

29  
8



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

ESTIMADO Y CONTROL DE COSTO DE EQUIPO  
EN UNA PLANTA PETROQUIMICA

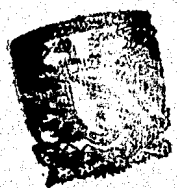
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A

JORGE ALEJANDRO AVELLA MARTINEZ

MEXICO, D. F.

1986



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA



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 está 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.

## I N D I C E

INTRODUCCION.....	1
I.- CLASIFICACION DE LOS ESTIMADOS DE COSTO.....	3
1.1 Objetivos del estimado de costo.....	3
1.2 Tipos de estimado.....	4
1.2.1 Estimado de orden de magnitud (rango $> \pm 30\%$ ).....	5
1.2.2 Estimado de orden de magnitud (rango $\pm 30\%$ ).....	6
1.2.3 Costo estimado preliminar (rango $\pm 20\%$ ).....	6
1.2.4 Costo estimado (rango $\pm 10\%$ ).....	6
II.-CONTROL DE COSTOS DE EQUIPO.....	10
2.1 Finalidad del control de costos.....	10
2.2 Catflogo de cuentas.....	11
III.-METODOLOGIA.....	14
3.1 Introducci3n.....	14
3.2 Bases.....	14
3.3 Fuente de datos y par3metros de costo.....	15
3.4 Elaboraci3n de una correlaci3n.....	18

IV.- ESTIMADO DE COSTO DE EQUIPO DE PROCESO.....	25
4.1 Calentadores a fuego directo.....	25
4.2 Recipientes.....	40
4.3 Internos de torres y recipientes.....	67
4.4 Cambiadores de calor.....	105
4.5 Equipo mecánico.....	147
4.5.1 Bombas.....	147
4.5.2 Compresores.....	189
 CONCLUSIONES .....	 239
 BIBLIOGRAFIA .....	 242

## ESTIMACION DE COSTO DE EQUIPO

### 1) INTRODUCCION

La Estimación de Costo de Equipo es uno de los factores primordiales - para la evaluación económica de un proceso, y además fundamental para la toma de decisiones.

La estimación de costo de equipo interviene cuando se tenga que hacer :

- a) Análisis Económicos de Alternativas
- b) Programas de Erogaciones
- c) Estimados de Inversión
- d) Principalmente para Adquisición de Equipo.

Con respecto al inciso (a), es importante proporcionar el costo óptimo del equipo que cumpla además con las condiciones requeridas de proceso.

Para el segundo inciso, es necesario desarrollar un programa que indique el desembolso de capital que se hará conforme lo manifieste el programa general del proyecto (Control de Equipo y Materiales).

En la elaboración de Estimados de Inversión, el costo de equipo es la base para determinar el costo de materiales, indirectos, ingeniería, - así como el costo total de la planta (cuando el Estimado de Inversión se hace mediante factores).

En lo correspondiente a la adquisición de equipo, el dar un costo estimado es significativo para determinar el tipo de concurso que se efectuará, así como tener una idea del costo esperado del equipo, que servirá para fines de presupuesto y control.

Por lo tanto, para efectuar una Estimación del costo total de equipo, - es importante conocer la lista del equipo involucrado en el proceso.

## I.- CLASIFICACION DE LOS ESTIMADOS DE COSTO

### 1.1 OBJETIVO DEL ESTIMADO DE COSTO

La evaluación de un proyecto consiste de un análisis tanto de la ingeniería como de la economía del mismo y en su sentido más amplio es una operación continuada. La evaluación de un proyecto debe continuar a intervalos regulares de tiempo, con objeto de cubrir de esta manera los datos nuevos y significativos que se vayan obteniendo.

Esta reevaluación continúa de los factores de ingeniería y económicos de un proyecto determinado, ayuda a la planeación global de el trabajo.

La evaluación económica de los proyectos debe continuar aún después de que la planta entra en operación.

La evaluación de un proyecto y su instrumento primordial, la estimación de costos, penetran en cada fase del desarrollo, diseño, construcción y operación de una planta.

Tanto las compañías de operación como las firmas de ingeniería poseen departamentos competentes de estimación de costos. Estos grupos son divisiones de la organización central de ingeniería. La obligación principal de estos departamentos es desarrollar estimado de costo lo más preciso posible, basados en informaciones de diseño razonablemente firmes y en los costos disponibles de equipo más recientes. Tales in-

formaciones son tardadas y costosas pero son necesarias.

Ya que los costos de equipo representan, un porcentaje importante de los estimados de inversión preliminares, detallados y definitivos, de ahí su gran importancia y la necesidad de disponer de métodos confiables que permitan una correcta estimación.

En las compañías de ingeniería generalmente se cuenta con profesionales especializados, dedicados a la recopilación, actualización y organización de datos que proporcionen una base estadística adecuada para la aplicación de métodos de estimación propios y basados en los que aparecen en la literatura, con esto puede lograrse una mejor aproximación al evaluar los costos requeridos.

## 1.2 TIPOS DE ESTIMADOS

Existen varios tipos de estimados de costo de equipo y la exactitud de estos se encuentran en función directa de la información con que se cuenta, por lo tanto es importante comprender que una exactitud razonable en un estimado de costo de equipo requiere de un sólido criterio basado en la experiencia.

Los tipos de estimado más comúnmente usados son los siguientes:



### 1.2.1 ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD (rango $> \pm 30\%$ )

Este tipo de estimado se lleva a cabo cuando la información de que se dispone es muy poca y por lo tanto el error que se tiene al efectuar un estimado de esta naturaleza es considerable.

Un estimado de orden de magnitud tiene como finalidad el dar información en la fase inicial de un proyecto de los costos aproximados de materiales y equipos de proceso y en base a esto tomar una decisión con respecto a la viabilidad de llevar a cabo una inversión. Para poder efectuar un estimado de este tipo, se requiere conocer al menos una variable o parámetro de costo del equipo considerado.

Estos estimados se basan en la relación de capacidades y para ello se utiliza la siguiente ecuación :

$$\text{Costo A} = \text{Costo B} \left[ \frac{\text{Capacidad A}}{\text{Capacidad B}} \right]^n$$

en donde :

Costo A = costo del equipo que se desea estimar

Costo B = costo del equipo conocido o de referencia

Capacidad A = capacidad del equipo a estimar

Capacidad B = capacidad del equipo conocido

n = exponente que depende del tipo de equipo. En la literatura se encuentran reportados los valores del exponente n para diferentes tipos de equipos (tabla I E)

### 1.2.2 ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD (rango $\pm$ 30%)

Estos estimados se realizan cuando la información de que se dispone proviene de croquis preliminares del proceso, además de suponer condiciones de diseño y determinación de todas las posibles variables de costo.

### 1.2.3 COSTO ESTIMADO PRELIMINAR (rango $\pm$ 20%)

Un estimado preliminar se utiliza generalmente para la asignación de fondos en un presupuesto de compra. Para poder efectuar un estimado de esta naturaleza es necesario disponer de una mayor información que en los casos anteriores. La información requerida para este caso es la siguiente: Diagramas de flujo, lista de equipo preliminar, hojas de datos en las que se especifican las dimensiones de los equipos, arreglo, temperatura, presión de diseño, material de construcción, etc.

### 1.2.4 COSTO ESTIMADO (rango $\pm$ 10%)

Se efectúa cuando se dispone de especificaciones y diagramas completos de ingeniería, correspondientes a la última revisión, aprobados para concurso y construcción del mismo.

Como complemento de lo expuesto anteriormente, a continuación - se presenta una tabla comparativa de los diferentes tipos de -- estimados, así como las características requeridas de los equi- pos para realizar cada tipo de estimado en particular.

TABLA 1.E .- EXPONENTES TÍPICOS PARA EQUIPOS DE PROCESO.

<u>DESCRIPCION</u>	<u>EXPONENTE</u>
Hornos .....	0.85
Torres fraccionadoras .....	0.73
Torres empacadas .....	0.65
Recipientes verticales .....	0.65
Recipientes horizontales .....	0.60
Tanques atmosféricos .....	0.70
Esferas de almacenamiento .....	0.70
Secadores .....	0.50
Filtros .....	0.53
Cambiadores de calor .....	0.60
Enfriadores por aire .....	0.80
Bombas centrífugas/motor .....	0.60
Bombas centrífugas/turbina .....	0.55
Bombas reciprocantes .....	0.70
Compresores de gas .....	0.82
Compresores de aire .....	0.75
Calderas .....	0.75
Torres de enfriamiento .....	0.60
Cristalizadores .....	0.65
Sopladores y ventiladores .....	0.65
Filtro prensa .....	0.58
Secadores rotatorios .....	0.63
Evaporadores tiro forzado .....	0.70

INFORMACION NECESARIA PARA EFECTUAR UN ESTIMADO DE COSTO

E Q U I P O	ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD RANGO $\pm$ 30%	ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD RANGO $\pm$	COSTO ESTIMADO PRELIMINAR RANGO $\pm$ 20%	COSTO ESTIMADO RANGO $\pm$ 10%
Calentadores a Fuego directo -- (hornos)	Tipo de servicio, carga -- térmica (Q). Aplicar ecuación de relación de capacidades.	Tipo de servicio, carga -- térmica (Q) y croquis preliminar.	Tipo de servicio, carga -- térmica (Q), diagrama preliminar, y presión de diseño.	Tipo de servicio, diagramas y especificaciones de ingeniería y hojas de datos.
Torres, Recipientes, Reactores, Filtros y Tanques de Almacenamiento.	*	*	Tipo de servicio, hoja de datos (Pd, Td, C, Fluido), -- predimensionamiento, material de construcción. Calcular peso del equipo.	Dibujos de ingeniería (Pd, Td, peso del equipo y especificaciones de materiales).
Internos de Torres y recipientes.	*	*	Tipo de servicio, cantidad de platos o mallas, diámetro, tipo de diseño, tipo de unidades de contacto -- (válvulas, balastras, etc.). Seleccionar materiales de construcción.	Hoja de datos, cantidad de platos o mallas, diámetro, tipo de diseño, tipo de unidades de contacto, calibre del plato y de unidades de contacto, materiales de construcción.
Cambiadores de calor y enfriadores por aire.	Tipo de servicio, recomendar materiales de construcción para tubos, coraza y aletas, Área. Aplicar ecuación de relación de capacidades.	Tipo de servicio, croquis preliminar, recomendar materiales de construcción de tubos, coraza y aletas, calcular área de transferencia, selección del tipo de equipo.	Tipo de servicio, especificación de materiales de construcción para tubos, coraza y aletas, área de transferencia y tipo de equipo.	Hoja de datos y dibujos de ingeniería, (área, tipo de equipo, materiales de construcción, pesos, tamaños y -- arreglos).
Bombas, Compresores y Turbinas.	Tipo de proceso, capacidad. Aplicar la ecuación de relación de capacidades.	Capacidad, presión diferencial, condiciones y propiedades del fluido a manejar, seleccionar materiales de construcción, suponer eficiencia de operación y calcular potencia.	Capacidad, presión diferencial, condiciones y propiedades del fluido a manejar, seleccionar materiales de construcción, potencia.	Hoja de datos, (Tipo de equipo principal, materiales de construcción, potencia, BHP, -- velocidad, tipo de accionador, potencia y velocidad del -- accionador.

\* Este tipo de estimados generalmente no se efectúa para los equipos señalados.

NOTA: Los croquis y diagramas preliminares se refieren al proceso, en tanto que los dibujos de ingeniería se refieren a cada equipo en particular.

## II.- CONTROL DE COSTOS DE EQUIPO.

### 2.1 FINALIDAD DEL CONTROL DE COSTOS

Un estimado de costos de equipo nos permite establecer un criterio definitivo tanto en la disponibilidad de recursos y financiamiento de un proyecto, así como en la rentabilidad del mismo.

El estimado de costos tanto de ingeniería como de equipo y materiales aún cuando no son los únicos conceptos que forman el estimado de costos total de un proyecto, si son los componentes más importantes puesto que a partir de ellos es posible determinar la cantidad necesaria a erogar hasta la conclusión del proyecto. Con los datos estimados y con un programa de actividades del proyecto, es posible elaborar un programa de erogaciones, (en el presente trabajo, sólo se consideran las erogaciones debidas a la adquisición de equipo de proceso y materiales).

Como se vió anteriormente, el grado de exactitud o el porcentaje de error que se tiene al efectuar un estimado, está en función directa de la información de que se dispone. Por lo tanto, si se tiene un control de costos adecuado, es posible disponer de un banco de datos que contenga costos reales de equipo, y fechas en la cual fueron adquiridos, así como tipos y características del equipo con el fin de contar con un archivo actualizado.

El control de costos de equipo es de suma importancia para todo ingeniero relacionado con la estimación de costos de equipo (ya que le proporcionan una gran cantidad de datos que puede utilizar para desarrollar sus métodos de estimación).

## 2.2 CATALOGO DE CUENTAS

Un control adecuado de costos de equipo y materiales se auxilia mediante un catálogo de cuentas.

El catálogo de cuentas deberá de ser diseñado y estructurado por el departamento de ingeniería de costos, contando siempre con la asistencia técnica de las diferentes especialidades, con el fin de que dicho catálogo cumpla con las siguientes consideraciones:

- a) Suministrar una forma de identificación uniforme para equipos de proceso, materiales, etc.
- b) Servir de índice general para todas las familias de equipos que forman parte del proyecto.
- c) Facilitar la recopilación de datos generales y particulares para el control de costos.
- d) Suministrar datos estadísticos de costos para preparar nuevos estimados.

- e) Suministrar una forma correcta de archivo para control de contabilidad y auditoría.
- f) Satisfacer las necesidades de programación del proyecto en todas -- sus etapas.

El catálogo de cuentas utilizado en el presente trabajo no es otra cosa que la selección de los diferentes equipos en partidas. Estas partidas generalmente se caracterizan por agrupar dentro de cada una de ellas equipo con características comunes.

Este catálogo de cuentas se compone de las siguientes partidas:

<u>CUENTA</u>	<u>DESCRIPCION</u>
BA	Calentadores, hornos y hervidores a fuego directo.
DA	Torres.
DB	Internos de torres (platos, empaques, rejillas, etc.)
DC	Reactores.
EA	Cambiadores de Calor.
EC	Cambiadores enfriados por aire.
FA	Recipientes de proceso y tanques acumuladores atmosféricos y a presión.
FD	Internos de recipientes y tanques (mallas) - separadoras, eliminadores de niebla, rejillas).



<u>CUENTA</u>	<u>DESCRIPCION</u>
GA	Bombas
GB	Compresores
GM	Motores Eléctricos
GT	Turbinas
HA	Tubería, válvulas y conexiones
KA	Instrumentos y controles
NA	Equipo y material eléctrico
PA	Paquetes de equipos especiales

Mediante el uso de un control de costos utilizando el catálogo de cuen-  
tas es posible y sobre todo recomendable, emitir un reporte periódico  
de las adquisiciones y gastos que se van efectuando a medida que avan-  
za el proyecto. Un reporte de esta naturaleza es de suma importancia  
para las personas encargadas de dirigir un proyecto. Es conveniente -  
emitir un reporte de adquisiciones mensualmente y distribuirlo a las -  
personas que coordinan un proyecto ya que de esta forma es posible lle-  
var a cabo una mejor administración del mismo además de poder comparar  
el avance real del proyecto con lo programado.

### III.- METODOLOGIA

#### 3.1 INTRODUCCION

El grado de exactitud o porcentaje de error que se tiene al llevar a cabo el estimado de costo de un equipo, se encuentra en una función directa de la información de que se dispone. Por lo tanto una etapa muy importante en el proceso de un estimado de costo es la recopilación de datos, los cuales sirven como base en la elaboración de la herramienta necesaria para efectuar un estimado de costo.

En cualquier firma de ingeniería se acumula un sustancial número de datos de costo para equipo de proceso. Estos datos pueden ser usados para tener una idea general de los costos. Sin embargo los costos para un equipo en particular dependerá de las especificaciones en tamaño o capacidad, así como de la fecha a la cual se requiera el costo.

#### 3.2 BASES

El estimado de costo de un equipo se efectúa mediante curvas y/o ecuaciones de costo de equipo. Si la información disponible para cierto equipo de construcción especial no es adecuada la evaluación de equipo se realiza por cotización directa con el fabricante, generalmente esto sucede cuando el equipo es muy complejo como para determinar su costo mediante gráficas y/o ecuaciones de costo.

### 3.3 FUENTES DE DATOS Y PARAMETROS DE COSTO

Con el fin de obtener correlaciones de costo con un grado de exactitud aceptable, es necesario disponer del mayor número posible de datos. Estos se obtienen generalmente de documentos tales como: órdenes de compra, cartas o telex de intento, tabulaciones técnicas y comerciales, dibujos de diseño o cotizaciones de los fabricantes o proveedores, así como de boletines o artículos técnicos o de publicaciones de costos de equipo de proceso y materiales (1). Los datos así obtenidos se recopilan en unas formas las cuales son diseñadas para cada tipo en particular (en la Fig. (3) se muestra una forma para la recopilación de datos para recipientes a presión y torres). En estas formas se vacían los datos comerciales y técnicos que sirven como parámetros para la elaboración de las correlaciones de costo.

Debido a que el costo de cualquier equipo, depende invariablemente de más de un parámetro, es posible obtener diferentes correlaciones de costo dependiendo del parámetro usado para elaborar la correlación.

