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	COMENTARIOS
1	(35)	-SUPERFICIE -TIPO DE SECADOR -CAPACIDAD DE EVAPO- RACION	-AC. INOX. 304 -AC. FORJADO	-EL AÑO BASE NO ES RE-- CIENTE

Método de cálculo.

El costo base se calcula por medio de las ecuaciones (6.36) a la (6.44).

Secadores rotatorios a vacío.

El costo base de estos secadores asume construcción de acero inoxidable 304, este costo es corregido para otros materiales de construcción de acuerdo a la siguiente tabla.

MATERIAL	TIPO DE SECADOR	CAPACIDAD EFECTIVA	FACTOR FM
ac.forjado	cilíndrico	toda	0.65
	doble cono	toda	0.70
	doble cono	0.25	1.25
	doble cono	0.60	1.13
acero recubierto	doble cono	0.95	1.05
	doble cono	1.50	1.00
	doble cono	2.50	0.95
	doble cono	3.80	0.90

Secador de tambor rotatorio.

El costo base para estos secadores supone aire caliente y construcción en acero, el costo base es corregido para otros materiales y para otros gases, empleando los factores de las tablas (6.3B) y (6.3C).

El costo total corregido para éste tipo de secadores es obtenido la siguiente ecuación.

$$CC = \text{costo base} (1 + FG + FM) \quad (6.34)$$

donde los factores de corrección por material (FM) y el factor de corrección por gas de secado (FG) son obtenidos de las tablas (6.3B) y (6.3C), respectivamente.

TABLA (6.3B)

MATERIAL	FACTOR FM
acero forjado	0.00
ac. recubierto con ac. inox. 304-20%	0.25
ac. recubierto con ac. inox. 316-20%	0.50

TABLA (6.3C)

GAS DE SECADO	FACTOR FG
aire caliente	0.00
gas de combustión (contacto directo)	0.25
gas de combustión (contacto indirecto)	0.35

Costo de secador rotatorio con tubo de vapor.

El costo base asume construcción en acero, éste es corregido para acero inoxidable 304 multiplicando el costo base por 1.75.

### Costo de secador tipo caja.

El costo-base para éste secador asume presión atmosférica, construido en acero, éste costo puede ser corregido para operación a vacío multiplicando el costo base por 2.0 y multiplicando por 1.4 para construcción en acero inoxidable .

Ecuaciones para el cálculo del costo base de secadores.

### Secador batch tipo caja.

La ecuación (6.35) es válida para un rango de aplicación de  $1 \leq S \leq 5$  metros<sup>2</sup>.

$$PB = 3891.40785 (S^{0.792647}) \quad (6.35)$$

### Secador rotatorio de doble cono a vacío

La ecuación es aplicable para un rango de  $1 \leq S \leq 50$  metros<sup>2</sup>.

$$PB = 6389.642941 + 2944.522395 (S) \quad (6.36)$$

### Secador cilindrico rotatorio a vacío.

La ecuación (6.37) es válida para un rango de  $1.75 \leq S \leq 230$  metros<sup>2</sup>.

$$PB = 15666.72581 + 2944.522395 (S) \quad (6.37)$$

Secador flash.

La siguiente ecuación es válida para un rango de  $2.5 \leq CE \leq 2000$  metros<sup>2</sup>.

$$PB = 8479.782578 (CE)^{0.435015}, \quad (6.38)$$

Secador pulverizador.

$$PB = 2033.2396 (CE)^{0.741529}, \quad (6.39)$$

$$PB = 10040.32188 (CE)^{0.459357}, \quad (6.40)$$

válidas en el rango  $30 \leq CE \leq 300$  metros<sup>2</sup>.

Para secador de tambor rotatorio con calor de quemador de gas son aplicables las ecuaciones (6.41) y (6.42) válidas para un rango de  $20 \leq S \leq 500$  y de  $500 \leq S \leq 3000$  metros<sup>2</sup>, respectivamente.

$$PB = 5711.580651 (S)^{0.687579}, \quad (6.41)$$

$$PB = 323575.0841 \text{ EXP } (2.380644E-4 * S) \quad (6.42)$$

Secador de tambor rotatorio con tubo de vapor.

La (6.43) es válida para un rango de  $50 \leq S \leq 1500$  metros<sup>2</sup>.

$$PB = 4330.609753 (S^{0.598472}) \quad (6.43)$$

Secador de tambor rotatorio con calor de aire caliente.

La ecuación es aplicable para un rango de  $50 \leq S \leq 1500$  metros<sup>2</sup>.

$$PB = 5733.098737 (S^{0.643020}) \quad (6.44)$$

#### NOMENCLATURA

CC: costo corregido.

CE: capacidad de evaporación, en kg/h.

FG: factor de corrección por gas de secado.

FM: factor de corrección por material de construcción.

S: superficie de secado, en m<sup>2</sup>.

PB: costo base.

## VII. DESARROLLO DEL PROGRAMA

En esta sección se explica como emplear el paquete de computo, variables que emplea cada una de las subrutinas indicando para cada variable el rango en el cual es valida , las unidades en las que debera ser alimentada ésta y el tipo de variable de que se trate ya sea real o entera.

Para cada una de las subrutinas se indica que equipo está calculando , también se muestra el diagrama de flujo de la subrutina, en éste se indica la secuencia de cálculo del costo.

También se indica como actualizar el programa. Esto es cuando se requiera actualizar el método de cálculo de alguno de los equipos analizados.

## 7.1 Descripción del programa.

En el programa principal se presenta un menú en el que se pueden elegir los equipos a determinar su costo. Las opciones que presenta éste menú son las siguientes: Recipientes a presión, Tanques de almacenamiento, Bombas, Compresores, Filtros, Ciclones, Motores eléctricos, Quemadores de campo, Internos de recipientes (platos), Calentadores a fuego directo, Columnas de absorción, Secadores, Solosaires, Torres de enfriamiento, Cristalizadores, Eyectores de vapor, Molinos, Intercambiadores de calor, Tamices y Transportadores.

Para cada uno de los equipos antes mencionados se ha creado una subrutina, éstas subrutinas están ligadas a un programa principal. A partir de éste se pueden elegir los equipos que se requieran calcular, por medio de el menú principal

Si se requiere actualizar el método de cálculo de alguno de los equipos antes mencionados es necesario editar el programa, la subrutina, del equipo a actualizar el método de cálculo. La subrutina editada debe ser el programa fuente, el programa con la extensión (.FOR).

Por ejemplo, si se va a actualizar el método de cálculo de recipientes a presión se debe editar el programa, RP.FOR, y corregir éste para posteriormente crear el programa con la extensión .OBJ, compilarlo, y ligarlo al programa principal COSTOS1.OBJ, con las subrutinas de los otros equipos para crear así el programa ejecutable, con la extensión .EXE, ya actualizado.

En la sección (7.2) se describe cada una de las subrutinas



indicando que equipo calcula y las variables que emplea cada una de éstas.

El diagrama de flujo del programa es mostrado en la fig. (7.1A).

Los datos empleados en éste programa son lo siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
A1A	índice actual	REAL	-----	-----
PES	paridad del peso mexicano con el dolar Americano	REAL	-----	-----
IA	año al cual se calculara el costo (cuatro digitos)	ENTERA	-----	-----

MÉTODOS IMPLEMENTADOS AL PROGRAMA

EQUIPO	MÉTODO ELEGIDO	REF.	AUTOR	AÑO
intercambiadores de tubos y coraza	3	(21)	Purohit G. P.	1983
intercambiadores de doble tubo	6	(22)	Purohit G. P.	1985
torres de enfriamiento	2	(25)	William M. Vatavuk	1981
quemadores de campo	1	(33)	William M. Vatavuk	1983
calentadores a fuego directo	1	(12)	Richard S. Hall	1982
soloaires	1	(35)	Inst. Franc. del p.	1981
compresores centrífugos	4	(20)	Arkadie Pikulik	1977
compresores reciprocantes	3	(12)	Richard S. Hall	1982
bombas centrífugas	1	(6 )	Armando B. Corripio	1982
bombas reciprocantes	3	(35)	Inst. Franc. del p.	1981
eyectores de vapor	2	(20)	Arkadie Pikulik	1977
motores eléctricos	1	(6 )	Armando B. Corripio	1982
recipientes a presión	1	(17)	Antonio Mulet	1981
tanques de almacenamiento	1	(5 )	Armando B. Corripio	1982
internos de recipientes	1	(18)	Antonio Mulet	1981
columnas de absorción	1	(18)	Antonio Mulet	1981
cristalizadores	1	(35)	Inst. Franc. del p.	1981
molinos	1	(35)	Inst. Franc. del p.	1981
transportadores	2	(35)	Inst. Franc. del p.	1981
tamices	1	(35)	Inst. Franc. del p.	1981
ciclones	1	(24)	William M. Vatavuk	1981
filtros	1	(12)	Richard S. Hall	1982
secadores	1	(35)	Inst. Franc. del p.	1981

\* el número del método fue obtenido de las tablas comparativas donde se comparan los métodos, por equipo, por eso este número se repite en varias ocasiones, esto no implica que sea el mismo método.

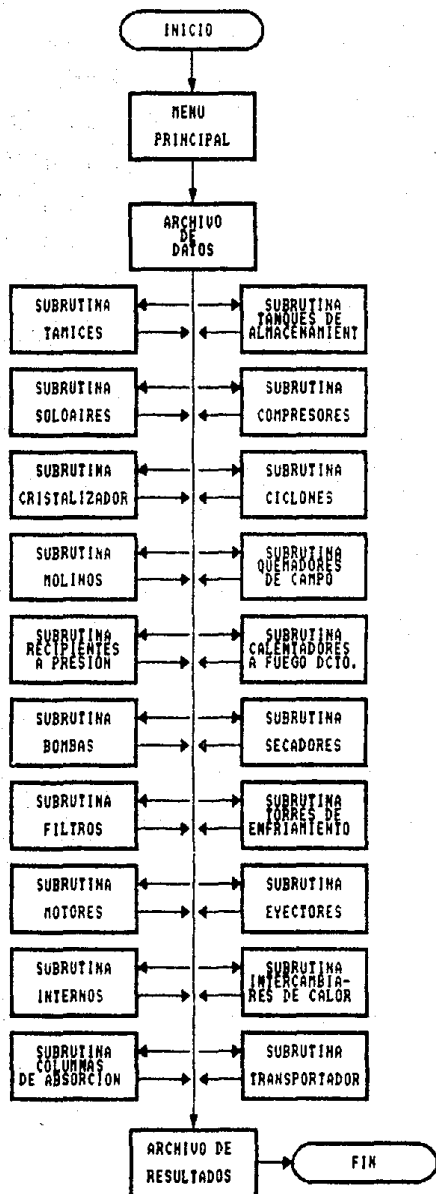


FIG. 7.14 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL COSTOS

## 7.2 Manual de operación.

El paquete de computo está constituido de tres diskette dos de ellos contienen el programa con los archivos de datos y el tercero contiene el sistema operativo MSDOS-V3.1.