Los parámetros que más afectan el costo de un equipo se resumen de una manera en la tabla siguiente:

FIGURA 3.1

TORRES, RECIPIENTES, REACTORES, FILTROS Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO.					PROYECTO: _____
					HOJA DE _____
CLAVE: _____ SERVICIO: _____ DIAMETRO: _____ LONGITUD: _____ TEMP. DE DISEÑO: _____ PRES. DE DISEÑO: _____ ESPESOR DE ENV.: _____ TIPO DE CABEZAS: _____ ESPESOR DE RECUBRIMIENTO: _____ MATERIAL: _____ CAPACIDAD: _____ ESPESOR DE CABEZAS: _____	POSICION: _____ RELEVADO DE ESF.: _____ RADIOGRAFIA: _____ EFICIENCIA DE JUNTA LONG.: _____ PRES. EXTERIOR DE SEGURIDAD: _____ FALDON: _____ DIAMETRO: _____ LONGITUD: _____ ESPESOR : _____ MATERIAL: _____	PROVEEDORES CONCEPTO			
COSTO DEL EQUIPO PESO EN KG. COSTO/KG. COSTO DE : PARTES DE REPUESTO FLETE TIPO DE CAMBIO VIGENCIA L.A.B.					
COSTO DEL EQUIPO PESO EN KG COSTO/KG COSTO DE: PARTES DE REPUESTO FLETE TIPO DE CAMBIO VIGENCIA L.A.B.					

TABLA 3.1 .- PRINCIPALES PARAMETROS DE COSTO PARA EQUIPOS DE PROCESO.

<u>E Q U I P O</u>	<u>PARAMETROS DE COSTO</u>
Calentadores a Fuego directo (Hornos).	Carga térmica, materiales de construcción, procedencia de materiales, tipo de calentador (servicio).
Torres, recipientes a presión Reactores, filtros y tanques - de almacenamiento.	Dimensiones, material de construcción, presión de diseño, temperatura de diseño, peso y posición.
Internos de Torres (Platos).	Diámetro, material del plato y de las unidades de contacto, tipo de plato, número de pasos y calibre.
Internos de torres y recipientes (eliminadores de niebla)	Diámetro, espesor, material de construcción, densidad de la malla.
Internos de reactores y filtros (Empaques, distribuidores, platos soportes, limitadores, canastas metálicas, etc.)	Tamaño, tipo y material de construcción.
Cambiadores de Calor.	Tipo Tema, material, diámetro, calibre y longitud de tubos, arreglo, coraza, $\phi$ coraza, material de la coraza y área de transferencia de calor.
Enfriadores por aire.	Tipo de equipo, material, diámetro, calibre y longitud de tubos, material de aletas, área de transferencia alotada.
Bombas, Compresores, Motores y Turbinas.	Temperatura de diseño, servicio, -- tipo, material de construcción, velocidad, capacidad, presión diferencial y potencia.

### Elaboración de una correlación de costo.

Una vez que se ha recopilado suficiente información acerca de un equipo se procede a agrupar los datos de equipos con características comunes. Para ilustrar la forma en que se elabora una correlación de costo se describe a continuación cada uno de los pasos necesarios para -- obtener las curvas de costo para recipientes a presión.

a) Agrupando los datos de recipientes a presión por material de construcción y por posición, tenemos los siguientes grupos:

- Recipientes de material SA-515-70 horizontal.
- Recipientes de material SA-515-70 vertical
- Recipientes de material SA-285-C horizontal
- Recipientes de material SA-285-C vertical
- Recipientes de material S.S. 304 horizontal
- Recipientes de material SA-203-B horizontal

Esto significa que es posible obtener seis diferentes correlaciones de costo para recipientes a presión.

b) Habiendo formado los grupos anteriores se procede de la manera siguiente:

- Con el costo total y el peso del recipiente, calcular el costo unitario (costo/Kg), generalmente este dato es proporcionado por el fabricante.

- Trasladar los costos unitarios a una misma fecha ( a la que se requiera la correlación base) por medio de índices de escalación.
- Hacer una gráfica preliminar de los puntos para determinar la -- tendencia de los costos.
- Una vez determinada la tendencia, se seleccionan los puntos que - se ajusten mejor a ella.
- Los datos seleccionados se someten a cinco funciones diferentes

Las funciones a las que se ajustan los datos son las siguientes:

- I. Lineal (Costo/Kg) = A + B (Peso en Kg.)
- II. Cuadrática (Costo/Kg) = A+B (Peso en Kg)+C(Peso en Kg)<sup>2</sup>
- III. Exponencial (Costo/Kg) = A EXP B (Peso en Kg)
- IV. Logarítmica (Costo/Kg) = A+B Ln (Peso en Kg)
- V. Potencial (Costo/Kg) = A (Peso en Kg)<sup>B</sup>

La correlación seleccionada deberá cumplir básicamente con la siguiente condición:

- Debe de presentar el error mínimo así como el coeficiente de correlación más alto.

Para ilustrar un ajuste de curvas, se tienen los siguientes costos unitarios para recipientes horizontales de material SA-285-C, tenemos que los puntos seleccionados de un total de veintium datos son los siguientes :

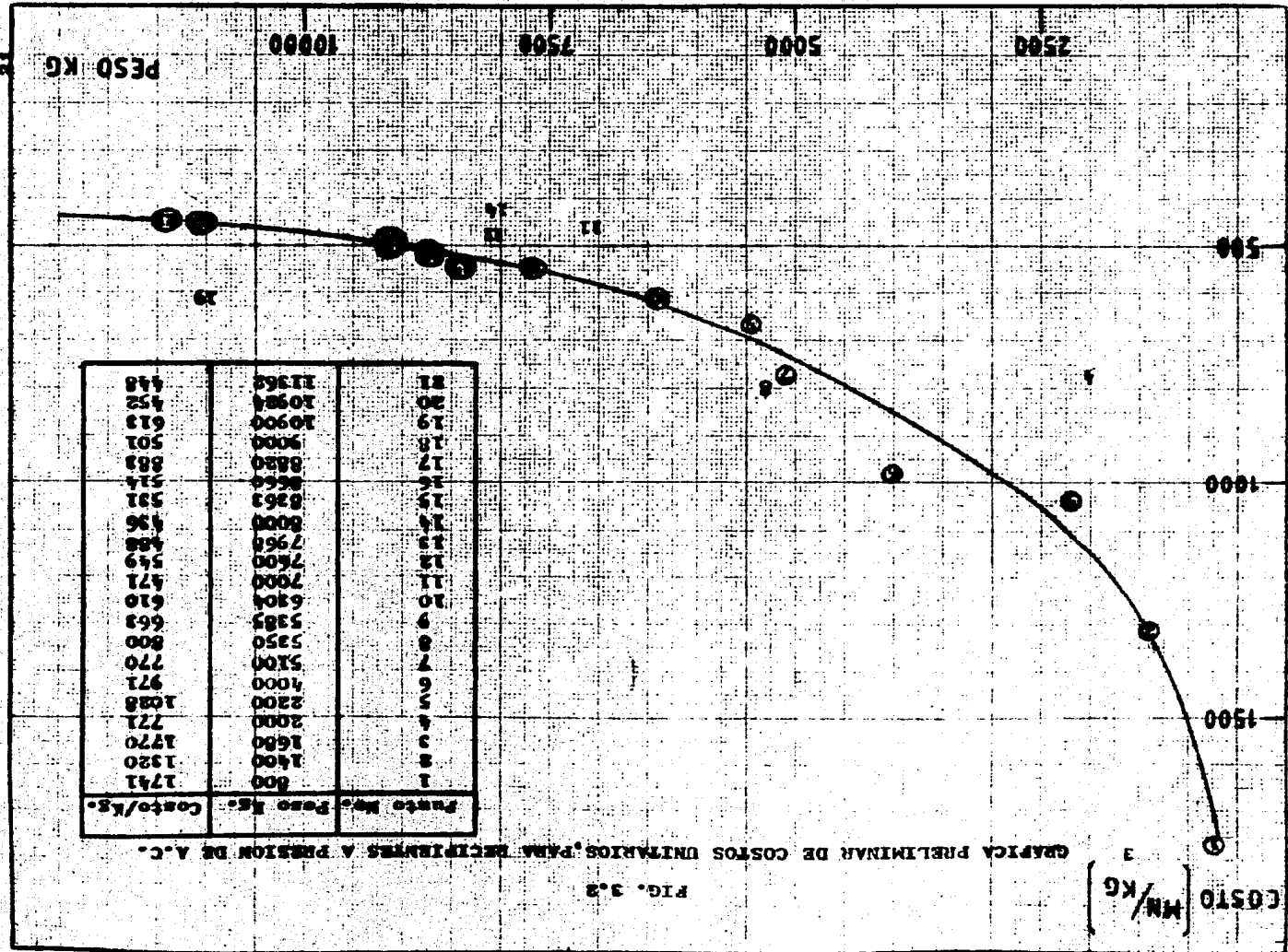
	<u>Peso Total del Recipiente (Kg)</u>	<u>Fecha de -- Adquisición</u>	<u>Costo/Kg.</u>	<u>Factor de Escalación (nacional)</u>	<u>(\$/KG Escalado a Enero de 84)</u>
1.	800	Sep-82	\$ 683.28	2.548	1,741
2.	1,400	Sep-82	578.00	2.548	1,320
5.	2,200	Sep-82	403.45	2.548	1,028
6.	4,000	Mar-82	274.60	3.536	971
7.	5,100	Mar-82	217.76	3.536	770
9.	5,385	Dic-81	176.61	3.754	663
10.	6,304	Mar-82	172.51	3.536	610
12.	7,600	Mar-82	155.26	3.536	549
15.	8,363	May-82	160.57	3.307	531
16.	8,660	May-82	155.48	3.307	514
18.	9,000	May-82	151.50	3.307	501
20.	10,924	Mar-82	127.83	3.536	452
21.	11,262	Mar-82	126.70	3.536	448

Estos puntos se seleccionaron después de una graficación preliminar del total de los datos con el fin de observar la tendencia de los mismos. - Esta tendencia y la representación gráfica de los datos se muestra en - la Figura (3.2)

Una vez que se tienen seleccionados los datos, se procede a ajustarlos a las cinco funciones mencionadas con anterioridad.

Las ecuaciones obtenidas así como el error, coeficiente de correlación y los valores calculados para el costo con cada una de las ecuaciones - se muestran en la tabla No. 3.2





GRÁFICA PRELIMINAR DE COSTOS UNITARIOS, PARA DECISIONES A PRESIÓN DE A.C.

FIG. 3.2

COSTO [ MN/KG ]

PRESIÓN KG

De los resultados obtenidos se observa que la función que mejor se ---  
ajusta a los datos reales de costo, es la función potencial.

Considerando toda la información disponible para cada uno de los equi--  
pos tratados, éstos se agrupan de acuerdo a los diferentes parámetros -  
de costo como se muestra en la Tabla (3.3); desarrollando con cada uno  
de estos grupos una correlación de costo.

Los datos utilizados para la elaboración de las correlaciones de costo,  
se recopilaron de órdenes de compra, tabulaciones técnicas y comercia--  
les, hojas de datos, dibujos del fabricante o dibujos de diseño para --  
equipo adquirido (generalmente para Pemex).

La mayoría de los datos fueron recopilados durante los años 1980, 1981,  
1982 y 1983. En el caso de los calentadores a fuego directo se trata--  
ron datos recopilados antes de 1980, esto se debe a que los hornos ad--  
quiridos son pocos y esto impide que se desechen los datos cuya fecha -  
de adquisición sea anterior a enero de 1980 ya que esto reducirá aún --  
más el número de datos disponibles.

TABLA No. 3.2

RESULTADO DEL AJUSTE DE DATOS DE COSTO DE RECIPIENTES.

FUNCION USADA	COEFICIENTE DE CORRELACION.	ERROR	A	B	C
1.-Lineal	.901	169.41	1412.56	-.10	
2.-Cuadrática	.972	92.40	1744.61	-.26	$0.13 \times 10^{-4}$
3.-Exponencial	.885	182.45	1494.97	$-.0.12 \times 10^{-3}$	
4.-Logarítmica	.970	95.27	4762.69	-.468.66	
5.-Exponencial.	.972	91.25	58312.20	51	

	PESO TOTAL EN Kg.	COSTO UNITA- RIO REAL (\$/Kg)	COSTO UNITA - RIO CALC. CON FUNCION 1	COSTO UNITA - RIO CALC. CON FUNCION 2	COSTO UNITA- RIO CALC CON FUNCION 3	COSTO UNITA- RIO CALC. CON FUNCION 4	COSTO UNITA RIO CALC. CON FUNCION 5
1.-	800	1741	1331	1543	1358	1630	1816
2.-	1400	1320	1270	1403	1263	1368	1358
3.-	2200	1028	1188	1231	1147	1156	1074
4.-	4000	971	1004	907	924	876	788
5.-	5100	770	892	752	809	762	694
6.-	5385	663	863	718	782	736	675
7.-	6304	610	769	621	700	662	622
8.-	7600	549	637	523	599	575	565
9.-	8363	531	559	486	546	530	537
10.-	8660	514	529	476	527	514	528
11.-	9000	501	494	468	506	496	517
12.-	10924	452	298	478	401	405	468
13.-	11262	448	263	491	385	390	460

**TABLA 3.3 CLASIFICACION DE GRUPOS DE EQUIPOS DE CARACTERISTICAS SIMILARES.**

<b>HORNOS</b>	<b>MATERIALES NACIONALES (MATERIAL ESTRUCTURAL) MATERIALES EXTRANJEROS (MATERIALES BASICOS)</b>
<b>RECIPIENTES A PRESION</b>	<b>VERTICALES DE MATERIAL SA-515-70 HORIZONTALES DE MATERIAL SA-203-B HORIZONTALES DE MATERIAL AC. INOX. 304</b>
<b>INTERNOS DE TORRES</b>	<b>PLATOS BALASTRA MATERIAL A.C. VALVULAS A. INOX. PLATOS TIPO BALASTRA MATERIAL A. INOX. VALVULAS A. INOX. PLATOS TIPO BALASTRA MATERIAL MONEL VALVULAS MONEL.</b>
<b>ELIMINADORES DE NIEBLA</b>	<b>MATERIAL S.S.304, DENSIDAD=12 Lb/Ft<sup>3</sup>, ESPESOR = 4in.</b>
<b>CAMBIADORES DE CALOR</b>	<b>TIPO AES TUBOS DE A.C./CORAZA DE A.C.</b>
<b>BOMBAS</b>	<b>TIPO CENTRIFUGAS DE MATERIAL S-1</b>
<b>COMPRESORES</b>	<b>TIPO CENTRIFUGO DE PROCESO</b>
<b>MOTORES ELECTRICOS</b>	<b>DE INDUCCION TIPO TEFC DE 1800 RPM. DE INDUCCION TIPO TEFC DE 3600 RPM.</b>
<b>TURBINAS</b>	<b>ACCIONADORES DE COMPRESORES.</b>

#### IV.- ESTIMADO DE COSTO DE EQUIPO DE PROCESO.

##### 4.1 CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

###### Descripción:

Estos equipos reciben el nombre de calentadores a fuego directo debido a que parte del serpentín de calentamiento, se encuentra en la zona -- donde se genera la flama. El fluido a calentar circula por dentro de los tubos del serpentín colocado en el interior del calentador.

Generalmente todos los equipos de calentamiento a fuego directo constan de superficie radiante y de transferencia de calor por convección. En algunos casos de hornos de baja capacidad, sólo existe la superficie radiante.

La sección de radiación recibe el calor directamente de la flama; en la sección de convección se recupera el calor de los gases calientes -- que viajan a la chimenea.

En las Figuras (4.1 y 4.2), se muestra un calentador vertical y la -- sección transversal de un calentador a fuego directo horizontal y las partes que constituyen estos calentadores.

**Clasificación:**

Los calentadores a fuego directo se clasifican de acuerdo a el servicio que proporciona el calentador al fluido de proceso de la siguiente manera:

- a) CALENTADORES.- Se denomina así a los que se usan solamente para suministrar calor a la corriente de proceso con el fin de calentarla, evaporar parte o toda la carga sin que haya cambios químicos. Por ejemplo calentadores de carga al reactor, rehervidores de columnas y sobrecalentadores de vapor, calentadores de gas, etc.
  
- b) CALENTADORES DE CRACKING.- Son calentadores en los que se efectúa una descomposición térmica para obtener determinados productos o mejorar compuestos para uso industrial. Por ejemplo: Hornos de producción de olefinas, reductores de viscosidad, etc.
  
- c) REFORMADORES.- Son hornos en los cuales se lleva a cabo una reacción química, catalizada dentro de un serpentín.

Generalmente se diseñan los tubos como cámaras individuales de reacción con lechos de catalizador y que se calientan en la zona de radiación.

TIPOS DE CALENTADORES :

Aunque no existe un criterio uniforme para designar a los diferentes tipos de calentadores, éstos se pueden clasificar en dos grandes grupos de acuerdo a la forma geométrica.

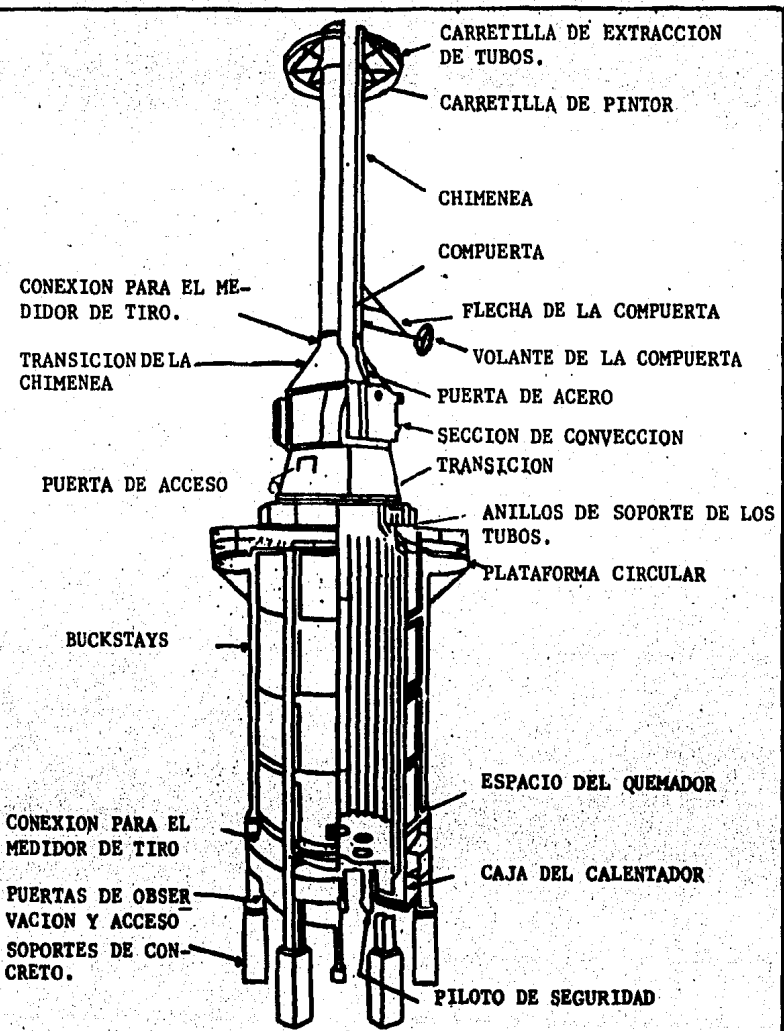
- CALENTADORES CILINDRICO-VERTICAL
- CALENTADORES RECTANGULAR-HORIZONTAL

La colocación de los tubos puede ser como sigue:

<u>TIPO DE CALENTADOR</u>	<u>ZONA DE RADIACION</u>	<u>ZONA DE CONVECCION</u>
Cilíndrico-Vertical	Tubos Verticales Tubos Helicoidales	Tubos Horizontales
Rectangular-Horizontal	Tubos Horizontales Tubos Verticales	Tubos Horizontales.

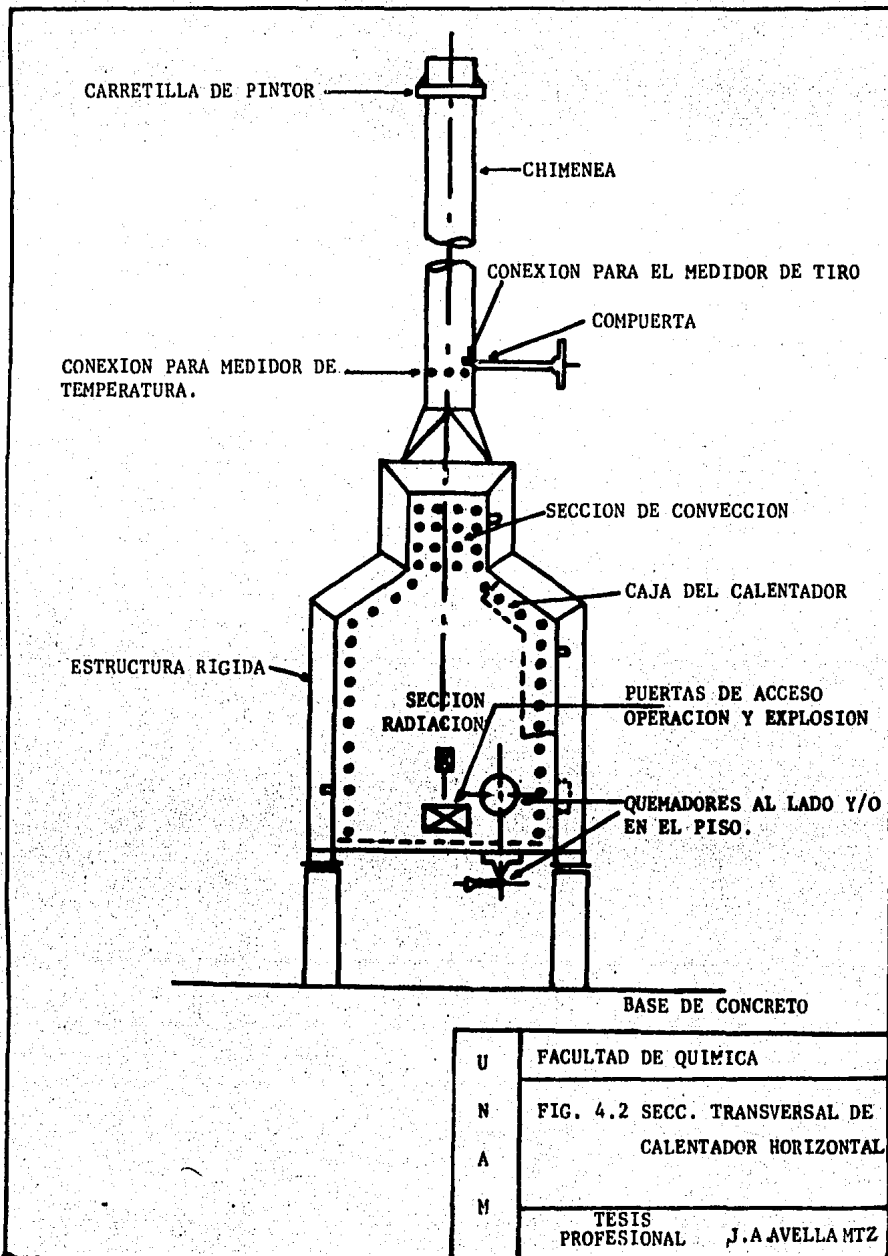
En las Figuras (4.1 a 4.3), se muestran diferentes tipos de calentadores a fuego directo, de acuerdo a la capacidad y tipo de servicio.

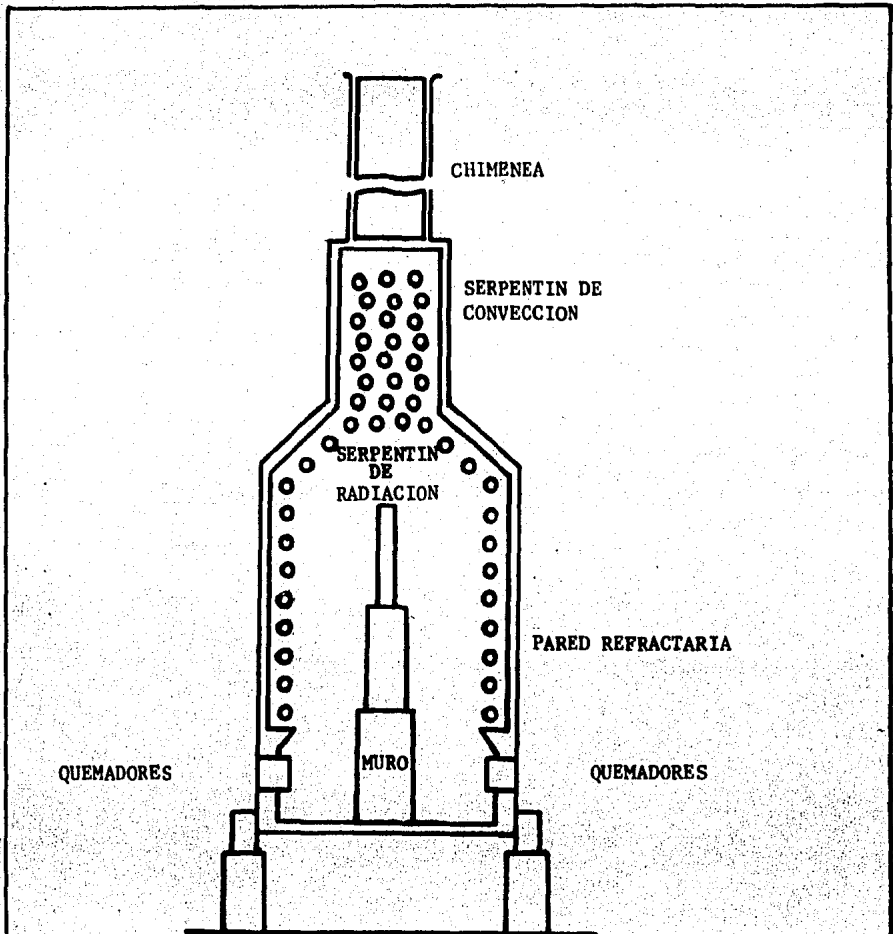
Es muy importante garantizar la operación continua de los calentadores, pues una falla en éstos puede provocar la suspensión de operación de la planta, ya que no hay otra forma de suministrar calor que pueda sustituir al calentador.



U N A M	FACULTAD DE QUIMICA
	FIG. 4.1 CALENTADOR VERTICAL
	TESIS PROFESIONAL
	J.A. AVELLA MTZ.







U	FACULTAD DE QUIMICA
N	FIG. 4.3 CALENTADOR HORIZON-
A	TAL CON MURO DIVI--
M	SOR.
	TESTS
	PROFESIONAL J.A. AVELLA MTZ

Resultaría antieconómico una inversión para tener un calentador de relevo y operacionalmente no se podría poner a funcionar de inmediato.

Por lo tanto es de gran importancia analizar, estudiar y fijar criterios definidos para diseñar calentadores a fuego directo.

En las operaciones de destilación atmosférica y al vacío de crudos, el cracking térmico y algunos otros procesos petroquímicos, los calentadores a fuego directo representan un equipo imprescindible en las unidades de refinación. En las refinerías se requieren hornos para manejar fluidos a temperaturas hasta de 1500°F. y condiciones tan severas como 1100°F. y 1600 lb/in<sup>2</sup>.

Como se ha mencionado con anterioridad, la carga térmica es una de las variables más importantes para el estimado de costo de estos equipos.

Carga Térmica.— Si la carga térmica es mayor a 30 millones de BTU/Hr., el calentador es horizontal. Si la carga térmica es menor de 30 millones de BTU/Hr. se trata de un calentador vertical o cilíndrico. Para cargas térmicas mayores de 64 millones de BTU/Hr. el calentador debe ser de sección radiante múltiple. Los calentadores normalmente utilizan alrededor del 70% de la carga térmica total en la sección de radiación.

### MATERIALES DE CONSTRUCCION DE LOS CALENTADORES.

Para la construcción de calentadores a fuego directo, se usan generalmente todos de acero al carbón ya que su costo es bajo y además es un material adecuado donde la corrosión u oxidación es relativamente moderada.

Las aleaciones de acero usadas para servicios a temperaturas elevadas generalmente contienen molibdeno, cromo o silicio. El molibdeno es -- adicionado para dar una mayor resistencia al material. El cromo se -- adiciona para eliminar la grafitación y ofrecer mayor resistencia a la oxidación. El silicio se añade para proporcionar mejor resistencia a la corrosión.

Los aceros inoxidables austeníticos son aleaciones especiales de fierro, cromo y níquel y se utilizan en el manejo de materiales corrosivos y para grandes resistencias a la oxidación.

La selección de materiales para los tubos del calentador está restringida por la temperatura límite de diseño del metal.

### ESTIMADO DE COSTO DE LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO.

Los parámetros que se utilizan para determinar el costo de un horno -- son carga térmica y la procedencia de los materiales de construcción.

Por lo general los hornos se integran de una parte nacional a la que denominaremos "materiales nacionales" y una participación extranjera denominada "materiales básicos".

Por consiguiente a continuación se describen en forma general los conceptos más importantes de cada una de las partes del calentador.

**Materiales Básicos:**

- Tubos de radiación, de convección y crossovers
- Codos de retorno para radiación y convección
- Codos de 90° y 45°
- Quemadores
- Puertas de observación
- Bridas de aleación y de acero al carbón
- Tornillería de aleación
- Dampér de aleación

**Materiales nacionales:**

- Material estructural
- Material refractario
- Instalación del material refractario
- Fabricación de módulos
- Fabricación de los serpentines de radiación y convección.

Ya que generalmente el costo de los hornos está integrado por una parte nacional y una parte de importación, es necesario efectuar el estimado de costo de estos equipos en dos partes. Un estimado para el costo de los materiales nacionales y otro estimado para el costo de los materiales de importación. Es conveniente que el estimado de costo se

efectúe en la forma antes mencionada, ya sea un estimado de orden de magnitud o un estimado por medio de gráficas o correlaciones.

A continuación se desarrolla un ejemplo para el estimado de costo de un calentador a fuego directo:

EJEMPLO :

Estimado de Orden de Magnitud (Rango  $> \pm 30\%$ )

Se desea conocer el costo de un calentador a fuego directo cuyo servicio será como rehervidor a una torre de destilación, la carga térmica es de 108.4 MM BTU/Hr., como no se dispone de otro medio para estimar su costo se toma como referencia un equipo en operación de 109.4 MM --- BTU/Hr., cuyas erogaciones fueron:

Materiales nacionales : Costo = 2'666,075 M.N      Fecha: Mayo-78

Materiales básicos :      Costo = 209,691 U.S. DLLS. Fecha: Agos-76

Los índices de escalación a enero de 1984 son los siguientes:

Materiales nacionales      = 8.034

Materiales básicos          = 1.789

Tipo de cambio a enero de 1984 = 163 \$/US DLLS.

Utilizando la ecuación de relación de capacidades y el exponente típico para calentadores, se procede a estimar el costo de la siguiente forma :

## - Materiales nacionales :

$$\text{Costo} = 2'666,075 \text{ M.N.} \left[ \frac{108.4 \text{ MM BTU/HR}}{109.04 \text{ MM BTU/HR}} \right] 0.85 \quad (8.034) =$$

Costo = 21'252,712 M.N. a enero de 1984.

Adicionar 15% de partes de repuesto.

Costo = 24'440,619 M.N. a enero de 1984.

## - Materiales básicos :

$$\text{Costo} = 209,691 \text{ US DLLS.} \left[ \frac{108.4 \text{ MMBTU/HR}}{109.04 \text{ MMBTU/HR}} \right] 0.85 \quad (1.789) =$$

Costo = 372,221 US DLLS. a enero de 1984.

Adicionar 3% de partes de repuesto.

Costo = 383,387 US DLLS. a enero de 1984.

Convertir a M.N.

Costo = 62'492,101 M.N a enero de 1984.

**COSTO TOTAL = 86'932,720 M.N. a enero de 1984.**

---

Estimado de orden de magnitud .- (Rango + 30%).

Continuando con el ejemplo anterior y utilizando las ecuaciones y/o --  
gráficas de costo elaboradas específicamente para estos equipos, se --  
procede a estimar el costo de la siguiente forma:

- Materiales nacionales :

Costo = 2'393,686 + 1'023,186 ( 108,4 MM BTU/HR ) = 113,307,049 M.N.

Adicionar 15% de partes de repuesto.

Costo = 130'303,106 M.N.

Factor de costo por tipo de servicio ( Fs ) = 1.00

Costo = 130'303,100 M.N.

- Materiales básicos :

Costo = 63,830 + 13,492 ( 108.4 <sup>mm</sup> BTU/HR ) = 1'526,363 US DLLS.

Adicionar 3% de partes de repuesto.

Costo = 1,572,154 US DLLS.

Factor de costo por tipo de servicio ( Fs ) = 1.00

Tipo de cambio a enero de 1984 = 163 \$/US DLLS.

Costo = (1,572,154 US DLLS) (1.00) (163 US DLLS) = 256,261,102 M.N.

Costo Total = 386'564,208 M.N. a enero de 1984.

-----



Costo estimado preliminar.- (Rango + 20%)

Tipo de servicio : Rehervidor  $F_s = 1.00$

Carga Térmica : 108.4 MM BTU/HR

Material de tubos: Acero al carbón  $F_m = 0.73$

- Costo de materiales nacionales.

Costo = (113'307,049 M.N.) (1.15) (1.00) (0.73) = 95'121,267 M.N.

- Costo de materiales básicos.

Costo = (1'526,363 US DLLS) (1.03) (1.00) (0.73) (163 \$/USDLLS) =  
187,070,604 M.N.

Costo Total = 282'191,872 M.N. a enero de 1984.

Costo estimado (rango + 10%)

Tipo de servicio : Rehervidor  $F_s = 1.00$

Carga Térmica de diseño : 120.4 MM BTU/HR

Material de tubos : Acero al carbón  $F_m = 0.73$

Presión de diseño : 275 psig  $F_p = 1.00$

Temp. de diseño : 92°F

Costo de materiales nacionales:

Costo = 2,393,686 + 1,023,186 (120.4 MM BTU/HR) (1.15)( $F_s$ ) ( $F_m$ )

( $F_p$ ) = Costo 105,428,843 M.N.