Es necesario emplear éste sistema operativo para así garantizar un mejor funcionamiento del programa y evitar algún error de ejecución. Se recomienda usar éste sistema debido a que ha sido modificado en algunos de sus archivos con la finalidad de poder hacer uso del compilador con que se cuenta.

Para hacer uso de éste paquete se debiera cargar primeramente el sistema operativo antes mencionado y dar fecha y hora, una vez cargado el sistema se remplaza éste diskette por el que contenga el programa ejecutable, COSTOS1.EXE y/o COSTOS2.EXE. Después de remplasado el diskette donde estan presentes los programas ejecutables, con la extensión (.EXE), se da el nombre del programa. Una vez cargado el programa, a la memoria de la computadora, aparecera primeramente una pantalla con el título estimación de costos, esta es borrada después de 10 seg., aproximadamente; posteriormente se muestra en pantalla un menu que presenta dos opciones, si se elige la segunda, manual de de usuario, se muestran en pantalla una serie de instrucciones mediante las cuales se indica como usar el programa. Al terminar de ver éstas instrucciones se regresa al menu, oprimiendo la tecla RETURN.

Si se elige la primer opción, programa, se muestra una segunda pantalla que permanece a la vista aproximadamente 10 seg. para posteriormente ser borrada automaticamente y aparece en

el monitor el menu principal en el cual se muestran los equipos que se pueden calcular por este programa.

De las opciones mostradas, en el menu principal, se debe indicar, primeramente, cuantas de éstas se van a seleccionar (tipo de equipos a calcular), por ejemplo, si en el menu se muestran diez diferentes equipos enumerados del 1 al 10, y se requiere calcular el costo de 3 equipos, diferentes, de éstos diez; se deberá indicar que se van a calcular tres equipos.

Una vez indicado el número de equipos a continuación se deben indicar las opciones elegidas, tecleando el número con el que esté enumerada cada opción de las elegidas. Por ejemplo, si se van a calcular los equipos 1, 5 y 7, del menu principal, se debe indicar que la primer opción elegida es la uno la segunda la numero cinco y así sucesivamente.

Posteriormente, para determinar el costo de los equipos que se seleccionaron se deberá indicar el año al cual se requiere determinar el costo. Este dato deberá ser dado con cuatro digitos ,por ejemplo, si se requiere determinar el costo al año 1989 se deberá indicar el año como tal (1989). Después de que se ha indicado el año; sera leído, de un archivo de datos, el indice para actualizar los costos.

Si el año al que se requiere determinar el costo es 1990 o un año posterior se debe alimentar el valor del indice y el cambio del peso mexicano con el dolar americano para determinar el costo al año en que se requiera, éste costo es determinado en dolares y en pesos. Una vez seleccionados los equipos a calcular son llamadas las subrutinas en el orden que fueron elegidas, dentro de éstas se deberán dar los datos necesarios

para realizar el cálculo.

Al estar alimentando los datos para calcular el costo de un determinado equipo, dentro de una subrutina, sera mostrado en pantalla el rango en el cual es válida la correlación que se esté empleando en ese instante, de igual forma se indican las unidades en las que debe de estar la variable. Si el valor, de una variable real, es dado fuera del rango o sin punto decimal sera mostrado un mensaje de error en el cual se indica que el valor está fuera de rango. Este mensaje es borrado de pantalla al oprimir RETURN para mostrar nuevamente el rango de validez y alimentar así el valor correcto de la variable.

El valor de las variables enteras correspondera al número de la opción elegida, de las mostradas en un submenu. Por ejemplo, al elegir el material de construcción de determinado equipo se mostraran en pantalla varias opciones, enumeradas de 1 hasta n, (n = 2,3,4...), de las cuales se elegira una o más dando el número con el cual esten enumeradas las opciones a elegir. Si es dado un número que no corresponda a opción alguna, que no esté en el submenu, sera mostrado un mensaje de error en el que se indicara que la opción no está registrada. Este mensaje es borrado de la pantalla al oprimir RETURN para posteriormente mostrar de nuevo el submenu.

Una vez terminado el cálculo del costo de cada equipo elegido, en el menu principal, los resultados son guardados en un archivo, RESUL.DOS, antes de seguir con el cálculo del siguiente equipo.

Finalmente todos los resultados son mostrados en pantalla y

a su vez guardados en el archivo antes mencionado, si se requiere ver el archivo, éste debe ser editado.

Las siguientes subrutinas son involucradas.

SUBROUTINA SOL: determina el costo de soloaires. El valor de las variables reales debera ser alimentado con punto decimal dentro del rango que se especifique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las que se muestren en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2A).

Las datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
MLS	fluido a enfriar	ENTERA	1-15*	-----
MTS	material de los tubos	ENTERA	1-7 *	-----
NTFD	número de tubos por fila	ENTERA	1-6 *	-----
NDTL	longitud de los tubos	ENTERA	1-5 *	metros
NOPD	ΔP de diseño	ENTERA	----	psia
MCB	calibre de los tubos	ENTERA	1-4 *	mm
TE1	temperatura de entrada del fluido	REAL	----	grad.°C
TS1	temperatura de salida del fluido	REAL	----	grad.°C
TEA	temperatura del aire a la entrada	REAL	----	grad.°C
QK	carga térmica	REAL	----	kcal/h

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA TO: determina el costo de torres de enfriamiento. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, el cual debera estar dentro del rango que se especifique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las que se muestren en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2A).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
DTAC	$\Delta T$ de acercamiento	REAL	-----	$^{\circ}f$
TBH	temperatura de bulbo humedo	REAL	-----	$^{\circ}f$
GAL	flujo a la entrada	REAL	-----	gal/min
T	capacidad	REAL	-----	btu/h
IRT	rango de temperatura	ENTERA	10-60	$^{\circ}f$

SUBROUTINA QU: determina el costo de quemadores de campo, el valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las que se muestren en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2A).

Los datos empleados son los siguientes.



VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
NQE	tipo de quemador elegido	ENTERA	1-2 *	-----
FWGQ	flujo de gas a quemar	REAL	2500-25E4	lb/h

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA CA: determina el costo de calentadores a fuego directo, tipo cilindrico y tipo caja. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las que se muestren en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la figura (7.2A).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
ACCA	capacidad de absorción de calor del calentador caja	REAL	2E7-2E8	btu/h
ACCI	capacidad de absorción de calor del calentador cilindrico	REAL	2E7-3E7	btu/h
ITCI	calentadores cilindricos a calcular	ENTERA	1-15 *	-----
ITCA	calentadores tipo caja a calcular	ENTERA	1-15 *	-----
IMCC	material de construcción para el calentador tipo caja	ENTERA	1-4 *	-----

INCA	diseño del calentador tipo caja	ENTERA	1-3	* -----
IMCI	material de construcción para el calentador cilíndrico	ENTERA	1-4	* -----
INCI	diseño del calentador cilíndrico	ENTERA	1-3	* -----

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA INT: determina el costo de intercambiadores de calor, de tubos y coraza y de doble tubo. El valor de las variables reales deberá ser dado con punto decimal, dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendrán un valor el que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es mostrado en la figura (7.2A).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
	intercambiadores de tubos y coraza			
DI	diámetro interno de la coraza	REAL	-----	pulgadas
OD	diámetro externo de los tubos	REAL	-----	pulgadas
PI	pitch	REAL	-----	pulgadas
LT	longitud de los tubos	REAL	-----	pies
PC	presión de diseño del lado			

	de la coraza	REAL	-----	psig
PT	presión de diseño del lado			
	de los tubos	REAL	-----	psig
BW	calibre de los tubos	REAL	-----	-----
AR	Área total de transferencia	REAL	-----	pies <sup>2</sup>
NP	número de pasos por los			
	tubos	ENTERA	-----	-----
D1	tipo de arreglo de los			
	tubos	ENTERA	1-2 *	-----
NCFE	tipo de cabezal frontal	ENTERA	1-6 *	-----
NCPE	tipo de cabezal posterior	ENTERA	1-6 *	-----
NCE	tipo de coraza	ENTERA	1-8 *	-----
D2	tipo de juntas de expansión	ENTERA	1-2 *	-----
D3	tipo de construcción de los			
	tubos	ENTERA	1-2 *	-----
NME1	tipo de material de			
	construcción	ENTERA	1-76 *	-----
	intercambiadores de doble tubo			
DIT	díámetro interno del tubo			
	externo	REAL	-----	pulgadas
NS1	número de secciones de			
	intercambio de calor	ENTERA	-----	-----
D5	tipo de construcción de			
	los tubos	ENTERA	-----	-----
NME1	material de recubrimiento	ENTERA	-----	-----