Costo de materiales básicos

Costo = 63,830 + 13,492 (120.4 MM BTU/HR) (1.03) ( $F_s$ ) ( $F_m$ ) ( $F_p$ )

(163 \$/US DLLS) = Costo 206,913,473 M.N.

Costo Total = 312,342,315 M.N. a enero de 1984.

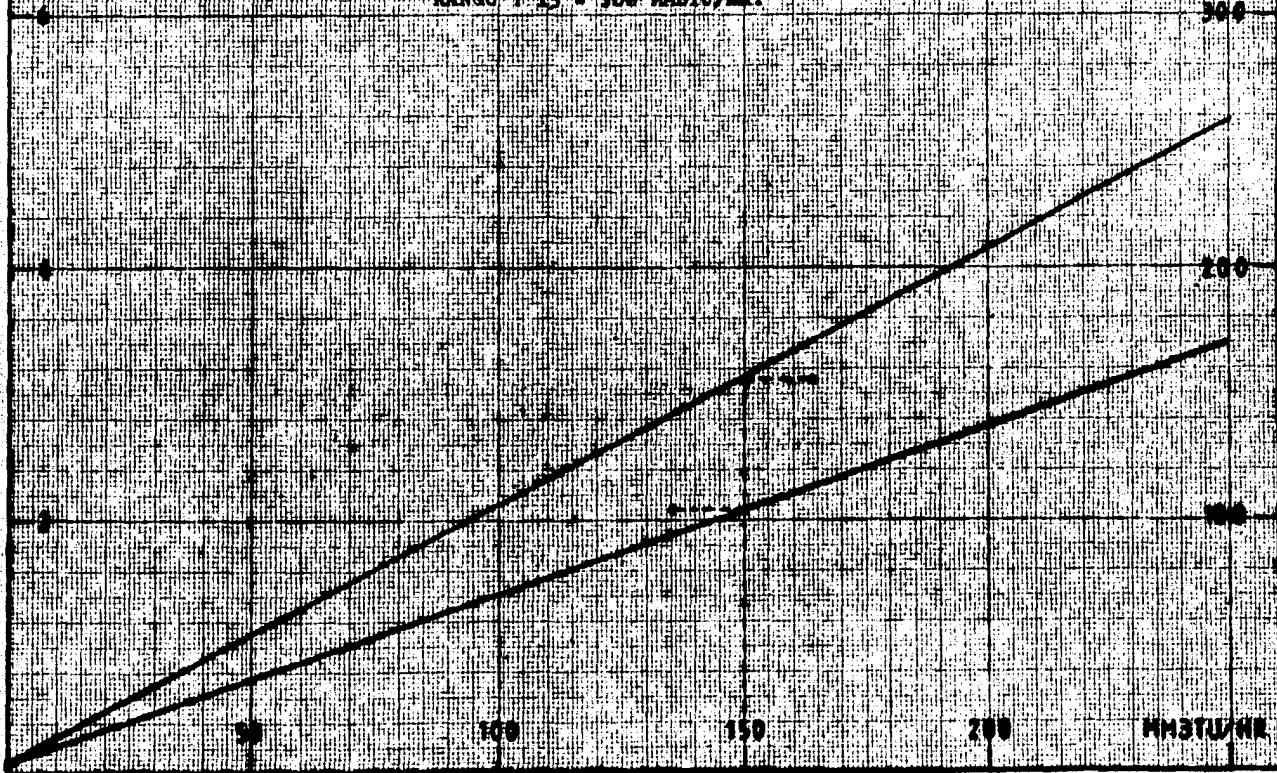
\*\*\*\*\*

GRAFICA 1

COSTO EN MILES DE US DLS

COSTO EN MILES DE PESOS

CALENTADORES A FUEGO DIRECTO (BOQUES)  
COSTO DE MATERIALES NACIONALES:  
(COSTO EN M.P.) = 2,393,686 + 1,085,186 (MMSTU/HR)  
PORCENTAJE PARA PARTES DE REPUESTO: 15%  
COSTO DE MATERIALES DE IMPORTACION:  
(COSTO EN US DLS) = 69,830 + 13,498 (MMSTU/HR)  
PORCENTAJE PARA PARTES DE REPUESTO: 3%  
RANGO: 15 - 300 MMSTU/HR.



Factores de costo para calentadores a fuego directoFactor por tipo de servicio (Fs)

Servicio	Factor (Fs)
Proceso	1.00
Pirolisis	1.10
Reformado	1.35

Factor por presión de diseño (Fp)

Presión (psig)	Factor (Fp)
500	1.00
1000	1.15
1500	1.20
2000	1.25
2500	1.40
3000	1.60

Factor por material de tubos (Fm)

Material	Fm
Cromo-Molibdeno	1.00
Acero inoxidable T304	1.18
Inconel	1.74
Hastelloy	1.81
Acero Inoxidable T316	1.38
Acero Inoxidable T321	1.41
Acero al Carbón	0.73

## 4.2 RECIPIENTES

### Generalidades:

En la actualidad toda industria de proceso requiere de recipientes, -- así tenemos que estos equipos se encuentran presentes en la industria petrolera, alimenticia, química, cañera, cervecera, cafetera, etc. Debido a esto la ingeniería de recipientes no solo es una rama más de la ingeniería sino que ha llegado a ser una especialidad. En esta especialidad convergen varios conocimientos afines a distintas ramas de la ingeniería como son : materiales, corrosión, sustancias manejadas, ingeniería mecánica, ingeniería civil, ingeniería hidráulica, ingeniería química, etc. Con esto nos podemos dar cuenta de la importancia que tienen para un proyecto los recipientes.

### Tipos de Recipientes.

El desarrollo que han tenido los recipientes en la actualidad se hace notorio considerando la cantidad de códigos que existen para su diseño, fabricación, inspección, pruebas, materiales, etc.

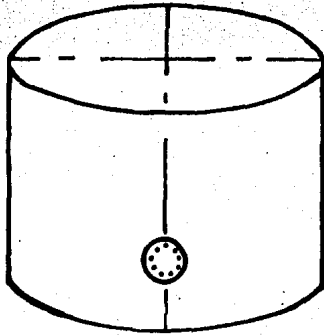
Debido a la gran cantidad de procesos, los tipos de recipientes se hacen muy extensos, así por ejemplo, para el almacenamiento de agua se tiene una gran variedad de formas; como son: los autotanques y carros tanque, otro tipo de recipientes son los almacenadores de grano, los tanques de concreto, los tanques de almacenamiento, los tanques baja presión los de alta presión, reactores, etc.

Los tipos más comunmente usados se pueden considerar como recipientes abiertos y recipientes cerrados.

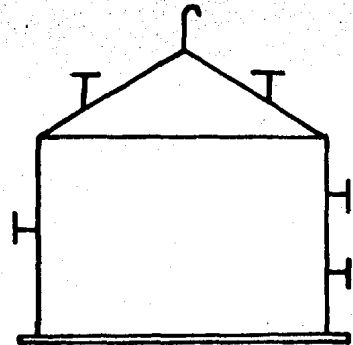
Los recipientes abiertos se usan normalmente como tanques de balance, tanques mezcladores, tanques de reposo, etc. Este tipo de recipientes son baratos comparados con los recipientes cerrados, considerando capacidades iguales. La decisión de usar un recipiente abierto o cerrado dependerá del tipo de fluido que sea manejado y de las características de la operación.

Los recipientes cerrados manejan normalmente fluidos tales como: --- Combustibles tóxicos u ofensivos, ácidos y gases, etc. En la industria petroquímica y petrolera se requieren comunmente recipientes cerrados,

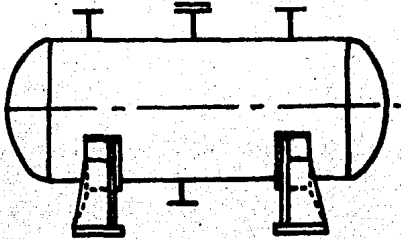
Los recipientes cerrados pueden dividirse en recipientes cilíndricos - verticales de fondo plano y cubierta cónica, los cuales normalmente - trabajan a presiones atmosféricas y su función es la de almacenar producto; existen recipientes cilíndricos con cabezas abombadas en sus -- extremos, este tipo de recipientes se usan en donde la presión de vapor del líquido acumulado impone un diseño riguroso, y finalmente se - tienen los recipientes esféricos, los cuales se usan normalmente para el almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos bajo presiones moderadas. En la Figura 4.4 se muestran algunos tipos de recipientes.



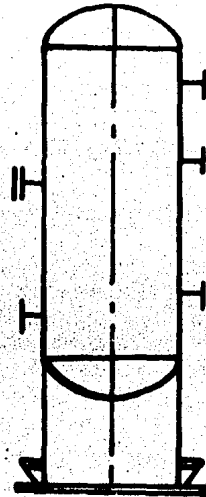
RECIPIENTE ATMOSFERICO ABIERTO.



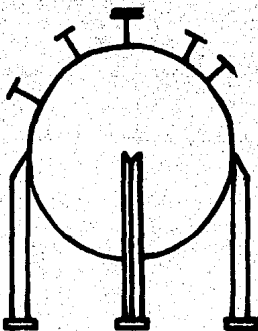
RECIPIENTE ATMOSFERICO CERRADO



RECIPIENTE HORIZONTAL.



RECIPIENTE VERTICAL.



RECIPIENTE ESFERICO.

U N A M	FACULTAD DE QUIMICA
	FIG. 4.4 TIPOS DE RECIPIENTES MAS COMUNMENTE USA-- DOS EN LA INDUSTRIA.
	TESIS PROFESIONAL J.A.ÁVELLA MTZ.

La ingeniería química trata con los procesos industriales los cuales tienen mucha importancia debido a la transformación de una materia a otra por medios químicos y físicos, y estos procesos requieren del manejo y almacenamiento de grandes cantidades de materia, realizando esto en recipientes de distintas configuraciones.

Usualmente el primer paso en el diseño de un recipiente a presión es la selección apropiada para el servicio requerido y a la vez que realice esto de la manera más satisfactoria. Los factores principales que incluyen para la selección son:

- La función y localización del recipiente.
- Las características del fluido.
- La temperatura y presión de operación.
- El volumen necesario a almacenar o la capacidad de procesamiento.

Los tipos más comunes de recipientes a presión se pueden clasificar principalmente en recipientes horizontales, verticales y esféricos.

Los recipientes horizontales son aquellos que descansan sobre dos soportes (silletas); un caso típico de estos recipientes son los denominados salchichas para almacenamiento de gas LPG. Los recipientes horizontales se utilizan normalmente como acumuladores.

Dentro de los recipientes verticales se encuentra una gran variedad - aunque los más comunmente usados son las torres o columnas y los reactores, normalmente los recipientes verticales están soportados por medio de patas, faldones cónicos o rectos, etc.

Los recipientes esféricos se usan para el almacenamiento de gases tales como gas natural, butano, isobutileno, hidrógeno, amoníaco y muchos otros productos petroquímicos. El almacenamiento de los productos mencionados en este tipo de recipientes es más económico que en otro tipo de geometría de recipientes a presión.

Uno de los factores principales que intervienen en el diseño y construcción de recipientes a presión cilíndricos es la forma de cierre - en los extremos de la envolvente. Esta puede ser simplemente por medio de placas planas, bridas o por cabezas de forma cónica, con la -- desventaja que ambas cabezas (planas, bridas, cónicas) establecen al unirse con la sección cilíndrica del recipiente una concentración de esfuerzos considerables en la unión (envolvente-cabeza) debido a la - presión establecida en dicho recipiente. Por lo anterior, generalmente todos los recipientes que operan a vacío o que en su espacio de vapor admiten una presión manométrica igual o superior a  $0.350 \text{ Kg/cm}^2$ , se construyen con cabezas abombadas que pueden adaptarse indistintamente a la sección cilíndrica del recipiente de una manera que la presión interior actúa sobre su lado cóncavo o invertidas, de tal forma que la presión se aplique sobre su superficie convexa.



Actualmente se cuenta con varias clases de cabezas o tapas prefabricadas las cuales son en su mayoría fabricadas a partir de una placa circular plana. En la (Fig. 4.5) se ilustran algunos tipos de cabezas abombadas y cónicas permitidas por el Código A.S.M.E.

#### Bases de Diseño.

La fabricación, pruebas e inspección de recipientes a presión se basan en un código. El código adoptado en nuestro país es el A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers), ya que las técnicas y especificaciones son adoptadas por la industria de proceso y de bienes de capital.

Para el diseño óptimo de un recipiente es de gran importancia conocer las condiciones a las que va estar sometido, su forma, sus dimensiones, localización, operación, etc.

El diseño de un recipiente operado bajo presión interna consiste básicamente en el cálculo de los espesores de los diferentes elementos que lo forman (cabezas, cascarones y conos principalmente). Los parámetros que se tienen que considerar para el diseño, son principalmente: la presión de diseño ( $P_D$ ) y temperatura de diseño ( $T_D$ ), los cuales se pueden definir respectivamente de la siguiente manera: normalmente los recipientes deberán de ser diseñados al menos para la más severa condición de presión esperada en operación normal, más --

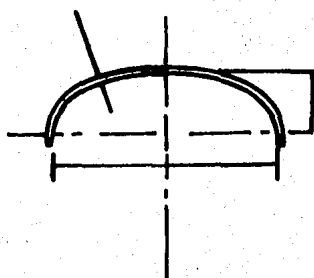
un incremento del 10% ó  $2.11 \text{ Kg/cm}^2$  (30 PSI) (el que resulte mayor), lo que da como resultado la presión de diseño. Con respecto a la temperatura, se considera como temperatura de diseño a la temperatura máxima de operación más  $14^\circ\text{C}$ . En ningún caso la temperatura en la superficie del metal deberá exceder a la máxima temperatura enlistada en las tablas de esfuerzos.

Otros factores que intervienen en el cálculo del espesor de recipientes, son el esfuerzo máximo permisible (S) del material el cual se encuentra en las tablas de esfuerzos en base a la temperatura de diseño y la especificación del material seleccionado (secc. VIII A.S.M.E.) La corrosión es otro factor que afecta al espesor calculado, ya que para recipientes que manejan sustancias corrosivas se deberá aumentar el factor de corrosión (C), cuando no se conoce el valor de este factor generalmente se considera de  $1/8$  de pulgada. Finalmente la eficiencia de la junta (E) principalmente define el tipo de radiografía que se hará al recipiente, además de afectar al espesor, para el cuerpo normalmente se toma de 0.85 y para las cabezas de 1.0.

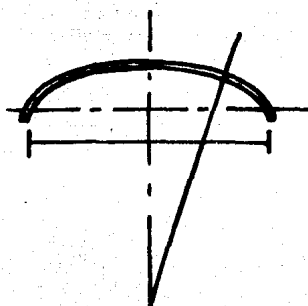
Cuando el espesor del envolvente es menor de 1 pulgada las cabezas serán del tipo torisféricas. Si el espesor de la envolvente es mayor de 1 pulgada, pero menor de 2 pulgadas, considerar cabezas semielípticas. Para espesores de envolvente mayor de 2 pulgadas, se deben de utilizar cabezas hemisféricas.

Cabe mencionar, que al calcular el espesor del recipiente por presión interna, se debe tomar en cuenta si el recipiente estará sujeto a vacío total para calcular el espesor por presión externa de seguridad (15 psig).

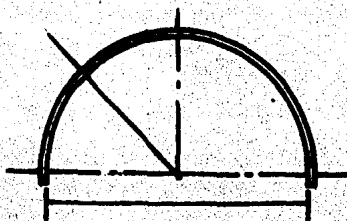
Si no se indica vacío total, el espesor del recipiente se calculará a vacío parcial (2.5 psig); esto es, para checar el espesor calculado por presión interna, de tal manera que se seleccione el espesor adecuado.



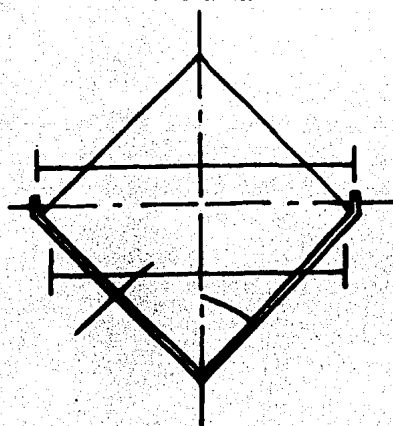
ELIPTICA



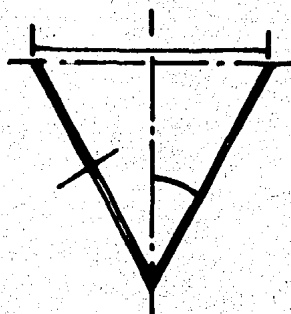
TORISFERICA



HEMISFERICA



TORICONICA



CONICA

U	FACULTAD DE QUIMICA
N	FIG. 4.5 TIPOS DE CABEZAS PARA RECIPIENTES CILINDRICOS A PRESION.
A	
M	TESIS
	PROFESIONAL J.A.AVELLA MATZ.

### Materiales de Construcción.

Los materiales usados para el diseño y fabricación de recipientes a presión, también están regidos por normas y códigos, en nuestro caso la A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) y la -- A.W.S. (American Welding Society) son las que se consideran en el diseño de un recipiente a presión.