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

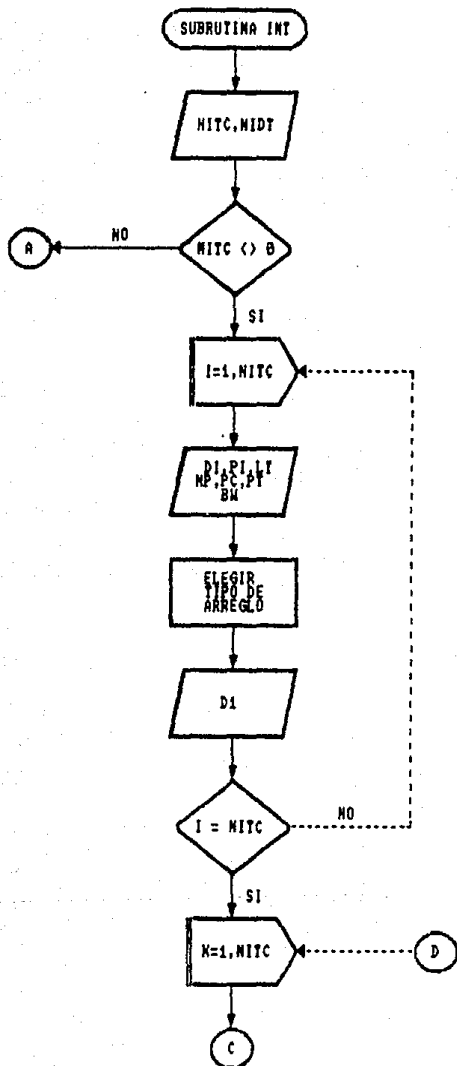
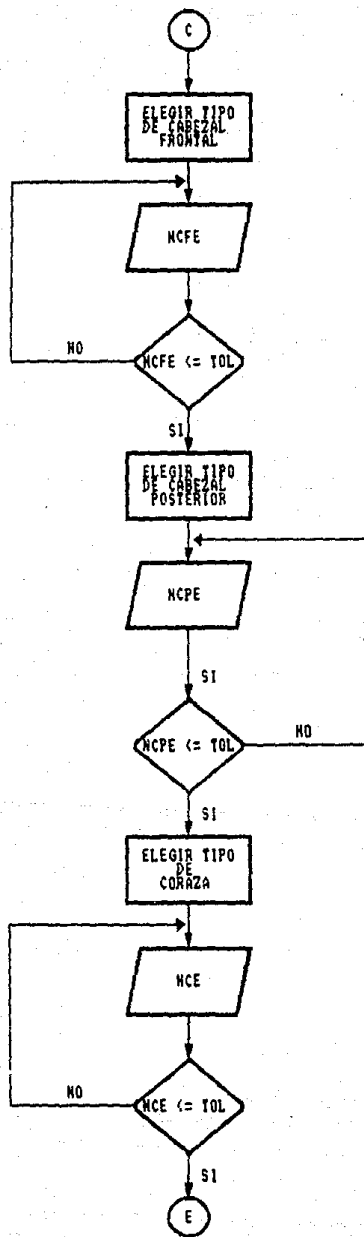
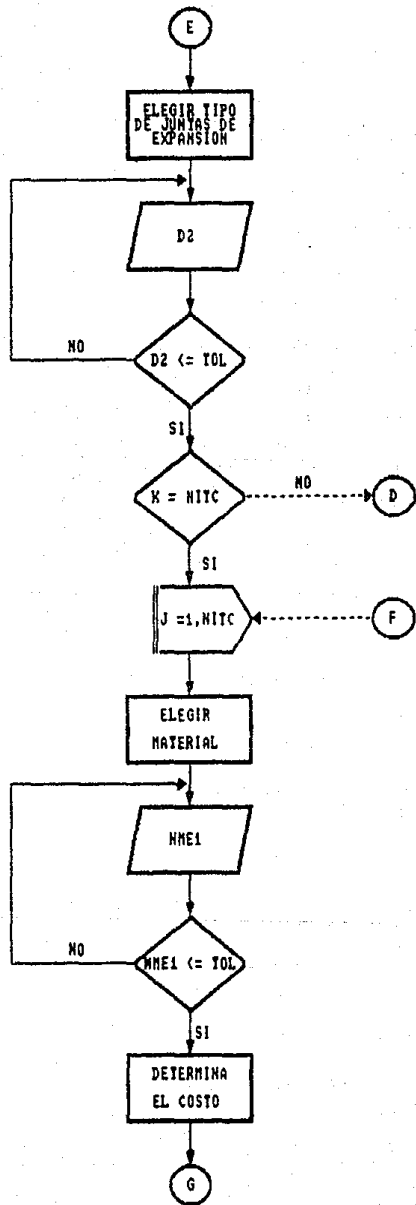


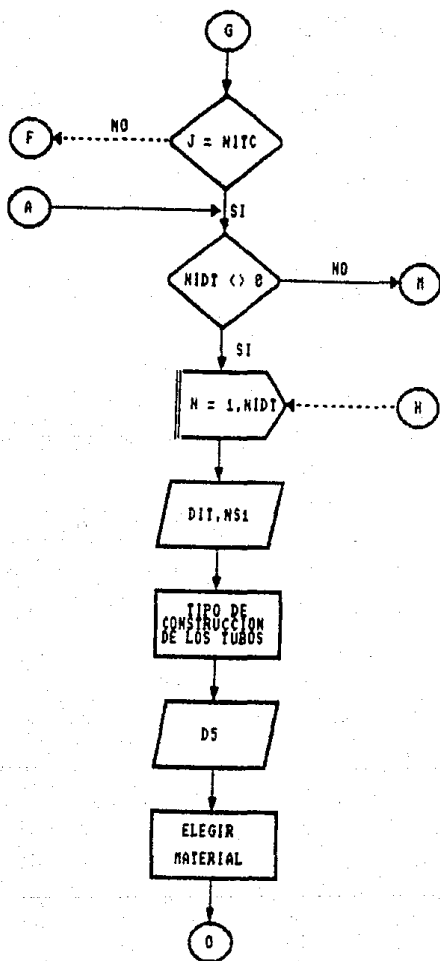
FIG. 7.28 DIAGRAMA DE FLUJO PARA DETERMINAR EL COSTO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR



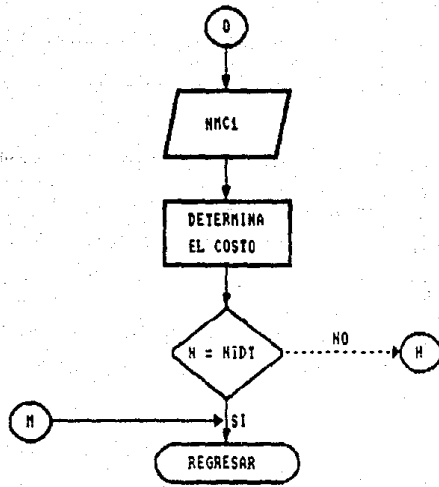
CONTINUA FIG. 7.2A



CONTINUA FIG. 7.2A



CONTINUA FIG. 7.2A



CONTINUA FIG. 7.2A



SUBROUTINA RP: determina el costo de recipientes a presión, columnas de destilación (sin internos), reactores y tanques. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendran un valor el cual correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es mostrado en la fig. (7.2B)

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
NMRV	material para el recipiente			
	vertical	ENTERA	1-9 *	-----
NMRH	material para el recipiente			
	horizontal	ENTERA	1-9 *	-----
WRV	peso del recipiente vertical	REAL	4876-226E3	libras
DRV	diámetro del recipiente			
	vertical	REAL	6-10	pies
HLRV	longitud del recipiente	REAL	12-20	pies
ROV1	densidad del material del			
	recipiente vertical	REAL	-----	lb/pulg <sup>3</sup>
ESV1	eficiencia por soldadura	REAL	-----	-----
PDV1	presión de diseño del			
	recipiente vertical	REAL	-----	psig
SPV1	esfuerzo permisible del			
	recipiente vertical	REAL	-----	psi
ECV1	espesor adicional por			
	corrosión	REAL	-----	pulg.
WRH	peso del recipiente hor.	REAL	813-914E3	libras

DRH	diametro del recipiente hor.	REAL	3-12	pies
ROH	densidad del material del recipiente horizontal	REAL	----	lb/pulg <sup>3</sup>
ESH	eficiencia por soldadura	REAL	----	-----
SPH	esfuerzo permisible	REAL	----	psi
PDH	presión de diseño del recipiente horizontal	REAL	----	psig
ECH	esfuerzo permisible	REAL	----	psi

\* El rango de las variables enteras es mostrado en el programa

SUBROUTINA PLA: determina el costo de internos de recipientes (platos). El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2B).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
NDTPR	tipo de plato elegido	ENTERA	1-4 *	-----
MCP	material de construcción	ENTERA	1-4 *	-----
NPR	número de platos	ENTERA	1-4 *	-----
DPLA	diametro de los platos	ENTERA	2-16 *	pies

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA TAN: determina el costo de tanques de almacenamiento. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2B).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
NMT1	material de construcción			
	tanque no armado en campo	ENTERA	1-15 *	-----
NMT2	material de construcción			
	tanque armado en campo	ENTERA	1-15 *	-----
VT1	capacidad tanque no armado			
	en campo	REAL	1300-21E3	gal.
VT2	capacidad tanque armado			
	en campo	REAL	21E3-11E6	gal.

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa.

SUBROUTINA CO: determina el costo de columnas de absorción, el valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2B).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
WCCA	peso de la coraza	REAL	4250-980E3	libras
HECA	altura del empaque	REAL	27-40	pies
DECA	diámetro de la columna	REAL	3-21	pies
HLCA	longitud de la columna	REAL	27-40	pies
NWCA	material de construcción	ENTERA	1-8 *	-----
NECA1	tipo de empaque	ENTERA	1-9 *	-----

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA CI: determina el costo de ciclones. El valor de las variables reales debiera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción elegida de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2B).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
AREAC	área del ciclón de acero inoxidable	REAL	1-14	pies <sup>2</sup>
AREA1	área del ciclón de acero al carbón	REAL	1-14	pies <sup>2</sup>
MCCI	material de construcción	ENTERA	1-2 *	-----

NCP5	calibre de la placa para ciclones de ac. inox.	ENTERA	1-3	* -----
NCP6	calibre de la placa para ciclones de ac. al carbón	ENTERA	1-3	* -----

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

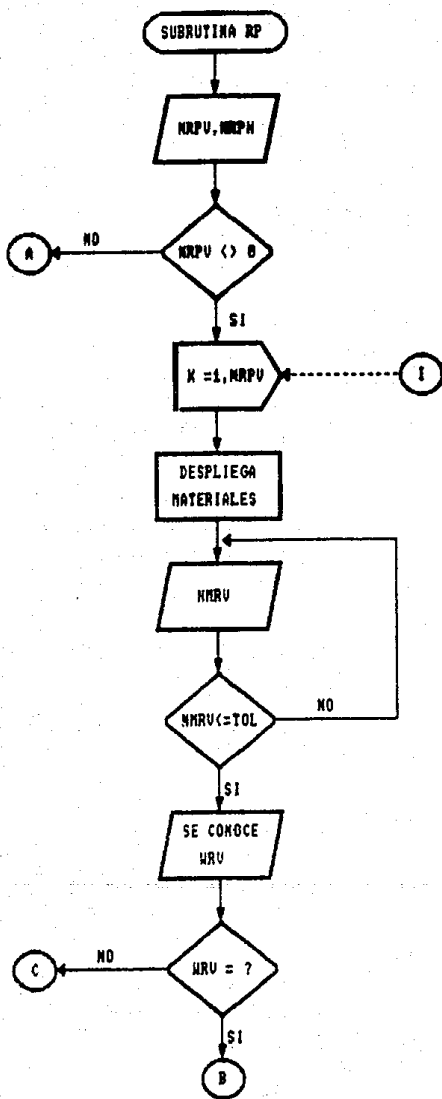
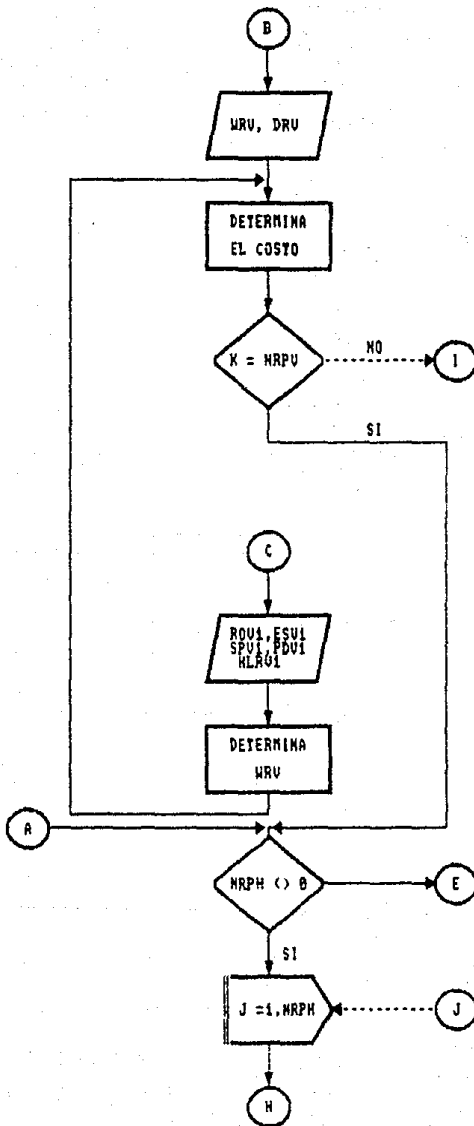
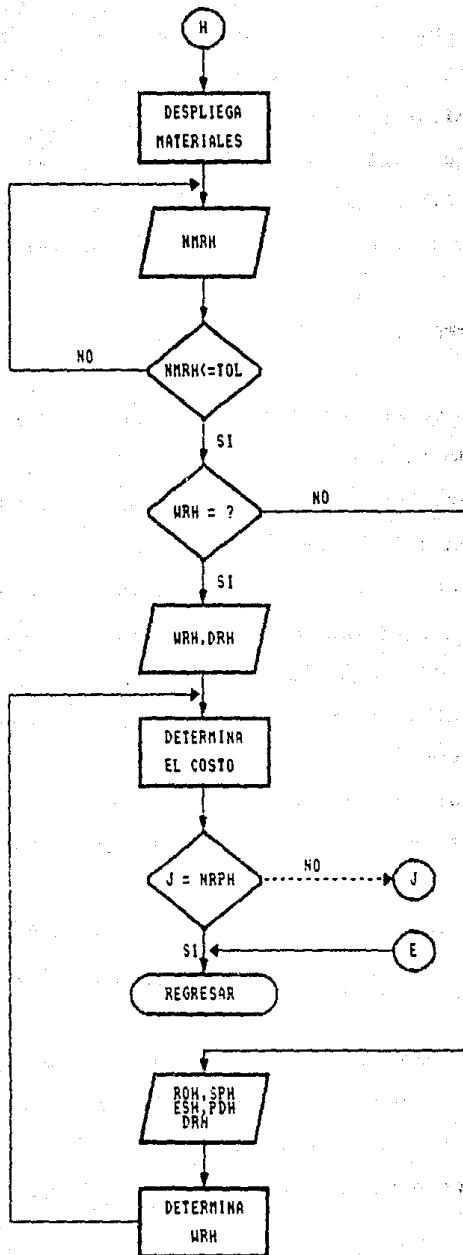


FIG. 2.28 DIAGRAMA DE FLUJO PARA DETERMINAR EL COSTO DE RECIPIENTES A PRESIÓN



CONTINUA FIG. 7.2B



CONTINUA FIG. 7.2B



SUBROUTINA BO: determina el costo de bombas centrífugas y  
 recíprocantes. El valor de las variables reales deberá ser dado  
 con punto decimal, dentro del rango que se indique. Las variables  
 enteras tendrán un valor que corresponderá al número de la  
 opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig.  
 (7.2C).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
FBIR	NPSH de la bomba recíprocante	REAL	1-1000	(m <sup>3</sup> /h)bars
PDIR	presión de succión	REAL	1-70	bars
CIDP	caída de presión	REAL	1-100	bars
CBC1	cabeza de la bomba	REAL	4-400	ft-lb/lb
QBC1	flujo de la bomba	REAL	-----	gal/min
NMBR1	material de la bomba	ENTERA	1-4 *	-----
NMB4	características de la bomba	ENTERA	1-5 *	-----
NMB2	material de la bomba centrífuga	ENTERA	1-13 *	-----

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA MOT: determina el costo de motores eléctricos. El valor  
 de las variables reales deberá ser dado con punto decimal ,  
 dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendrán un  
 valor que corresponderá al número de la opción que se elija de

las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo se muestra en la fig. (7.2C).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
NMOE1	motores a prueba de goteo a determinar su costo	ENTERA	1-10 *	-----
NMOE2	motores totalmente encerrados a determinar su costo	ENTERA	1-10 *	-----
NMOE3	motores a prueba de explosión a determinar su costo	ENTERA	1-10 *	-----
IME21	velocidad del motor a prueba de goteo abierta	ENTERA	1-3 *	rpm
IME22	velocidad del motor totalmente encerrado	ENTERA	1-3 *	rpm
IME23	velocidad del motor a prueba de explosión	ENTERA	1-3 *	rpm
POT1	potencia del motor a prueba de goteo	REAL	1-700	hp
POT2	potencia del motor totalmente encerrado	REAL	1-400	hp
POT3	potencia del motor a prueba de explosión	REAL	1-250	hp

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA TA: determina el costo de tamices vibratorios. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se indique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2C).

Las datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
NETV	número de etapas	ENTERA	1 - 3 *	-----
ATV	area del tamiz	REAL	0.2-10	m <sup>2</sup>

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA FIL: determina el costo de diferentes tipos de filtros. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se especifique.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig.

(7.2C)

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
AF1	área del filtro batch	REAL	30-2500	pies <sup>2</sup>
AF2	area del filtro prensa	REAL	10-600	pies <sup>2</sup>
AF3	area del filtro de discos	REAL	100-1500	pies <sup>2</sup>
AF4	area del filtro de tambor rotatorio a vacío	REAL	300-1800	pies <sup>2</sup>

AF5	área del filtro de tambor rotatorio	REAL	10-1500	pies <sup>2</sup>
AF6	área del filtro de tambor rotatorio para la ind. Quím.	REAL	10-800	pies <sup>2</sup>
AF7	área del filtro belt	REAL	10-1200	pies <sup>2</sup>
AF8	área del filtro prensa	REAL	10-1600	pies <sup>2</sup>
AF9	área del filtro de caldero	REAL	10-1200	pies <sup>2</sup>
AF10	área del filtro de tambor simple	REAL	10-1200	pies <sup>2</sup>
AF11	área del filtro de discos rotatorios a vacío	REAL	150-6000	pies <sup>2</sup>
AF12	área del filtro de tambor a vacío	REAL	200-1200	pies <sup>2</sup>
INFIL(CI)	filtros a calcular	ENTERA	1-10	-----

SUBROUTINA COM: determina el costo de compresores centrífugos y reciprocantes. El valor de las variables reales deberá ser dado con punto decimal, dentro del rango que se especifique.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la figura (7.2C).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
PBHC	BHP del compresor	REAL	100-400	ft-lb/lb
NCCOR	tipo de compresor a calcular	ENTERA	-----	* -----