Las placas de acero al carbón se usan, en la mayoría de los casos, donde lo permiten las condiciones de servicio debido a su bajo costo y a su mayor disponibilidad. Las partes secundarias de los recipientes (partes no sujetas a presión); como son soportes o algunas otras partes misceláneas, pueden ser fabricadas con aceros estructurales como son el SA-36 y el SA-283 (grados A, B, C y D). En partes sujetas a presión. También es posible usar estos aceros siempre y cuando se cumplan los siguientes requerimientos:

- a) Recipientes que no vayan a ser usados en servicios con sustancias letales.
- b) Que las temperaturas a las cuales opere el recipiente estén entre -20 t 650°F.
- c) Para cascarones, cabezas y boquillas en los cuales el espesor de la placa no exceda de 5/8".
- d) Que el acero sea fabricado por el proceso de horno eléctrico, -- horno de hogar abierto o por el proceso de oxígeno básico.

Uno de los aceros usados para la fabricación de recipientes que opera a temperaturas moderadas es el SA-285-C debido a que es fácil de formar, soldar y maquinarse y el de mayor existencia en el mercado nacional. En los casos de temperaturas de operación más altas, se usan aceros de alta resistencia para reducir el espesor de la pared del recipiente; el SA-515-70 es muy bueno para este tipo de aplicaciones, requiriendo un espesor de pared de solamente el 78% del que se requeriría con el SA-285-C.

El material SA-285-C normalmente se usa para temperaturas no menores de 18.33°C. (61°F) y no mayores de 345°C (650°F), con respecto al SA-515-70 se usa para temperaturas que estén entre 18.33°C. (61°F) y 413°C. (775°F). En el caso de temperaturas más altas que las indicadas anteriormente, se usan por lo general aceros de baja aleación, como lo es el SA-387 (1 1/4 Cr - 1/2 Mo), el cual puede ser usado hasta aproximadamente 566°C. (1050°F).

Hasta ahora se han mencionado solamente los casos para temperaturas moderadas o altas, pero definitivamente hay gran variedad de procesos en los cuales, se tienen temperaturas criogénicas; para estos casos los materiales más recomendables dentro de los aceros al carbón, son el SA-516-70 el cual puede usarse de -45.5°C (-50°F) a 15°C. (60°F), en el caso de temperaturas inferiores, se pueden utilizar aceros a base de níquel como lo es el SA-203 (2 1/2 a 3 1/2 de Ni).

Para temperaturas mucho más bajas que las anteriores, se usan aceros con mayor contenido de níquel hasta llegar a los aceros inoxidable, como es el caso del SA-240-TP-304, que resiste temperaturas hasta de  $-254^{\circ}\text{C}$ . ( $-425^{\circ}\text{F}$ ).

Los esfuerzos permisibles para algunos aceros al carbón se muestran en la Tabla 4.1 .

La Tabla 4.2, nos ilustra acerca de los materiales recomendables que pueden ser usados según las temperaturas a las que vaya a estar operando el recipiente.

En cuanto a las sustancias a manejar podemos auxiliarnos con la Tabla 4.3, cabe mencionar que esta tabla sólo menciona las sustancias más generales ya que no es posible indicar todas las sustancias existentes.

TABLA No. 4.1

VALORES DE ESFUERZOS MAXIMOS PERMISIBLES A LA TENSION PARA ACEROS AL CARBON (MULTIPLICAR POR 100 PARA OBTENER PSI).

PARA TEMPERATURAS DEL METAL QUE NO EXCEDAN DE (°F)

NUMERO DE ESPECIFICACION	GRADO	COMPOSICION NOMINAL	PARA TEMPERATURAS DEL METAL QUE NO EXCEDAN DE (°F)														
			-650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200			
PLACAS Y HOJAS DE ACERO AL CARBON																	
SA.36		C.Mn.Si	12.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
SA.283	A	C	10.4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	B	C	11.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	C	C	12.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	D	C	12.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
SA.285	A	C	11.3	11.0	10.3	9.0	7.8	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
	B	C	12.5	12.1	11.2	9.6	8.1	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
	C	C	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
SA.299 SA.414		C.Mn.Si	18.8	17.7	15.7	12.6	9.5	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	
	A	C	11.3	11.0	10.3	9.0	7.8	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
	B	C	12.5	12.1	11.2	9.6	8.1	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
	C	C	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
	D	C.Mn.	15.0	14.3	12.9	10.8	8.6	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
	E	C.Mn.	16.2	15.5	13.8	11.4	8.9	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
	F	C.Mn.	17.5	16.6	14.7	12.0	9.2	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
	G	C.Mn.	18.8	17.7	15.7	12.6	9.6	6.5	---	---	---	---	---	---	---	---	
SA.442	55	C.Mn.Si	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	60	C.Mn.Si	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
SA.455	Arriba de 0.375 in. 0.375 in a 0.580 in. 0.58 in a 0.750 in.	C.Mn.	18.8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		C.Mn.	18.3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		C.Mn.	17.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
SA.515	55	C.Si	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	
	60	C.Si	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	
	65	C.Si	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	
	70	C.Si	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	
	55	C.Si	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	
	60	C.Si	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	
	65	C.Mn.Si	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	
	70	C.Mn.Si	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	---	---	---	---	---	---	



**TABLA 4.2 MATERIALES RECOMENDADOS PARA RECIPIENTES A PRESION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA.**

TEMPERATURA		M A T E R I A L
°C	°F	
413	775	Cr - Mo
de 18 a 413	de 61 a 775	Acero al carbono
de -40 a 15	de -40 a 60	Acero al carbono (Ver nota 1)
de -45 a -65	de -50 a -90	Acero al Niquel (2 1/2% Ni.) (Ver nota 1)
de -65 a -100	de -90 a -150	Acero al Niquel (3 1/2% Ni.) (Ver nota 1)
de -100 a -195	de -150 a -320	Acero al Niquel (9% Ni) (Ver nota 1).
de -195 a -252	de -320 a -425	Acero Inoxidable (18Cr - 8 Ni)

**N O T A 1 : Aplicar norma SA-20 para los requerimientos de prueba.**

TABLA No. 4.3 SELECCION DE MATERIALES PARA  
RECIPIENTES A PRESION.

	Acero al Carbón	Níquel	Inconel	Monel	A.I. Tipo 304	A.I. Tipo 316
ACETONA	A	A	A	A	A	A
ACETILENO	A	A	-	A	A	A
CERVEZA	P	A	A	A	A	A
BENZENO BENZAL	A	A	A	A	A	A
BENZINA, NAFTA	A	A	A	A	A	A
ACIDO BORICO	X	-	-	P	A	A
CLORURO EN GRAL.	X	R	R	R	X	X
BUTANO	A	-	-	A	A	A
ACIDO CITRICO	X	R	A	A	A	A
MERCURIO	A	A	-	A	A	A
GAS NATURAL	A	A	A	A	A	A
ACEITES PETROLEO 500°F CRUDOS	A	P	A	P	P	R
ACIDO FOSFORICO	P	P	P	P	P	R
AZUFRE	A	A	A	A	P	P
ACIDO SULFURICO	X	P	P	R	P	A
ACIDO SULFUROSO	X	P	P	P	P	A
WHISKEY Y VINOS	X	A	A	P	P	A
SUBSTANCIAS CON HIDROGENO	*A	A	A	A	A	A

A = BUENO

R = RECOMENDABLE

P = PRECAUCION (DEPENDE DE LAS CONDICIONES)

X = NO RECOMENDABLE.

**ESTIMADO DE COSTO,**

El costo de los recipientes que operan tanto a presión como atmosféricos o al vacío dependen de varios factores, como son sus dimensiones, material de construcción, presión y temperatura de diseño, peso y posición. En caso de que no se disponga del peso del recipiente es necesario calcular el espesor y el peso del mismo mediante las fórmulas para el cálculo de pesos de envolventes cilíndricos, tapas torisféricas, semielípticas y hemisféricas (Tabla 4.4) y las fórmulas para el cálculo de espesores por presión interna, - las cuales se presentan en la (Tabla 4.5)..

A manera de ejemplo se presenta a continuación el estimado de costo de un recipiente sometido a presión interna.

ESTIMADO PRELIMINAR (Rango  $\pm$  20%).

ESQUEMA PRELIMINAR

Datos :

Diámetro Superior	13 Ft.
Diámetro Inferior	16 Ft.
Altura total entre tangentes.	118 Ft.
Presión de diseño	215 Psig.
Temperatura de diseño	340°F
Servicio: Torre desbutanizadora.	
Clave	DA-101

MEMORIA DE CALCULO

1) Selección del material de construcción.

Material = t(temperatura, fluido)

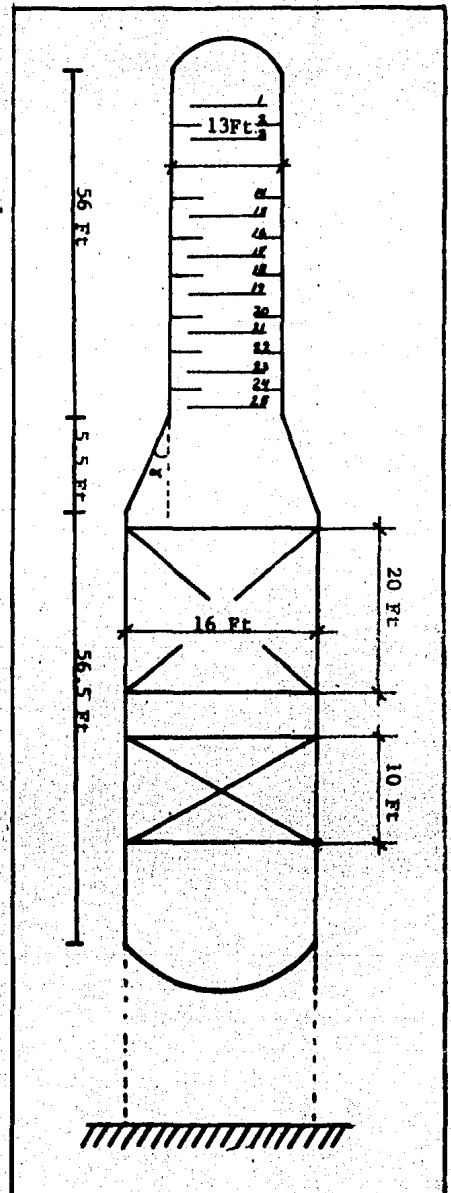
De la tabla No. 4.2 de acuerdo a la temperatura el material recomendado es acero al carbón. Como la temperatura es relativamente alta, es necesario utilizar un material de alta resistencia como es el SA 515-70.

2) Determinación del esfuerzo máximo permisible (S).

$S = f$  (temperatura, material)

De la tabla No. 4.1 en la primera columna a la izquierda, se encuentra el material seleccionado (SA 515-70) con este material y el valor de la temperatura que se localiza en la parte superior, nos da el valor del esfuerzo máximo permisible.

$$S = 17,500 \text{ Psig.}$$



## 3) Eficiencia.

Como el recipiente está sujeto a condiciones severas de operación, será necesario someterlo a radiografiado total, por tal motivo la eficiencia para cabezas y envolventes será de 100%.

$$E = 1.00$$

## 4) Corrosión.

Considerar el valor del factor de corrosión de 1/8 de pulgada.

$$C = 0.125 \text{ in.}$$

## 5) Cálculo de Espesores (Envolvente).

$$t_E = \frac{(Pd)(R)}{SE - 0.6 p} + c$$

- Sección Superior.

$$t_E = \frac{(215 \text{ psig})(78 \text{ in})}{(17,500 \text{ psig})(1.0) - 0.6 (215 \text{ psig})} + 0.125 \text{ in} = 1.090 \text{ in.}$$

$$\text{Espesor comercial} = t = 1 \frac{1}{8} \text{ in.}$$

- Sección Inferior.

$$t_E = \frac{(215 \text{ psig})(96 \text{ in})}{(17,500 \text{ psig})(1.0) - 0.6 (215 \text{ psig})} + 0.125 \text{ in} = 1.313 \text{ in.}$$

$$\text{Espesor comercial} = t_c = 1 \frac{3}{8} \text{ in.}$$

- Sección Cónica.

$$t_E = \frac{(Pd) (D)}{2 \cos (SE - 0.6 p)} + c =$$

$$\text{Hipot} = (5.5 \text{ Ft})^2 + (1.5 \text{ Ft})^2 = 5.701 \text{ Ft.}$$

$$\cos = \frac{5.5 \text{ Ft}}{5.701 \text{ Ft}} = 0.965$$

$$t_E = \frac{(215 \text{ psig})(192 \text{ in})}{(2)(0.965)(17,500 \text{ psig})(1.0) - 0.6 (215 \text{ pulg})} + 0.125 \text{ in} = 1.352 \text{ in}$$

$$\text{Espesor comercial} = t_E = 1 \frac{3}{8} \text{ in}$$

#### 6) Cálculo de Espesor de Cabezas.

Como el espesor del envolvente es mayor que 1 pulgada, el tipo de cabezas recomendable es la elíptica 2:1 .

$$t_E = \frac{(Pd) (D)}{2SE - 0.2 Pd} + c$$

- Cabeza Superior.

$$t_E = \frac{(215 \text{ psig})(156 \text{ in})}{(17,500 \text{ psig})(1.0) - (0.2)(215 \text{ psig})} + 0.125 \text{ in} = 1.060 \text{ in}$$

$$\text{Espesor comercial} = T_c = 1 \frac{1}{8} \text{ in}$$

- Cabeza Inferior.

$$t_E = \frac{(215 \text{ psig})(192 \text{ in})}{(2)(17500 \text{ psig})(1.0) - 0.2(215 \text{ psig})} + 0.125 \text{ in} = 1.306 \text{ in}$$

Espeor comercial =  $T_c = 1 \frac{3}{8}$  in

7) Peso del Recipiente.

Sección superior.

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 1 \frac{1}{8} \\ D1 = 13 \text{ Ft} \\ \text{Long} = 56 \text{ Ft} \end{array} \right\} \text{ PESO} = \left[ 13.90 + 150.2(13 \text{ Ft}) \right] \text{ Lb/Ft}(56 \text{ Ft}) = 110,124 \text{ lb}$$

Sección inferior.

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 1 \frac{3}{8} \\ D2 = 16 \text{ Ft} \\ \text{Long} = 56.5 \text{ Ft} \end{array} \right\} \text{ PESO} = \left[ 21.0 + 183.3(16 \text{ Ft}) \right] \text{ Lb/Ft}(56.5) = 166,890 \text{ lb}$$

- Cabeza Superior

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 1 \frac{1}{8} \\ D1 = 13 \text{ Ft} \end{array} \right\} \text{ PESO} = 153.9(13 \text{ Ft})^{1.849} \text{ Lb/2 cabezas} = 8,829 \text{ lb}$$

- Cabeza Inferior

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 1 \frac{3}{8} \\ D2 = 16 \text{ FT} \end{array} \right\} \text{ PESO} = 182.4(16 \text{ Ft})^{1.962} \text{ Lb/2 cabezas} = 21,013 \text{ lb.}$$

- Sección Cónica.

Area = 1.5708 (D2 + D1) Hipot.

Area = (1.5708)(16 + 13)Ft.(5.761Ft) = 260 Ft<sup>2</sup>

Peso/Ft<sup>2</sup> = -0.004 + 18.5 (1.375 in) Kg/Ft<sup>2</sup> = 25.43 Kg/Ft<sup>2</sup>

Peso = (25.43 Kg/Ft<sup>2</sup>)(260 Ft<sup>2</sup>)(2.2 = lb/Kg) = 14,546 lb.

PESO TOTAL

PESO EN (Lb)

Envolvente Superior	110,124
Envolvente Inferior	166,890
Cabeza Superior	8,890
Cabeza Inferior	21,013
Sección cónica	<u>14,546</u>
T o t a l	321,402 lb.
	( 146,092 Kg )

NOTA : El peso no incluye boquillas, registros, faldón y material misceláneo.

8) Costo de la Torre Desbutanizadora.

Utilizando la gráfica y/o ecuación No. 2, se calcula el costo del equipo.

(Costo/Kg) = 57,612(146,092 Kg)<sup>-0.432</sup> = 347. \$/Kg. Enero/84.

COSTO TOTAL = (347 \$/Kg)(146,092 Kg) = 50,693,924 M.N. Enero/84.

El desarrollo para calcular el peso del equipo, nos ilustra de como el ingeniero de costos puede en dado caso abarcar la especialidad del diseño de equipos.