\* El rango de las variables enteras es mostrado en el programa

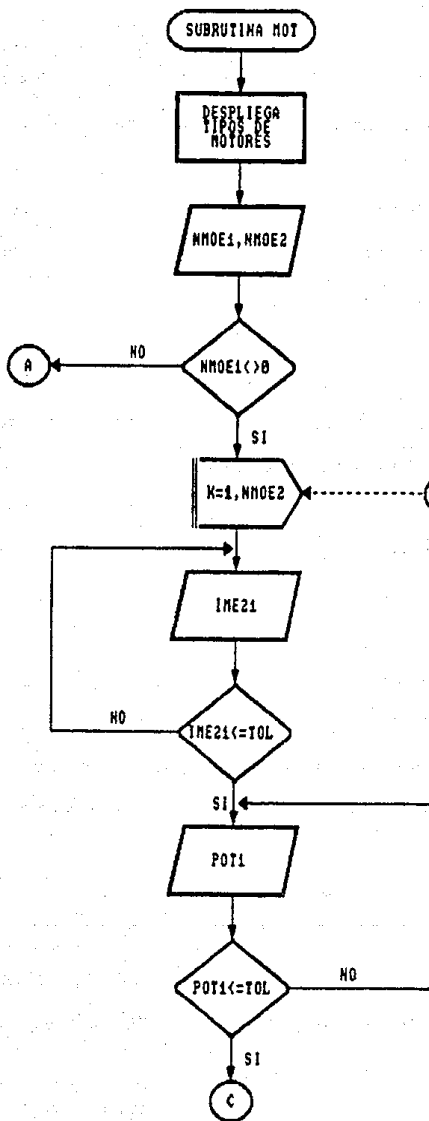
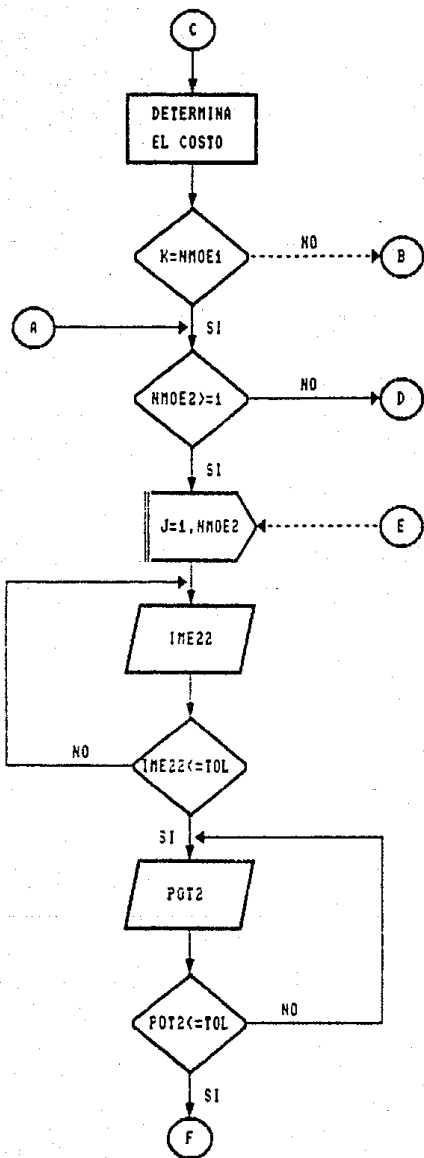
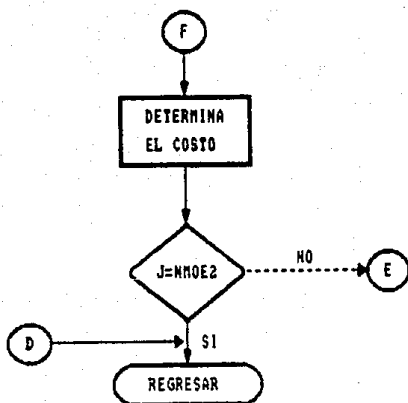


FIG. 7.2C DIAGRAMA DE FLUJO PARA DETERMINAR EL COSTO DE ROTORES ELECTRICOS



CONTINUA FIG. 7.2C



CONTINUA FIG. 7.2C

SUBROUTINA SEC: determina el costo de secadores de los cuales se tienen ocho tipos. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal dentro del rango que se especificue. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2D).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
ISBC	secadores batch a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ISRD	secadores rotatorios a vacío de doble cono a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ISRC	secadores flash a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ISFL	secadores tipo pulverizador a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ISPO	secadores de tambor rotatorio con calor de quemador	ENTERA	1-10	* -----
ISRQ	secadores de tambor rotatorio con calor de tubo de vapor	ENTERA	1-10	* -----
ISTV	secadores de tambor rotatorio con calor de aire caliente	ENTERA	1-10	* -----
IDM	material de construcción del secador batch	ENTERA	1-10	* -----
ID1	material de construcción del secador rotatorio a vacío	ENTERA	1-3	* -----
ID2	capacidad efectiva del secador rotatorio en AC. INOX.	ENTERA	1-8	* -----



ID3	capacidad efectiva del secador rotatorio en ac. al carbón	ENTERA	1-8	*	-----
ID4	material de construcción del secador cilindrico rotatorio a vacío	ENTERA	1-2	*	-----
ID6	material de construcción del secador rotatorio con tubo de vapor	ENTERA	1-2	*	-----
ID8	material de construcción del secador rotatorio con aire caliente	ENTERA	1-3	*	-----
ID9	tipo de gas de secado empleado en el secador rotatorio con aire caliente	ENTERA	1-3	*	-----
DSS	presión de operación del secador batch (atmosférica o a vacío)	ENTERA	----	*	-----
S01	superficie del secador batch	REAL	1-5		metros <sup>2</sup>
S02	superficie del secador rotatorio a vacío de doble cono	REAL	1-50		metros <sup>2</sup>
S03	superficie del secador rotatorio a vacío	REAL	1.75-230		metros <sup>2</sup>
CEV1	capacidad de evaporación del secador batch	REAL	25-2000		kg/h
CEV2	capacidad de evaporación del secador pulverizador	REAL	30-3000		kg/h
S06	superficie del secador de				

	tambor rotatorio con calor quemador	REAL	20-3000	metros <sup>2</sup>
S07	superficie del secador de tambor rotatorio con tubo de vapor	REAL	50-1500	metros <sup>2</sup>
AD7	superficie del secador de tambor rotatorio con aire caliente	REAL	22-300	metros <sup>2</sup>

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

SUBROUTINA TRA: determina el costo de transportadores. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se especifique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo se muestra en la figura (7.2D).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
ITBE	transportadores de balde elevador a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ITDR	transportadores de rosca en ac. al c.a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ITRDA	transportadores de rosca en ac. inox. 304 a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ITPP	transportadores de placa			

	plana a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ITBC	transportadores de banda corrugada a calcular	ENTERA	1-10	* -----
NT1	capacidad del transportador de balde elevador	ENTERA	1-5	* ton/h
IOD2	diámetro del transportador de rosca en ac. al carbón	ENTERA	1-4	* metros
IOD3	diámetro del transportador de rosca en ac. inox. 304	ENTERA	1-4	* metros
IZDS	ancho de la banda del transportador de placa plana	ENTERA	1-4	* metros
IZD1	ancho de la banda del transportador de banda corrugada	ENTERA	1-4	* metros
LTT1	longitud del transportador de balde elevador	REAL	3-30	metros
LTT2	longitud del transportador de rosca	REAL	2-30	metros
LTT3	longitud del transportador de rosca construido en ac. inox. 304	REAL	2-30	metros
LTT4	longitud del transportador de placa plana	REAL	2-400	metros
LTT5	longitud del transportador de banda corrugada	REAL	3-400	metros

\* El rango de las variables enteras es mostrado en el programa

SUBROUTINA CR: determina el costo de cristalizadores. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se especifique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la figura (7.2D).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
CCTH4	capacidad del cristalizador batch	REAL	1.5-30	ton/h
CCTH1	capacidad del cristalizador sembrado	REAL	0.7-40	ton/h
CCTH2	capacidad del cristalizador de tubo de corriente de aire	REAL	0.7-30	ton/h
CCTH3	capacidad del cristalizador con circulación externa	REAL	0.6-500	ton/h
NDCR	tipo de cristalizador a calcular	ENTERA	-----	* -----
ICHTP	tamaño de las partículas para el cristalizador sembrado	ENTERA	-----	* -----
MCCB1	material de construcción para el cristalizador sembrado	ENTERA	-----	* -----
MPBCC	material de construcción del cristalizador con circulación externa	ENTERA	-----	* -----

\* El rango de las variables enteras es mostrado en el programa

SUBROUTINA MOL: determina el costo de molinos. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se especifique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la figura (7.2D).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
CTHM1	capacidad molino conico	REAL	24-200	ton/h
CTHM2	capacidad molino de bolas	REAL	1.2-80	ton/h
CTHM3	capacidad molino de martillo	REAL	2.5-80	ton/h
CTHM4	capacidad molino de quijada	REAL	10-200	ton/h
CTHM5	capacidad molino pulverizador	REAL	1-5	ton/h
CTHM6	capacidad molino giratorio	REAL	30-200	ton/h
INMCO	molinos conicos a calcular	ENTERA	1-10	* -----
INMBO	molinos de bolas a calcular	ENTERA	1-10	* -----
INMMA	molinos de martillo a calcular	ENTERA	1-10	* -----
INMQU	molinos de quijada a calcular	ENTERA	1-10	* -----
INMPU	molinos giratorios a calcular	ENTERA	1-10	* -----
ITPM	tamaño de partícula del molino de martillo	ENTERA	1-5	* -----

\* El rango de las variables enteras es mostrado en el programa

SUBROUTINA EY: determina el costo de eyectores de vapor. El valor de las variables reales debera ser dado con punto decimal, dentro del rango que se especifique. Las variables enteras tendran un valor que correspondera al número de la opción que se elija de las mostradas en pantalla.

El diagrama de flujo es análogo al mostrado en la fig. (7.2D).

Los datos empleados son los siguientes.

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES
NOE1	tipo y número de condensadores	ENTERA	1-4 *	-----
NEY	número de etapas	ENTERA	1-5 *	-----
NMEY	material de construcción	ENTERA	1-3 *	-----
PY	variable condicional	-----	(S/N)	-----
FAE1	flujo de aire a la entrada	REAL	-----	lb/h
PSV1	presión de succión	REAL	-----	in de H <sub>2</sub> O

\* El rango de las variables enteras es indicado en el programa

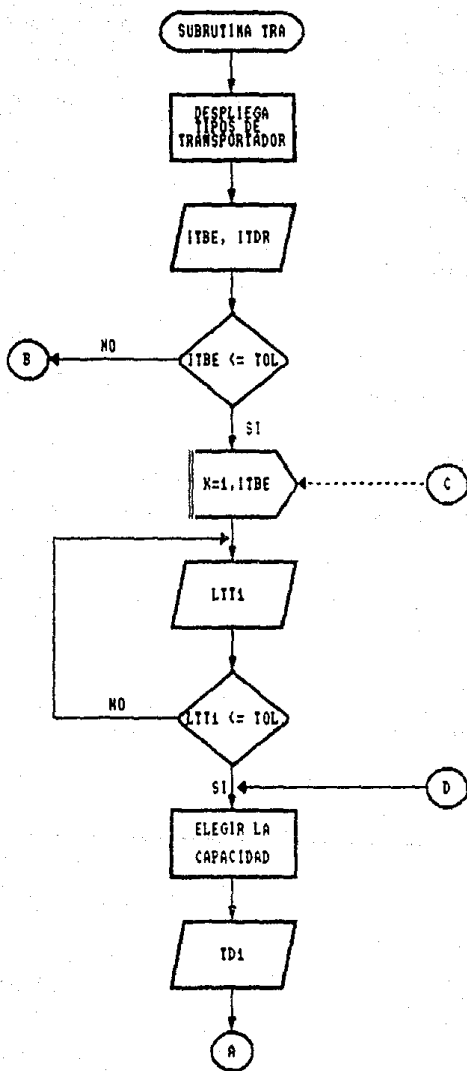
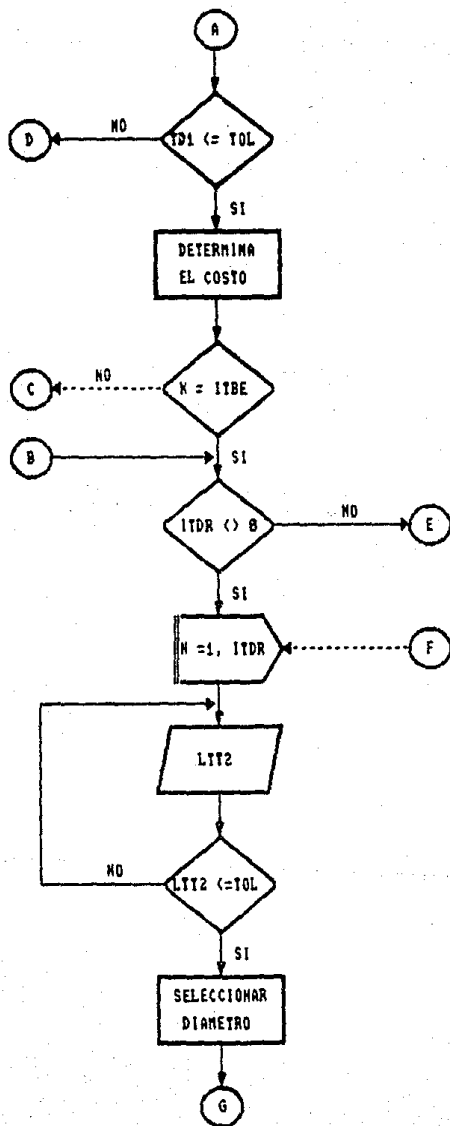
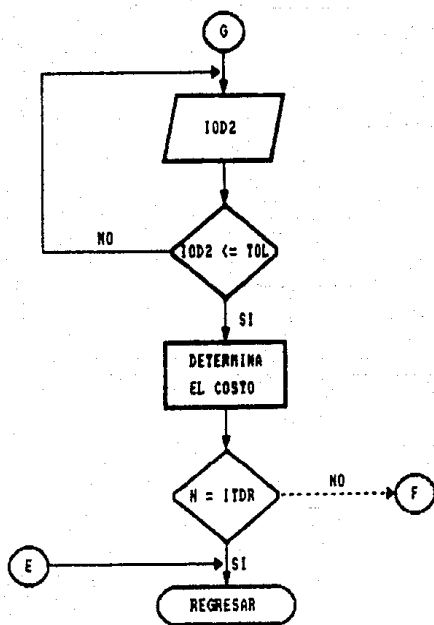


FIG. 7.2D DIAGRAMA DE FLUJO PARA DETERMINAR EL COSTO DE TRANSPORTADORES



CONTINUA FIG. 7.2D





CONTINUA FIG. 7.2D

## RESULTADOS.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del programa, al efectuar una corrida de éste empleando los datos reportados por cotizaciones.

Estos resultados se obtubieron efectuando la corrida para el año de 1989, para obtener éstos se emplearon los índices reportados cada mes, por equipo, en la revista Chemical Engineering ya que las cotizaciones, para los diferentes equipos aquí analizados, están realizadas en diferente mes del año.

Debido a que cuando se empieza a correr el programa se da el valor del índice y éste es empleado para todos los equipos, las corridas para cada equipo fueron realizadas independientemente; esto es, primeramente se determino el costo de un equipo después de otro y así sucesivamente hasta tener el costo de los veinte diferentes equipos que contiene el programa.

El obtener los resultados de esta forma fue para poder ir empleando el índice mensual, por equipo, correspondiente al mes en el que está realizada la cotización.

Primeramente se presentan los casos de estudio en los cuales se dan los datos así como las características, de cada equipo, con los que se obtubieron los costos analizados a continuación.

## CASOS DE ESTUDIO

BOMBAS								
	MATERIAL	HP/RPM	GPM	CDT				
GA-101	AC/Fo.Fo.	15/3500	80	225'				
GA-102	AC/Fo.Fo.	15/3500	250	140'				
GA-103	AC/Fo.Fo.	10/3500	200	110'				
GA-104	AI-316	15/3500	160	150'				
GA-105	AC/Fo.Fo.	3/1750	30	30'				
GA-106	AC/Fo.Fo.	3/1750	40	28'				
FILTROS								
	MATERIAL	AREA FT^2	TIPO DE FILTRO					
FD-101	AC. AL C.	86.64	BATCH					
FD-102	AC. AL C.	72.38	BATCH					
FD-103	AC. AL C.	125.88	BATCH					
FD-104	AC. AL C.	108.12	BATCH					
FD-105	AC. AL C.	83.05	BATCH					
FD-106	AC. AL C.	85.26	BATCH					
MOLINOS								
	MATERIAL	CAPACIDAD TON/H						
ML-101	AC. INOX.	1.25						
ML-102	AC. INOX.	1.30						
ML-103	AC. INOX.	1.40						
CICLONES								
	MATERIAL	AREA FT^2	CALIBRE PULG.					
FC-101	AC. INOX.	5.091	3/16					
SECADORES								
	MATERIAL	PRESION	SUPERFICIE M^2	TIPO DE SEC				
SC-101	AC. AL C.	ATM.	1.28	BATCH				
SOLOAIRES								
	MATERIAL	TEF	TSE	TEA	TSA	No. TUBOS	L. TUBOS	BWG
EC-101	AI-316	60	30	30	50	3	12 M.	12
EYECTOROS								
	MATERIAL	No. ETAPAS	No. COND.	PRESION	FLUJO			
EE-101	AC. INOX.	2	1	85 inH2O	85LB/H			
COMPRESORES								
	MATERIAL	BHP						
GB-101	AC. AL C.	60						
GB-102	AC. AL C.	105						
GB-103	AC. AL C.	100						
GB-104	AC. AL C.	65						
CRISTALIZADORES								
	MATERIAL	CAPACIDAD TON/H					TIPO	
CD-101	AC. AL C.	1.5					BATCH	

TRANSPORTADORES						
	MATERIAL	LONGITUD M.	DIAMETRO M.			
TD-101	AC. INOX.	1.4	0.50			
TD-102	AC. INOX.	2.6	0.15			
TD-103	AC. INOX.	1.8	0.50			
TD-104	AC. INOX.	2.165	0.15			
TD-105	AC. INOX.	2.280	0.15			
INTERNOS DE RECIPIENTES						
	MATERIAL	TIPO DE PLATO	DIAMETRO FT.	No. DE PLA.		
DA-101	AI-304	CAPSULA	4	12		
MOTORES ELECTRICOS						
	H.P.	R.P.M.	TIPO DE MOTOR			
GB-201	60	1755	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-202	50	1760	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-203	40	1750	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-204	30	1735	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-205	25	1735	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-206	20	1740	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-207	15	1740	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-208	10	1735	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-209	7.5	1745	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
GB-210	5.0	1715	MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION			
QUEMADORES DE CAMPO						
	FLUJO DE GAS LB/H		TIPO			
CB-101	19170		QUEMADOR ELEVADO			
TAMICES						
	AREA M <sup>2</sup>	No. DE ETAPAS				
TC-101	1.0548	1				
TC-102	1.6090	1				
RECIPIENTES						
	MATERIAL	TIPO	PESO LB.	DIAMETRO FT.	LONGITUD FT	
FA-101	AC. AL C.	V	12994	3	50	
FA-102	AC. AL C.	H	12994	3	57.5	
COLUMNAS DE ABSORCION						
	MATERIAL	EMPAQUE	PESO LB.	ALTURA EMP.	D. FT	L. FT
DB-101	AI-316	A.R.CER	7607	5	3.5	27
TORRES DE ENFRIAMIENTO						
	T. AGUA C.	T. AGUA F.	TBH	GPM		
EF-101	33 GRAD.C	19 GRAD. C	16C	3300		
EF-102	32 GRAD C	20 GRAD. C	16C	883		
TANQUES DE ALMACENAMIENTO						
	MATERIAL	CAPACIDAD				
FB-101	AI-316	1320 GPM				

INTERCAMBIADORES DE CALOR							
	MATERIAL	D	L	ESP.	N. TUBOS	D TUBOS in	BWG
EA-101	AC.AL C	16'14"	8'	57/16	97 TUBOS	UNA PULG.	14
EA-102	AC.AL C	30'	5'	3/8	77 TUBOS	CEDULA 80	--
CALENTADORES A FUEGO DIRECTO							
	MATERIAL	CAPACIDAD	TIPO	DISEÑO			
BA-101	AC.INOX.	286 BTU/H	CILINDRICO	P2500PSI			

COSTOS CALCULADOS AL AÑO (1989)

COSTO DE BOMBAS  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
GA-101	4303.49	10724297.08	7801000	- 2923297.08	- 37.47
GA-102	4560.39	11364491.88	7627000	- 3737491.88	- 49.00
GA-103	4423.68	11023810.56	6870000	- 4153810.56	- 60.46
GA-104	6519.08	16245547.36	10643000	- 5602597.36	- 52.64
GA-105	3375.28	8411197.76	5641000	- 2770197.76	- 49.10
GA-106	3375.28	8411197.76	5641000	- 2770197.76	- 49.10

promedio ± 49.63

COSTO DE FILTROS  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
FD-101	11346.10	25881149.81	29538697	+ 3657547.19	+ 12.38
FD-102	10090.46	23016353.40	27393451	+ 4377097.60	+ 15.97
FD-103	14476.33	33020523.12	37374521	+ 4353997.88	+ 11.64
FD-104	13109.15	29901985.54	26172621	- 3729364.54	- 14.24
FD-105	11037.87	25177398.14	28603461	+ 3426062.86	+ 11.97
FD-106	11228.37	25611916.91	29178153	+ 3566236.05	+ 12.22

promedio ± 13.07

COSTO DE MOLINOS  
.....