**Costo Estimado (Rango  $\pm$  10%)**

Este tipo de estimado se lleva a cabo cuando la informaci3n de que se dispone, proviene de hojas de datos, dibujos de ingenieria y dibujos - mec3nicos. Para este ejemplo, tenemos que los datos que se tienen son los siguientes:

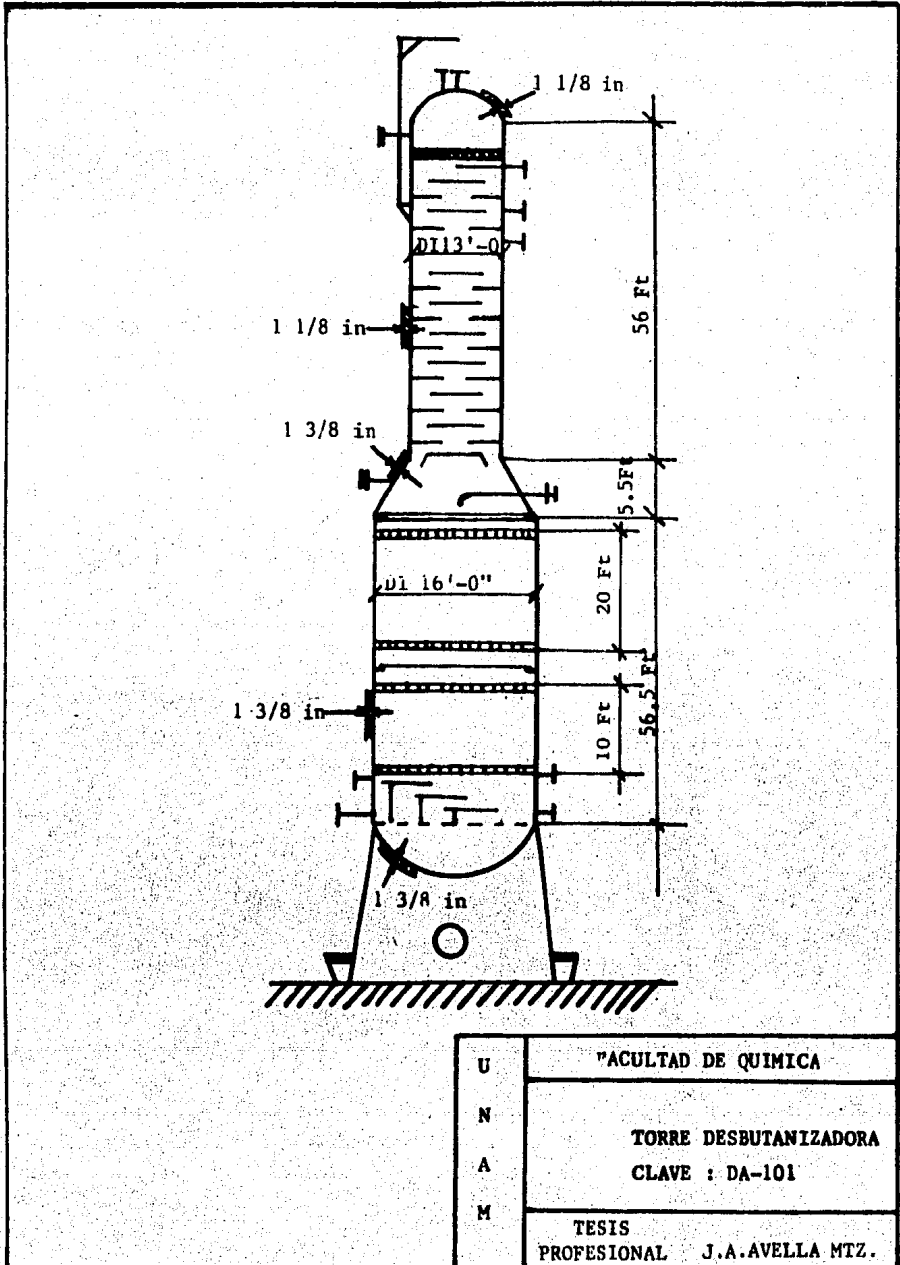
**Datos:**

Di3metro superior	12 Ft
Di3metro inferior	16 Ft
Altura total entre tangentes	118 Ft
Presi3n de dise1o	215 psig
Temperatura de dise1o	340°F
Servicio	Torre Desbutanizadora
Tipo de cabezas	El3pticas 2:1
Corrosi3n permisible	3 mm.
Radiografiado de cabezas y cascar3n.	Total
Material de construcci3n	SA-515-70
Material de Vald3n y sillas	SA-283-C
Peso de montaje	189,230 Kg.
Capacidad	584.1 m <sup>3</sup>

Con los datos anteriores y con la gr3fica y/o ecuaci3n de costo para - recipientes a presi3n, tenemos que el costo del equipo es :

$$\text{Costo/Kg} = 57,612(189,230 \text{ Kg})^{-0.432} = 303 \text{ \$/Kg}$$

$$\text{COSTO TOTAL} = 303 \text{ \$/Kg}(189,230 \text{ Kg}) = 57,258,935 \text{ M.N. a enero-84.}$$



**TABLA No. 4.4 FORMULAS PARA EL CALCULO DE PESOS DE ENVOLVENTES, CABEZAS TORISFERICAS, ELIPTICAS Y HEMISFERICAS PARA RECIPIENTES A PRESION.**

Espesor Comercial	Envolvente Peso (Lb/Ft)=A+B (Diámetro en Ft.)		Tipos de cabezas. Peso (Lb/2 cabezas)= A ( Diámetro en Ft) <sup>B</sup>					
			Torisféricas		Elípticas 2:1		Hemisféricas	
	IN	A	B	A	B	A	B	A
3/16	0.62	25.7	26.60	1.923	30.4	1.966	30.8	1.988
1/4	0.75	34.30	33.80	1.916	37.0	1.978	40.8	1.987
5/16	1.10	42.90	41.60	1.907	45.7	1.967	51.2	1.986
3/8	1.60	51.40	49.80	1.896	53.3	1.967	62	1.983
1/2	2.80	68.50	50.60	1.981	68.6	1.967	83.6	1.978
5/8	4.60	85.70	80.60	1.886	84.1	1.967	103.8	1.974
3/4	6.50	102.90	96.00	1.884	100.8	1.961	128.8	1.968
7/8	8.50	117.80	113.10	1.868	113.1	1.967	152.2	1.964
1	11.10	134.60	142.60	1.855	136.0	1.966	176.4	1.958
1 3/8	13.90	150.20	153.90	1.849	150.2	1.967	196.8	1.964
1 3/16	15.30	158.30	170.50	1.845	157.3	1.967	207.0	1.968
1 1/4	17.20	166.60	179.80	1.843	166.8	1.962	117.0	1.964
15/16	18.90	175.00	189.40	1.841	173.5	1.965	227.4	1.965
1 3/8	21.00	183.30	199.10	1.839	182.4	1.962	238.2	1.965
1 1/2	25.4	200.00	221.10	1.831	198.9	1.959	260.0	1.965
1 5/8	29.10	216.60	239.90	1.830	215.4	1.958	282.2	1.964
1 3/4	34.00	233.30	259.90	1.828	233.2	1.954	305.2	1.962
17/8	35.10	250.30	282.30	1.823	249.9	1.953	328.4	1.960
2	43.80	266.60	322.80	1.820	279.7	1.957	352.6	1.958

Peso de placa de acero al carbón:  
Peso (Kg/Ft)= 0.004 + 18.5 ( espesor en pulgadas)

T A B L A No. 4.5

FORMULAS PARA EL CALCULO DE ESPESORES PARA RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION INTERNA

<u>DESCRIPCION</u>	<u>DIMENSIONES INTERNAS</u>	<u>DIMENSIONES EXTERNAS</u>
CUERPO CILINDRICO	$t = \frac{PR}{SE - 0.6 P} + C$	$t = \frac{PR}{SE - 0.4 P} + C$
ESFERA	$t = \frac{PR}{2SE - 0.2 P} + C$	
CABEZAS :		
ELIPTICAS	$t = \frac{FD}{2SE - 0.2 P} + C$	$t = \frac{FD}{2SE + 1.8 P} + C$
TORISFERICA Si $L/r = 16 \frac{2}{3}$ ;	$t = \frac{0.885 PL}{SE - 0.1 P} + C$	$t = \frac{0.885 PL}{2SE - 0.8 P} + C$
Si $L/r = 16 \frac{2}{3}$ ;	$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2 P} + C$	$t = \frac{PLM}{2SE + P (M - 0.2)} + C$
HEMISFERICA	$t = \frac{PR}{2SE - 0.2 P} + C$	$t = \frac{PR}{2SE - 0.8 P} + C$
CONICA	$t = \frac{FD}{2Cos (SE - 0.6 P)} + C$	$t = \frac{FD}{2Cos (SE - 0.4 P)} + C$

GRAFICA 2

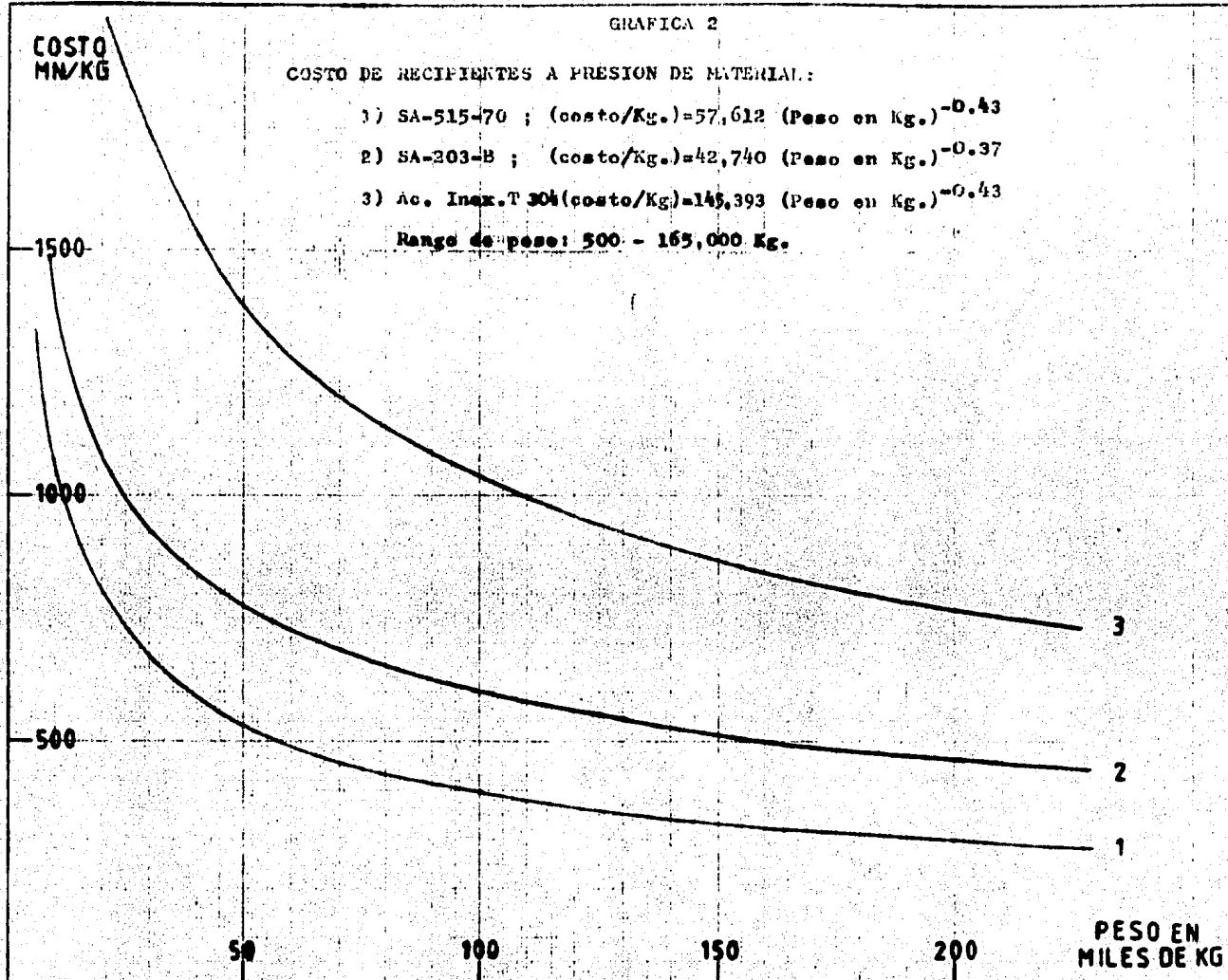
COSTO DE RECIPIENTES A PRESION DE MATERIAL:

1) SA-515-70 ; (costo/Kg.)=57,612 (Peso en Kg.)<sup>-0.43</sup>

2) SA-203-B ; (costo/Kg.)=42,740 (Peso en Kg.)<sup>-0.37</sup>

3) Ac. Inex.T 304 (costo/Kg.)=145,393 (Peso en Kg.)<sup>-0.43</sup>

Rango de peso: 500 - 165,000 Kg.



PESO EN  
MILES DE KG

NOMENCLATURA :

- C Tolerancia por corrosión (in)
- D Diámetro (in)
- R Radio (in)
- S Esfuerzo admisible (PSI)
- E Eficiencia de la junta
- $\alpha$  Mitad del ángulo comprendido entre el cono y la base.
- P Presión manométrica de diseño (PSI)

#### 4.3 INTERNOS DE TORRES Y RECIPIENTES.

##### Generalidades :

En las plantas de proceso existen recipientes que requieren de algunos accesorios en su interior para poder efectuar los cambios requeridos - en los fluidos que pasan por su interior. Algunos de estos accesorios son charolas de burbujeo, empaques, eliminadores de niebla, tubos calentadores, placas deflectoras, agitadores y otros equipos similares.

##### Clasificación:

Los internos de torres y recipientes, se pueden clasificar de una manera general en tres tipos:

Platos, empaques y eliminadores de niebla.

##### Platos :

La selección del tipo de plato depende de :

- Sólidos, en suspensión o productos corrosivos.
- Caída de presión y tiempo de residencia.
- Material de construcción.
- Eficiencia en un amplio rango de condiciones de operación.

## c) Empaque y Accesorios.

Costo de Empaque = 20,549,214 M.N.

Accesorios = 5,794,159 M.N.

## RESUMEN DE COSTOS DE INTERNOS.

Platos	7,931,442 M.N.
Eliminador	1,363,669 M.N.
Empaque	20,549,214 M.N.
Accesorios	5,794,159 M.N.
	<hr/>
<b>T O T A L</b>	<b>35,638,484 M.N.</b>
	-----



### Características de Platos :

Platos con balastras de burbujeo.

Capacidad moderada alta, la eficiencia es superior a la promedio, el tiempo de residencia es tres veces mayor de la de un plato perforado. Se utiliza en todos los servicios, excepto aquellos altamente polimerizables o incrustantes.

Platos perforados con bajante.

Capacidad moderada, eficiencia restringida, se utilizan en sistemas que manejan bajas concentraciones de sólidos en suspensión.

Platos perforados sin bajante.

Capacidad moderada, inoperantes a baja velocidad, se utilizan en sistemas que manejan cristales y sólidos en suspensión de tamaño reducido; pueden tenerse obstrucciones, en las perforaciones cuando los sistemas forman sales.

### Platos Especiales.

Estos platos se diseñan específicamente para los casos en que la capacidad requerida es mayor a la de los platos convencionales.

Flexitray Tipo T	Bajas caídas de presión, alta capacidad, eficiencia y flexibilidad.
Flexitray Tipo A	Mínima caída de presión, corto espaciamiento entre unidades y elevada capacidad.
Válvula Flotante Nutter.	Baja caída de presión, elevada eficiencia y capacidad.
Balastra Tipo V-1	Alta capacidad, amplia flexibilidad para cualquier rango de operación y elevada eficiencia.
Balastra Tipo A-1	Mayor capacidad que la anterior y alta eficiencia.

La selección de un plato y su diseño pueden afectar el rendimiento de un sistema de destilación. Cada uno de éstos debe diseñarse de tal forma que el contacto entre el vapor y el líquido sea lo más eficiente posible; dentro de límites económicos.

En las Figuras No. 4.6 a No. 4.8 se muestran los diferentes tipos y diseños de platos.

### Material de Construcción.

Los materiales de construcción de los platos varían de acuerdo a los fluidos manejados. Entre los materiales más comúnmente usados en la fabricación de platos se encuentra el acero al carbón, acero inoxidable 304, 316 y 410 y monel.

### Empaques.

Los empaques para una torre se pueden clasificar de la siguiente forma:

Los empaques que son vaciados dentro del equipo en forma aleatoria, y su diámetro por unidad se encuentra en el rango de 0.25 a 2.0 pulgadas.

El uso de este tipo de empaque se limita a columnas con diámetro pequeño.

Los que son colocados siguiendo un patrón determinado y su rango de dimensiones va de 2 a 8.0 pulgadas. Estos se usan en columnas con diámetro relativamente grande.

Existen diferentes tipos de empaques, cada uno con ventajas específicas para operaciones de contacto líquido-gas (Figura 4.9).

Generalmente el diseñador deberá usar el empaque de mayor tamaño consistente con el diámetro de la torre. Donde la corrosión es un factor importante, el empaque de cerámica es el económicamente más ade-

### Materiales de Construcción.

Los materiales de construcción de los platos varían de acuerdo a los fluidos manejados. Entre los materiales más comúnmente usados en la fabricación de platos se encuentra el acero al carbón, acero inoxidable 304, 316 y 410 y monel.

### Empaques.

Los empaques para una torre se pueden clasificar de la siguiente forma:

Los empaques que son vaciados dentro del equipo en forma aleatoria, y su diámetro por unidad se encuentra en el rango de 0.25 a 2.0 pulgadas.

El uso de este tipo de empaque se limita a columnas con diámetro pequeño.

Los que son colocados siguiendo un patrón determinado y su rango de dimensiones va de 2 a 8.0 pulgadas. Estos se usan en columnas con diámetro relativamente grande.

Existen diferentes tipos de empaques, cada uno con ventajas específicas para operaciones de contacto líquido-gas (Figura 4.9).