(de bolas)

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
ML-101	21521.90	53632574.80	74067682	+ 20435107.20	+ 27.58
ML-102	15409.79	38401196.68	54055546	+ 15654349.32	+ 28.95
ML-103	27690.66	69005124.72	57673239	- 11331885.72	- 19.64

promedio ± 25.39

COSTO DE CICLONES  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
FC-101	28670.25	71446263	83375196	+ 11928933	+ 14.30

COSTO DE SECADORES  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
SC-101	1863.06	47006767.95	30475521	+ 10531246.95	+ 28.87

COSTO DE SOLOAIRES  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
EC-101	28383.29	70731171.14	50424947	+ 20306224.14	+ 40.27

COSTO DE EYECTORES  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
EE-101	11720.86	29208390.62	47868034	+ 18659643.38	+ 38.98

COSTO DE COMPRESORES  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
GB-101	14626.10	36448252.11	47856661	+ 11408409	+ 23.83
GB-102	27382.48	68237160.10	53561876	- 14675284	- 27.59
GB-103	25067.50	62468226.40	55597773	- 6870453	- 12.34
GB-104	18582.25	46306968.57	33603712	- 12703256	- 37.80

promedio ± 25.34

COSTO DE TRANSPORTADORES  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
TD-101	1152.62	2601480.15	2222500	- 378980	- 17.05
TD-102	2537.10	5726244.00	3633000	- 2093244	- 57.61
TD-103	1422.80	3211267.00	4404000	+ 1192733	+ 27.08
TD-104	2208.34	4984228.00	6329000	+ 1344772	+ 21.24
TD-105	2295.17	5180214.00	7631000	+ 2450786	+ 32.11

promedio ± 31.01

**COSTO DE CRISTALIZADORES**  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
CD-101	18819.595	46898431.64	69508394	+ 22609962.36	+ 32.52

**COSTO DE INTERNOS DE RECIPIENTES**  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
DA-101	1654.9	4124010.8	3280676	- 843334.8	- 25.70
DA-102	2947.91	7346191.72	5544554	- 1801637.7	- 32.49

promedio ± 29.09

**COSTO DE MOTORES ELECTRICOS**  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
GB-201	6535.70	16286971.88	14253030	- 2033941.88	- 14.27
GB-202	4706.01	11727396.86	11119350	- 608046.86	- 5.46
GB-203	3213.39	8007787.81	8331950	+ 324162.18	+ 3.98
GB-204	2031.36	5062166.56	7200490	+ 2138323.44	+ 29.69
GB-205	1548.72	3859427.68	6552480	+ 2693052.32	+ 51.31
GB-206	1134.14	2826294.32	5805470	+ 2979175.68	+ 48.87
GB-207	784.62	1955295.46	3870460	+ 1915164.54	+ 49.48
GB-208	497.45	1239660.10	2634280	+ 1394619.90	+ 52.94
GB-209	376.63	938574.42	2112660	+ 1174085.58	+ 55.57
GB-210	425.96	1061504.78	1440890	+ 379385.22	+ 26.32

promedio ± 32.10

**COSTO DE TAMICES**  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
TC-101	13415.29	33430902.68	27157362	- 6273540.68	- 23.10
TC-102	17220.98	42914682.16	34723912	- 8190770.16	- 23.58

promedio ± 23.34



COSTO DE GUERMADORES DE CAMPO  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
CB-101	23674.95	58997975.4	72895817	+ 13897841.6	+ 19.06

COSTO DE RECIPIENTES  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
FA-101	44416.24	110685270	118783747	+ 8098476	+ 6.81
FA-102	35087.02	87436856	73707950	-13728906	- 18.62

promedio ± 12.71

COSTO DE COLUMNAS DE ABSORCION  
.....

(torre empacada)

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
DB-101	64033.08	159570458	126378418	- 33192040	- 26.26

COSTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
EF-101	27716.5	69070514.8	88956370	+ 19885855	+ 22.35
EF-102	21064.8	52493631.1	62532163	+ 10038531	+ 16.05

promedio ± 19.20

COSTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
FB-101	15783.14	39331587.6	32649766	- 6681821.6	- 20.46

COSTO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
EA-101	19382.25	48300567	40000000	- 8300567	- 20.75
EA-101	15975.31	39810472	34000000	- 5810472	- 17.08

promedio ± 18.91

COSTO DE CALENTADORES A FUEGO DIRECTO  
.....

	DOLARES	PESOS	COTIZACION	DIFERENCIA	% DE ERROR
EA-101	38070.60	94871935.20	86061551	- 8810384.2	- 10.23

## ANALISIS DE RESULTADOS

El siguiente análisis de resultados se efectúa haciendo una comparación entre los costos obtenidos al hacer una corrida del programa desarrollado, empleando los de cotizaciones previamente adquiridas, y los costos obtenidos de éstas cotizaciones.

Al realizar ésta comparación se ha determinado un porcentaje de error del costo calculado por el programa, tomando como base las cotizaciones, éste porcentaje de error se obtiene al calcular el porcentaje que representa la diferencia que existe entre el costo calculado mediante el programa y la cotización.

Al calcular el costo de los equipos se ha considerado el mes en el cual están hechas las cotizaciones y empleando así el índice, de la Chemical Engineering, correspondiente al mes en el cual se efectuaron las cotizaciones. El índice usado es el índice reportado para cada tipo de equipo.

El emplear éste índice, reportado mensualmente, es con el fin de no usar el índice promedio anual y disminuir así el porcentaje de error.

A continuación se indica el porcentaje de error obtenido para cada uno de los equipos y los factores por los cuales se obtienen éstos porcentajes.

Al determinar el costo de bombas se obtuvo un  $\pm 49.6\%$  de error, esto se debe a que el método emplea más parámetros que la cotización. Este porcentaje de error se debe también a que se han comparado los equipos más semejantes, en cuanto a número y tipo

de parámetros empleados para determinar el costo.

El porcentaje de error obtenido para filtros es de  $\pm 13.07\%$ , un factor que se refleja en éste porcentaje es la presión de diseño que se emplea en las cotizaciones como parámetro, el cual no es considerado por el método empleado en el programa.

En cuanto a molinos se refiere el porcentaje de error obtenido es de  $\pm 25.39\%$ , esto es debido a que en el método se emplean correlaciones válidas en un rango de valores dentro del cual no se encuentran algunos valores empleados en la cotización, otro factor es el tamaño de partícula empleado como parámetro de diseño por el método de cálculo, parámetro que no es empleado en las cotizaciones.

Para los siguientes nueve equipos no se puede hacer un análisis más detallado debido a que solo se tiene una cotización para cada uno de éstos equipos y por consiguiente no se puede hacer un análisis basandose en un solo dato. Los porcentajes obtenidos para éstos equipos son: para ciclones es de  $14.30\%$ ,  $28.87\%$  para secadores,  $40.27\%$  para soloaires,  $38.98\%$  para eyectores,  $32.53\%$  para cristalizadores,  $19.06\%$  para quemadores de campo,  $26.26\%$  para columnas de absorción,  $20.46\%$  para tanques de almacenamiento y  $10.23\%$  para calentadores a fuego directo.

Estos porcentajes se deben a que para algunos equipos el número y tipo de parámetros empleados no son los mismos que usan los métodos a los que se emplean en las cotizaciones.

Para compresores se obtuvo un  $\pm 25.34\%$  de error esto se debe a que el método empleado en el programa usa únicamente la potencia del compresor como parámetro de diseño mientras que en la cotización se emplean capacidad y presión, además de la

potencia.

Para transportadores se tiene un  $\pm 31.01\%$  de error esto se debe a que las cotizaciones emplean otras especificaciones que no se usan en el método de cálculo y viceversa.

Al determinar el costo de internos de recipientes se obtuvo un  $\pm 29.09\%$  de error debido a que el valor de los parámetros empleados en la cotización están fuera del rango en el que son válidas las correlaciones empleadas.

Los costos calculados para motores eléctricos tienen un  $\pm 32.10\%$  de error esto se debe a que las características y especificaciones de los motores calculados en las cotizaciones son diferentes a las a las que se tienen en el método de cálculo implementado al programa.

Para tamices el porcentaje de error obtenido es de  $\pm 23.34\%$  esto se debe a que el número y tipo de parámetros empleados tanto en el programa como en la cotización difieren un poco.

Al determinar el costo de recipientes a presión se obtuvo un  $\pm 12.71\%$  de error, esto se debe a que algunos de los parámetros empleados por el programa difieren con los empleados en la cotización, otros parámetros empleados en la cotización no son empleados por el método implementado al programa.

El porcentaje de error obtenido para torres de enfriamiento es de  $\pm 19.20\%$  de error, esto se debe a que las cotizaciones y el método no emplean el mismo número de parámetros.

El costo de intercambiadores de calor presenta un  $\pm 18.91\%$  de error, esto se debe a que el método implementado al programa emplea parámetros de diseño que no son empleados en las cotizaciones.

Como se ha visto el porcentaje de error fluctua entre 10-50%. Algunos equipos tienen un 20% mientras que otros tienen un 45 hasta un 50% de error, esta variación entre un equipo y otro se debe a que las cotizaciones para algunos equipos, los que tienen un mayor porcentaje de error, son realizados en base a un determinado número de parámetros que en ocasiones no todos son empleados por los métodos de cálculo implementados al programa, y en otras ocasiones éstos métodos consideran un mayor número de parámetros que los empleados por las cotizaciones.

Para otros equipos se da el caso de que tanto las cotizaciones como el método, empleado en el programa, utilizan el mismo número y tipo de parámetros, con la desventaja de que el valor de los parámetros empleados en las cotizaciones se encuentre fuera del rango en el cual es válida la correlación, de donde se deriva que se obtenga un menor porcentaje de error en comparación con los otros.