Generalmente el diseñador deberá usar el empaque de mayor tamaño consistente con el diámetro de la torre. Donde la corrosión es un factor importante, el empaque de cerámica es el económicamente más ade-

cuado. Los empaques de carbón y plástico usualmente tienen aplicación en operaciones con fluidos de alta alcalinidad o compuestos fluorados. El acero al carbón es recomendable cuando la corrosión no es un factor importante.

Las aleaciones se utilizan, cuando dentro del diseño se contemplan -- problemas de contaminación, corrosión y capacidad, etc.

#### Características de empaques:

##### Anillos Raschig.

Tienen menor eficiencia que las silletas Intalox y los anillos Pall se aplican cuando la relación de líquido-gas se debe de mantener uniforme cerca de la inundación. Los empaques de porcelana blanca y cerámica especiales se utilizan para servicios alcalinos, las de carbón para ácido fluorhídrico y los de acero y aleaciones, se utilizan para reacciones a altas temperaturas o fluidos caústicos calientes.

##### Anillos Pall.

Los anillos Pall proporcionan una mayor turbulencia en el flujo del líquido y una mayor eficiencia. La caída de presión es un 40% menor que en los anillos Raschig. Los anillos Pall se utilizan cuando se tienen operaciones de vacío o baja presión. Los anillos Pall de acero al carbón, son recomendados para servicios en los que la corrosión no sea un factor importante. Para el caso en que existen problemas de corrosión, se recomienda usar aleaciones de cromo-niquel.

**Silletas Berl**

Son de alta eficiencia y capacidad, proporcionan de un 20 a 30% más de superficie utilizable que un anillo Raschig. A velocidades altas del gas presentan el 50% de la resistencia que ofrece un anillo Raschig. Se fabrican de porcelana, cerámica y materiales plásticos.

**Silletas Intalox**

Son más eficientes y de mayor capacidad que los anillos Raschig y las silletas Berl. Presentan gran espacio libre y baja caída de presión. Debido a su forma, no solo posee una gran superficie efectiva, sino que ayuda a mantener una buena distribución del líquido. Se fabrican en porcelana, cerámica, carbón y materiales plásticos.

**Reglas generales para distribución, tamaño y carga del empaque.****Anillos Raschig**

La redistribución deberá de considerarse cada 2 1/2 a 3 veces el diámetro de la columna, 6 20 Ft. (lo que ocurra primero). El tamaño del empaque generalmente no deberá ser mayor que 1/30 de el diámetro de la columna.

**Silletas Intalox y Berl.** Se deberá considerar una redistribución de 5 a 8 veces el diámetro de la columna o cada 20 Ft. (Lo que ocurra primero). El tamaño del empaque generalmente no deberá ser mayor de 1/15 el diámetro de la columna.

**Anillos Pall**

La redistribución se deberá hacer cada 5 ó 10 veces el diámetro de la columna, se deberá usar la relación menor cuando el tamaño del empaque sea relativamente grande comparado con el diámetro de la columna, o cada 20 Ft. (lo que ocurra primero). El tamaño del empaque generalmente no deberá ser mayor de 1/20 a 1/15 veces el diámetro de la columna.

En la Tabla No. 4.6 se muestran los tipos de empaques y tamaños recomendables para diferentes servicios.

TABLA 4.6 TIPOS Y TAMAÑOS DE EMPAQUE RECOMENDADOS DE ACUERDO AL SERVICIO.

<u>S E R V I C I O</u>	<u>TIPO DE EMPAQUE</u>	<u>TAMAÑO PULGADAS</u>	<u>PRESION (PSIG.)</u>	$\Delta P$ <u>IN H2O FT. EMPAQUE</u>
Absorbedor	PALL	2	865	0.55
Fraccionador (domo)	PALL	2	157	0.12
Fraccionador (fondo)	PALL	2	157	0.30
Deetanizador (domo)	PALL	1 1/2	300	0.20
Deetanizador (fondo)	PALL	2	300	0.30
Despropanizador	PALL	1 1/2	270	0.30
Desbutanizador	PALL	1 1/2	90	0.12
Pentano-Isopentano.	PALL	1	Atm.	0.40
Nafta Ligera y Pesada	PALL	1	100 mm Hg	1.10
	PALL	1	100 mm Hg	0.20
	PALL	1	100 mm Hg	1.75
	INTALOX	1	100 mm Hg	0.80
	INTALOX	1	100 mm Hg	0.22
	RASCHIG	1	100 mm Hg	1.11
	RASCHIG	1	100 mm Hg	0.40
Isooctano-Tolueno	PALL	1	Atm.	0.70
	PALL	1	Atm.	0.10
	PALL	1	Atm.	1.70
	PALL	1	Atm.	0.15
	PALL	1	100 mm Hg	1.08
	PALL	1	100 mm Hg	0.20
	PALL	1	100 mm Hg	1.14
Absorbedor de gas de Planta.	PALL	2	900	0.11



Los materiales utilizados para la fabricación de empaques deben de poseer las siguientes características:

- Tener una superficie factible de humidificarse y bastante amplia por unidad de volumen.
- Los espacios o volúmenes vacíos deben ser amplios para evitar grandes caídas de presión.
- Resistencia a la corrosión y densidad baja (para evitar peso en exceso).
- Costo relativamente bajo.

#### Plato Soporte y Distribuidor.

Debido a que un factor importante en una columna empacada es su baja caída de presión y puesto que ésta se ve afectada por el diseño de los platos de soporte, el plato soporte deberá tener un área disponible mayor que la obtenida con el empaque que se especifica, para evitar que el área de soporte se transforme en una región crítica al generar inundación. (Figura 4.10).

#### Se tienen Dos Tipos de Platos Soporte:

- Plato tipo contracorriente.- En estos platos el porcentaje de sber-tura presentada antes de obstrucción total debida a inundación es del 90%.

- Plato con pasajes de flujo separados, para líquido y gas.- El porcentaje de abertura de pasajes o áreas libres antes de oclusión -- total es del orden del 200%.

Los materiales más comunmente usados para la fabricación de empaques son : vidrio, porcelana anticorrosiva y refractaria, carbón, acero inoxidable, cobre, aluminio, monel, nickel, polipropileno, PVC rígido, etc.

Para los platos soporte, distribuidores de líquido y limitadores de cama, etc., los materiales más comunmente usados son : acero al carbón, acero inoxidable, aluminio, cobre, titanio, níquel, monel, hastelloy, porcelana, PVC rígido, polipropileno, etc.

#### Características de Accesorios para Camas Empacadas.

##### Plato Soporte de Dos y Tres Piezas.

Este tipo de plato es generalmente usado en diámetros de torres de 4 Ft, y menores. Proporciona un área libre igual al 100% de la sección transversal de la columna. Este tipo de soporte combina una gran área libre con una excelente resistencia mecánica. Retiene silleteras de 1 in. y anillos de 1/2 in mayores.

#### Plato Soporte Tipo Multibeam.

Se debe de considerar (excepto para casos muy especiales) para diámetros de torre mayor de 4 Ft. Es de gran área libre y alta capacidad. Este plato soporte es recomendable para tamaños de empaque grande. - Retiene silletas de 1 1/2 in y anillos de 3/4 in y mayores.

#### Plato Hold-Down de Dos y Tres Piezas.

Este tipo de plato descansa directamente sobre el empaque. Es capaz de retener silletas de 1 in y anillos de 5/8 in y mayores. Se usa - para diámetros de 4 Ft y menores. El plato Hold-Down es diseñado -- exclusivamente para ser usado únicamente con empaque de carbón o cerámica, no deberá usarse con empaque de metal o plástico (particularmente plástico),

#### Plato Hold-Down Segmentado.

Se usa para platos de diámetro mayor a 4 Ft. Retiene silletas de 2 in y anillos de 1 1/2 in. No se debe usar con empaque de metal o plástico.

#### Limitador de Cama Segmentado.

Es similar en apariencia y construcción al plato Hold-Down segmentado excepto que la altura del plato es de 2 in en lugar de ser de 4 in. - Se usa satisfactoriamente con cualquier material de empaque.

#### Distribuidor de Orificio.

Se adapta a un amplio rango de flujos de acuerdo al número de orificios. Su construcción es de 1, 2 ó 3 piezas dependiendo del diámetro. Este tipo de distribuidor es recomendable para diámetros de 4 Ft y menores.

#### Distribuidor de Vertedero.

Es uno de los distribuidores más usados. Se construye generalmente de una pieza aunque se puede construir de dos o tres piezas dependiendo del diámetro.

#### Redistribuidor de Dos o Tres Piezas.

Se recomienda para diámetros de 4 Ft. y menores. Maneja un amplio rango de flujos y se construye en dos y tres piezas dependiendo del diámetro.

#### Redistribuidor Segmentado.

Reestablece un patrón uniforme en la irrigación del líquido. Se usa generalmente en combinación con el plato soporte tipo Multibeam. Este tipo de redistribuidor es recomendable para diámetros de torre mayores a 4 Ft.

#### ELIMINADORES DE NIEBLA O MALLAS SEPARADORAS,

Estos equipos sirven para evitar que las pequeñas gotas que escapan de la superficie líquida con el vapor sean arrastradas hacia afuera del recipiente. (Figura No. 4.11).

Los eliminadores de niebla consisten de capas de alambre tejido, las cuales pueden ser de plástico o material fibroso, que son ensambladas en secciones de capas múltiples y son usualmente intercaladas entre rejillas de peso extraliviano para contener la malla en posición propia.

Las mallas se usan comúnmente en columnas de flasheo y vacío, para reducir pérdidas de solventes en absorbedores, scrubbers y equipos de destilación etc. (Figura 4.12).

Las mallas son fabricadas en una gran variedad de estilos y densidades. Dos tipos muy conocidos de malla de alambre son : Tejido Standard y Tejido Hi-Flo (Figura 4.13).

El uso del tejido standard es recomendable para aplicaciones en las que se requiere un eliminador compacto, el cual tenga alta eficiencia de retención de arrastres. Se usa generalmente cuando la formación de polímeros, coque o depósito de sólidos es poco probable.

El tejido Standard es generalmente usado en servicios donde se manejan fluidos limpios. Es fabricado de alambre de 0,011 pulgadas de diámetro, y tiene una densidad de  $12 \text{ Lb/Ft}^3$ . El espesor de la malla es de 4 in. y la velocidad de vapor de diseño recomendada es de 5 a 15 Ft/seg. La eficiencia está en un rango de 99,8 a 99,9%.

El tejido Hi-Flo es un tejido ancho con gran posición asimétrica de los alambres. Es muy importante el gran volumen libre y los cambios frecuentes en la dirección del escurrimiento de líquido. Reduce la zona en la cual el líquido estancado puede juntarse y pueda ocurrir la formación de coque o polimerización. Este tejido está diseñado para usos en servicios sucios, pero pueden usarse efectivamente en servicios limpios. La malla Hi-Flo es fabricada de alambre de 0.011 pulgadas de diámetro y tiene una densidad de  $5 \text{ Lb/Ft}^3$ . El espesor de la malla va de 6 in a 8 in. La velocidad de diseño es de 10% mayor que en la malla standard. La eficiencia es de 100% en operación normal.

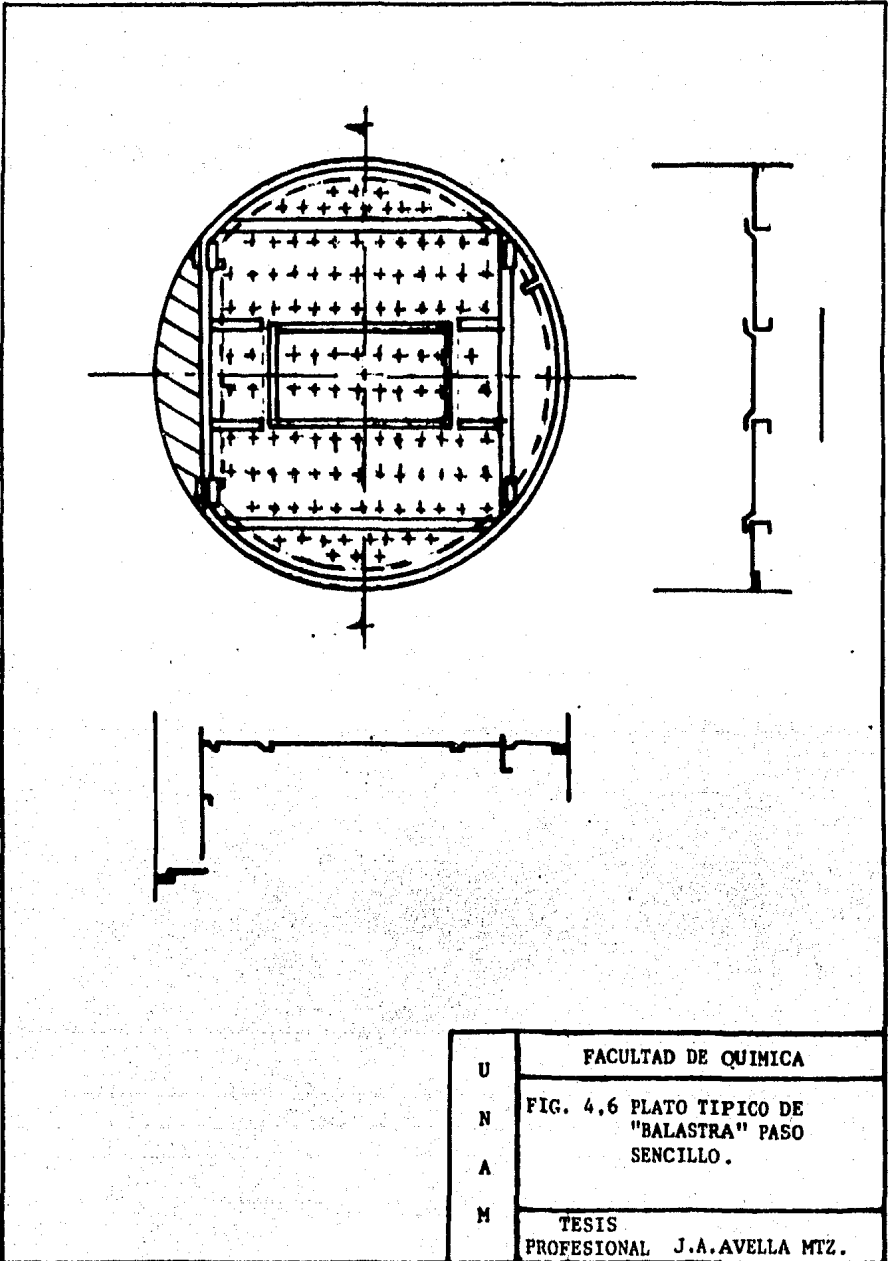
#### - Materiales de Construcción -

Los eliminadores de niebla se fabrican en diversos materiales los cuales dependen del fluido manejado. Entre los materiales más empleados en la construcción de las mallas se encuentran los siguientes :