Estas variaciones en el costo se deben también a que algunos métodos de cálculo incluyen el costo de accesorios e instrumentación del equipo y otros métodos solo determinan el costo del equipo sin accesorios, lo cual es determinante en el porcentaje de error que presentan los costos calculados.

En algunos casos no son los mismos equipos que se están comparando, pero se trata de comparar los más semejantes, debido a que el valor de los datos empleados en las cotizaciones se encontraban fuera del rango en el que es válida la correlación, por consiguiente se trata de comparar los casos en los cuales los datos, con los que se contaba, se apegaban más a los requerimientos del programa.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de un paquete de computo para estimar el costo del equipo principal de plantas de proceso es el tema desarrollado en este trabajo, el cual ha sido posible realizar a partir de un análisis de los principales métodos de estimación de costo de equipo de proceso para con este análisis poder seleccionar los métodos de estimación de costo e implementarlos a un programa y constituir así un paquete de computo que estime el costo de equipo de plantas de proceso.

Una vez desarrollado el paquete de computo se han comparado los resultados obtenidos a partir de éste, tomando como base el costo obtenido a partir de cotizaciones efectuadas en 1989. En base a esta comparación se ha determinado un porcentaje de error que presentan los resultados respecto a las cotizaciones.

Como se analizó anteriormente (análisis de resultados), el porcentaje de error varía desde un 10 hasta un 50% dependiendo del equipo de que se trate.

Este porcentaje de error se debe principalmente a que los métodos implementados al programa no emplean el mismo número y tipo de parámetros de diseño que usan las cotizaciones para determinar el costo. Otro factor que influye en la variación de los costos son los índices empleados en el programa y los índices empleados en las cotizaciones, en el programa se usan los índices de la Chemical Engineering que se publican para cada equipo de proceso, siendo que estos índices aplican para los Estados Unidos y los índices empleados en las cotizaciones aplican solo

en México.

Debido a éstos factores se obtiene un margen de error hasta del 50% , esto no implica que no sea conveniente emplear el paquete de computo para determinar el costo de los equipos que por medio de éste se determinan. Si se emplean los índices correspondientes y los valores de los parámetros empleados para cada equipo se encuentran dentro del rango en que sea aplicable cada correlación los costos obtenidos a partir del programa serán tan confiables como los obtenidos a partir de las cotizaciones.

La desventaja que presenta el desarrollar una herramienta sistemática, como lo es el paquete de computo, es que ésta herramienta debe ser actualizada constantemente para así obtener mejores resultados, una ventaja es la disminución del tiempo empleado para determinar el costo de los equipos al emplear ésta herramienta.

Para actualizar cualquier método de los empleados en éste programa se debe hacer sustituyendo el método actual por el método anterior. Esta actualización de métodos se debe efectuar en los programas fuente, programas que tienen la extensión (.FOR) ver sección VII.



**A P E N D I C E**  
**INDICADORES ECONOMICOS**

INDICE DE COSTO DE EQUIPO

CHEMICAL ENGINEERING

promedio anual

año	indice
1980	292.2
1981	323.0
1982	336.2
1983	336.0
1984	344.0
1985	347.2
1986	336.3
1987	343.9
1988	345.2
1989	352.6

**INDICE DE COSTO DE EQUIPO****MARSHALL AND SWIFT**

año	indice
1980	659.6
1981	721.3
1982	745.6
1983	760.7
1984	780.4
1985	789.6
1986	797.7
1987	813.6
1988	852.7
1989	884.7

PARIDAD MONEDA NACIONAL PESO/DOLAR USA

AÑO	PARIDAD
1980	22.93
1981	24.48
1982	57.44
1983	120.17
1984	167.17
1985	256.96
1986	611.35
1987	1366.73
1988	2275.43
1989	
ENERO	2310.0
FEBRERO	2338.0
MARZO	2369.0
ABRIL	2397.0
MAYO	2430.0
JUNIO	2463.0
JULIO	2492.0
AGOSTO	2523.0
SEPTIEMBRE	2548.0
OCTUBRE	2578.0
NOVIEMBRE	2607.0
DICIEMBRE	2637.0
1989 (prom.)	2474.3

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- D. H. Allen, "Revised Technique for Predesing Cost Estimating", Chemical Engineering, Vol. 82, No. 5, March 3, 1975.
- 2.- Michael A. Benning, "Estimating Costs of Process Development Units", Chemical Engineering, Vol. 94, No. 1, January 19, 1987.
- 3.- Don R. Bonand, "Cost Escalation its Impact on Purchased Equipment", Chemical Engineering, Vol. 82, No. 14, July 7, 1975.
- 4.- David R. Chase, "Plant Cost vs. Capacity New Way to Use Exponents", Chemical Engineering, Vol. 77, No. 7, April 6, 1970.
- 5.- Armando B. Corripio, "Estimate Costs of Heat Exchangers and Storage Tanks via Correlations", Chemical Engineering, Vol. 89, No. 2, January 25, 1982.
- 6.- Armando B. Corripio, " Estimate Costs of Centrifugal Pumps and Electric Motors", Chemical Engineering, Vol. 89, No.4, February 22, 1982.
- 7.- M. B. Desai, "Preliminary Cost Estimating of Process Plants", Chemical Engineering, Vol. 88, No. 15, July 27, 1981.
- 8.- J. W. Drew, "How to Estimate the Cost of Pilot Plant Equipment", Chemical Engineering, Vol. 77, No. 3, February 9, 1970.
- 9.- G. Enyedy, Jr., "Cost Data for Major Equipment", Chemical Engineering Progress, Vol. 67, No. 5, May, 1971.

- 10.- Lawrence D. Epstein, "Cost of Standar-Sized Reactors and Storage Tanks", Chemical Engineering, Vol. 78, No. 24, October 18, 1971.
- 11.- R. W. Foster, Pehh, "Capital Cost of Gas Turbine Heat Recovery Boilers", Chemical Engineering, Vol. 93, No. 14, July 21, 1986.
- 12.- Richard S. Hall, "Current Costs of Process Equipænt", Chemical Engineering, Vol. 89, No. 7, April 5, 1982.
- 13.- George H. Hoerner, Jr., "Nomograph up Dates Process Equipænt Costs", Chemical Engineering, Vol. 83, No. 11, May 24, 1976.
- 14.- Ivan V. Klumpar and Steven T. Slavsky, "Vodated Cost Factors: Process Equipænt", Chemical Engineering, Vol. 92, No. 15, July 22, 1985.
- 15.- William S. Meyer and Donald L. Kime, "cost Estimation for Turbine Agitators", Chemical Engineering, Vol. 83, No. 20, September 27, 1976.
- 16.- J. S. Miller, "Installed Cost of a Distillation Columan", Chemical Engineering, Vol. 84, No. 8, April 11, 1977.
- 17.- Antonio Mulet, "Estimate Costs of Pressure Vessels via Correlations", Chemical Engineering, Vol. 88, No. 20, October 5, 1981.
- 18.- Antonio Mulet, "Estimate Cost of Distillation and Absortion Towers via Correlations", Chemical Engineering, Vol. 80, No. 26, December 28, 1981.
- 19.- P. S. Phadre, "Estimating the Costs and Weights of Process Vessels", Chemical Engineering, Vol. 84, No. 8, April 11 1977.

- 20.- Arkadie Pikulik and Héctor E. Díaz, "Cost Estimating for Major Process Equipment", Chemical Engineering, Vol. 84, No. 21, October 10, 1977.
- 21.- Purohit G. P., "Estimating Cost of Shell and Tube Heat Exchangers", Chemical Engineering, Vol. 90, No. 17, August 22, 1983.
- 22.- Purohit G. P., "Cost of Double-Pipe and Multitube Heat Exchangers - Part 1", Chemical Engineering, Vol. 92, No. 5, March 4, 1985.
- 23.- Purohit G. P., "Cost of Double-Pipe and Multitube Heat Exchangers - Part 2", Chemical Engineering, Vol. 92, No. 7, April 1, 1985.
- 24.- William M. Vatauvuk, "Part V : Estimating the Size and Cost of Gas Conditioner", Chemical Engineering, Vol. 88, No. 2, January 26, 1981.
- 25.- William M. Vatauvuk, "Part VI : Estimating Costs of Dust - Removal and Water-Handling Equipment", Chemical Engineering, Vol. 88, No. 6, March 23, 1981.
- 26.- William M. Vatauvuk, "Part VII : Estimating Cost of Fans And Accessories", Chemical Engineering, Vol. 88, NO. 10, May 18, 1981.
- 27.- William M. Vatauvuk, "Part IX : Costs of Electrostatic Precipitators", Chemical Engineering, Vol. 88, No. 18, September 7, 1981.
- 28.- William M. Vatauvuk, Part X : Estimating Size and Cost OF Venturi Scrubbers", Chemical Engineering, Vol. 88, No. 24, November 30, 1981.

- 29.- William M. Vatavuk, "Part XI : Estimate the Size and Cost of Baghouses", Chemical Engineering, Vol. 89, No. 6, March 22, 1982.
- 30.- William M. Vatavuk, "Part XII : Estimate the Size and Cost of Incinerators", Chemical Engineering, Vol. 89, No. 14, July 12, 1982.
- 31.- William M. Vatavuk, "Part XIII : Cost of gas Absorbers", Chemical Engineering, Vol. 89, No. 20, October 4, 1982.
- 32.- William M. Vatavuk, "Part XIV : Cost of Carbon absorbers", Chemical Engineering, Vol. 90, No. 2, January 24, 1983.
- 33.- William M. Vatavuk, "Part XV : Cost of Flares", Chemical Engineering, Vol. 90, No. 4, February 21, 1983.
- 34.- Adam Zanker, "Estimating Cooling Tower Costs from Operating Data ", Chemical Engineering, June 12, 1976.
- 35.- Institut Francais du Pétrole, "Manual of Economic Analysis of Chemical Processes" , Mc Graw Hill, New York, 1981.
- 36.- Popper H. "Modern cost Engineering Technique", Mc Graw Hill".