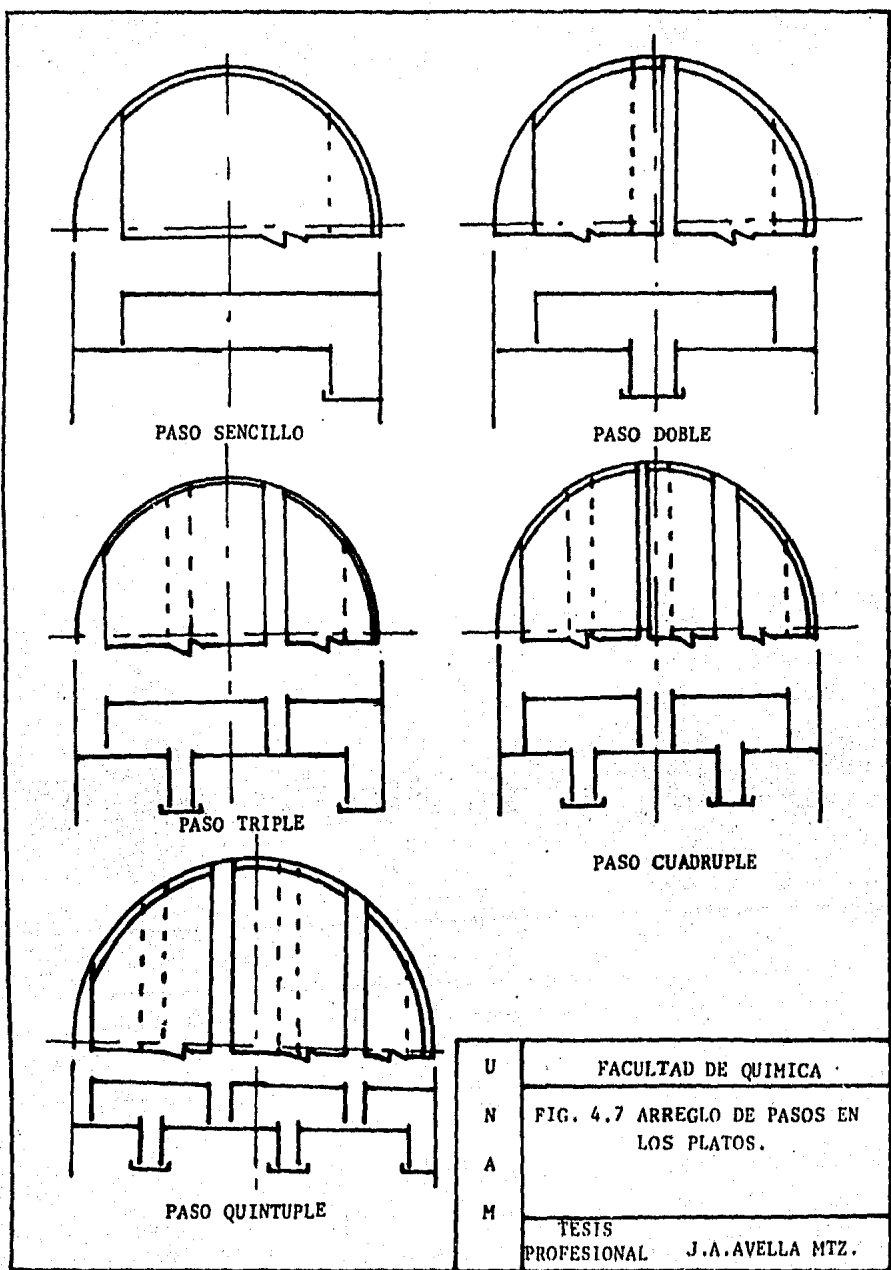
M A T E R I A LS E R V I C I O

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| - ACERO AL CARBON           | - HIDROCARBUROS NO CORROSIVOS.   |
| - ACERO INOXIDABLE 304      | - SOL. ACUOSAS, ACIDO NITRICO, CRUDO REDUCIDO, FRACCIONES DE PETROLEO. |
| - ACERO INOXIDABLE 316      | - ACIDOS GRASOS, CRUDO REDUCIDO CON - ACIDOS NAFTENICOS, ETC.          |
| - ACERO INOXIDABLE 317      | - ACIDOS GRASOS DE ALTA PUREZA.  |
| - ACERO INOXIDABLE 430      | - ACIDO NITRICO, AGUA, VAPOR.  |
| - INCONEL                   | - ACIDOS GRASOS A ALTA TEMPERATURA.                                    |
| - MONEL                     | - SOSA CAUSTICA, OTROS ALCALIS Y ACIDOS DILUIDOS.                      |
| - NICKEL                    | - SOSA CAUSTICA Y PRODUCTOS ALIMENTICIOS.                              |
| - COBRE                     | - FREONES, ALCOHOL   |
| - ALUMINIO                  | - ACIDO NITRICO  |
| - HASTELLOY                 | - ACIDO SULFURICO Y OTRAS APLICACIONES ALTAMENTE CORROSIVAS.           |
| - TITANIO                   | - PARA CONDICIONES MUY ALTAMENTE CORROSIVAS.                           |
| - POLIPROPILENO/POLIETILENO | - SERVICIOS CORROSIVOS Y TEMPERATURA MODERADA.                         |
| - TEFLON                    | - CONDICIONES EXTREMAMENTE CORROSIVAS.                                 |

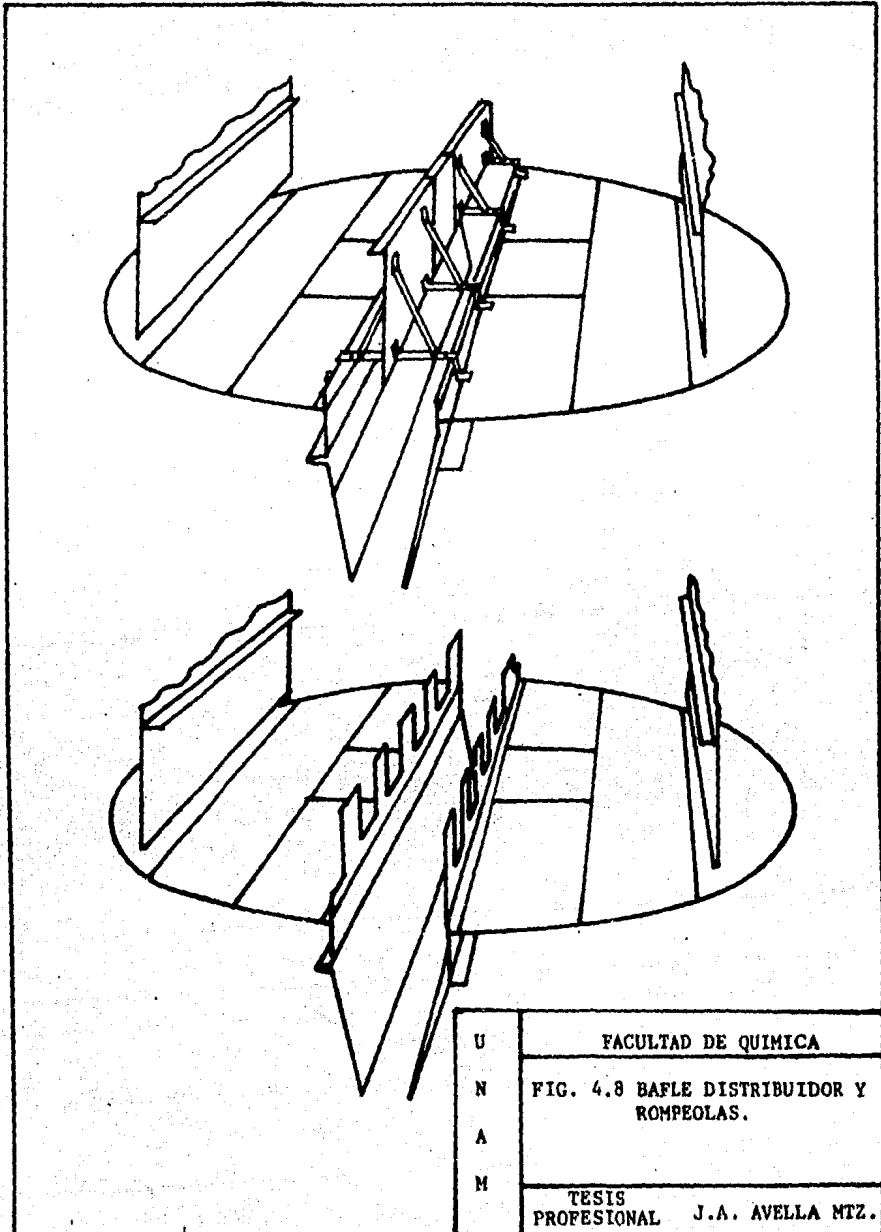
También en la Tabla No. 4.7, se muestran las principales características de los eliminadores de niebla.







U	FACULTAD DE QUIMICA
N	FIG. 4.7 ARREGLO DE PASOS EN
A	LOS PLATOS.
M	TESTS
	PROFESIONAL J.A.AVELLA MTZ.



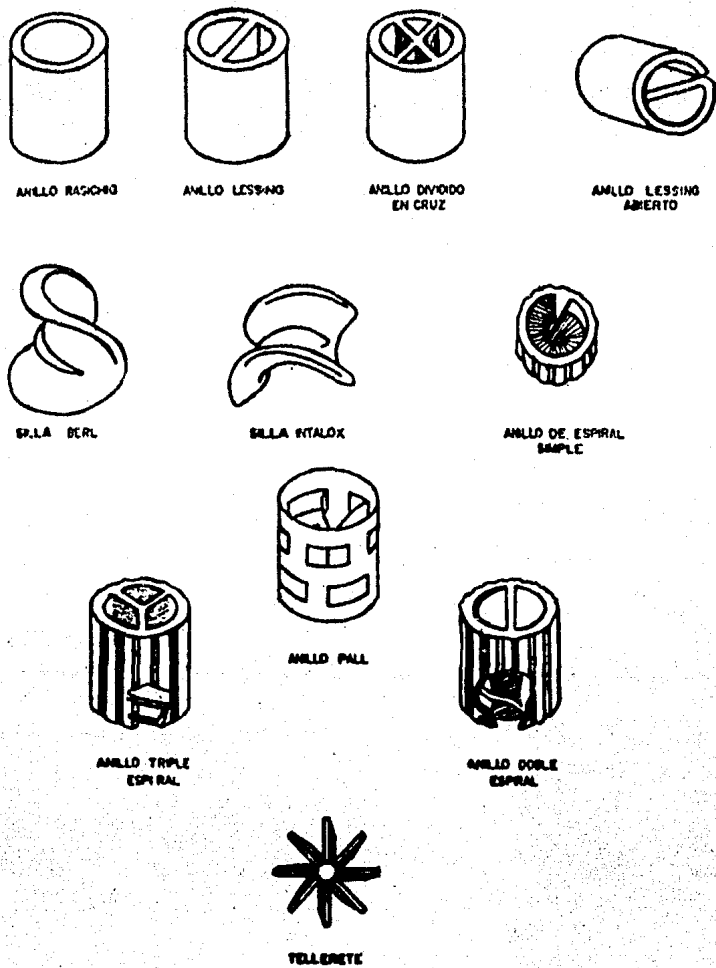
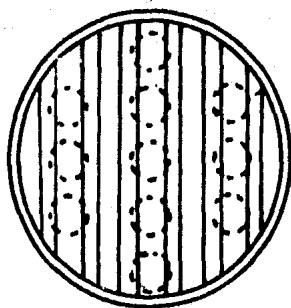
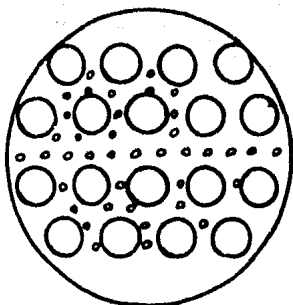
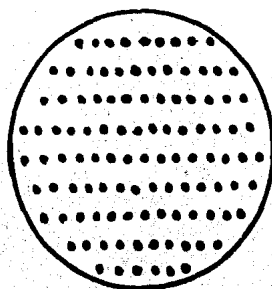
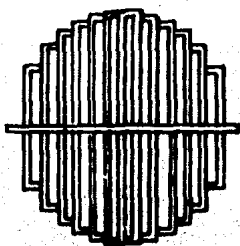


FIG. 4.9 TIPOS DE EMPAQUE

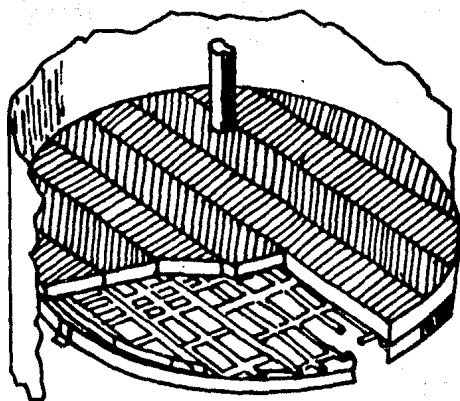
EN PORCELANA



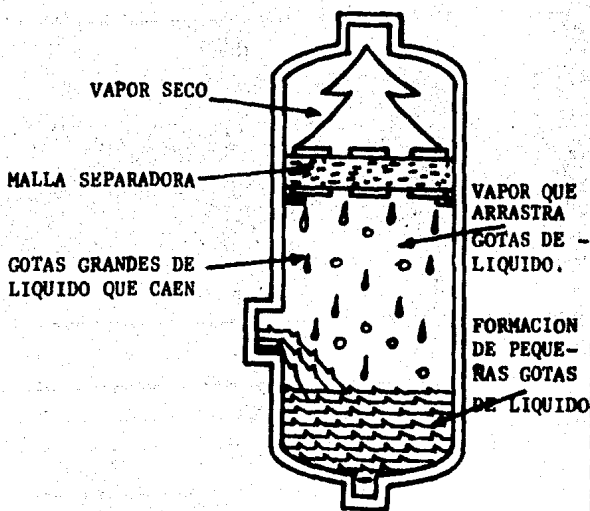
EN PLASTICO



U	FACULTAD DE QUIMICA
N	FIG. 4.10 TIPOS DE PLATOS SO- PORTE.
A	
M	TESIS PROFESIONAL J.A. AVELLA MTZ.

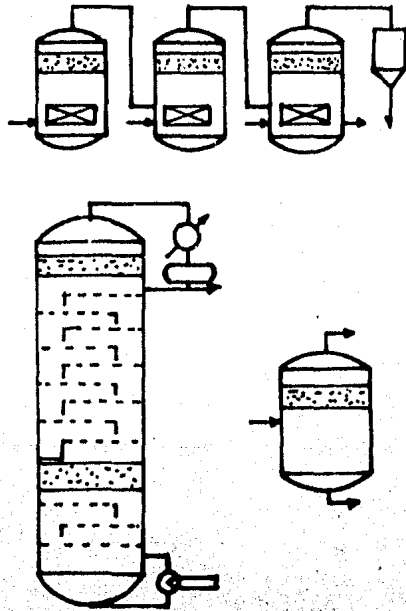


MALLA SEPARADORA

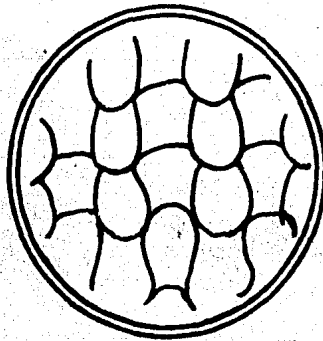
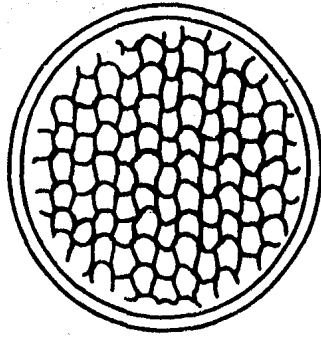


ARREGLO GENERAL DE MALLA SEPARADORA.

U N A M		
F	FIG. 4.11	P
A	MALLA SE	R
C.	PARADORA	O
D	Y ARRE--	T
E	GLO GRAL.	E
Q		S
U		I
I		O
M		N
I		A
C		L
A		J.A.
		AVE-
		LLA.
		MTZ.



U N A M	FACULTAD DE QUIMICA
	FIG. 4.12 APLICACIONES DE LAS MALLAS SEPARADORAS.
	TESIS PROFESIONAL J.A. AVELLA MTZ.



U N A M	FACULTAD DE QUIMICA
	FIG. 4.13 TIPOS DE TEJIDOS DE MALLAS.
	TESIS PROFESIONAL J.A. AVELLA MTZ.

TABLA No. 4.7  
DATOS TECNICOS DE ELIMINADORES DE NIEBLA

DENSIDAD (lb/Ft <sup>3</sup> )	DIAMETRO DE ALAMBRE (in)	% VOLUMEN LIBRE	AREA Ft <sup>2</sup> /Ft <sup>3</sup>	M O D E L O S			CARACTERISTICAS
				DIVMET	YORK	SCHUYLER	
12	0.011	97.4	115	4120	-	812	Buena eficiencia.
10.8	0.011		-	4210	421	890	Servicio pesado, alta eficiencia.
9.0	0.011	98.0	85	4310	431	860	Se recomienda en espesores de 4 in a 6 in.
8.0	0.006	99.0	120	3260	326	612	Malla ultra eficiente, para niebla fina, usada de 4 a 12 in de espesor
7.5	0.011	-	-	4220	422	-	Servicio pesado, similar al 4210 pero más económico, usada en 4 in ó 6 in de espesor.
7.3	0.011	-	-	6440	644	-	Evita atascamiento, para servicio en refinarias, usada de 6 a 8 in de espesor.
7.0	0.011	99.0	65	5310	531	1060	Similar al 4310, pero más económico, se usan en espesores de 6 in.
5.0	0.011	99.0	45	9310	931	1260	Evita atascamiento, bajo costo usada en 6 in de espesor mínimo.



COSTO ESTIMADO DE INTERNOS PARA LA TORRE DESBUTANIZADORA, DA-101,

COSTO ESTIMADO PRELIMINAR (Rango  $\pm$  20%)

Como se observa en el esquema preliminar de la torre DA-101, los internos son:

<u>Descripción</u>	<u>Características</u>
Malla eliminadora	Diámetro 13 Ft.
Platos	27, de 2 pasos.
Sección empacada	6032 Ft <sup>3</sup>

MEMORIA DE CALCULO.

a) Platos.

Como no se indica el tipo de plato, calibre y material de construcción, se procede a seleccionar éstos en función de la práctica. -- Por lo tanto las características recomendables son las siguientes:

Platos con balastras tipo V-1, calibre 10 GA y material de construcción de acero al carbón y válvulas de acero inoxidable T-410.

De la Tabla No. 4.8, se obtiene la ecuación para platos de balastra de 2 pasos, de acero al carbón, con válvulas V-1 de acero inoxidable T-410 y calibre de plato 10 GA.

Costo =  $743-143 (13 \text{ Ft}) + 25(13\text{Ft})^2 = 3,109 \text{ U.S. DLLS/Plato.}$

Tipo de Cambio = 163 \$/US DLLS. a enero de 1984.

Costo Total =  $(3,109 \text{ US DLLS})(27 \text{ Platos})(163 \text{ $/US DLLS}). =$

= 13,682,709 M.N.

\*\*\*\*\*

El costo estimado por medio de esta ecuación incluye diseños, fabricación, materiales, tornillería y herraje para su instalación.

b) Eliminadores de niebla.

Como no se manejan hidrocarburos corrosivos, el material recomendable es acero al carbón, así mismo la densidad de la malla adecuada es de 12 lb/Ft<sup>3</sup>, ya que se manejan fluidos limpios. El empaque es de 4 pulgadas de alambre de 0.011 pulgadas.

De la tabla No. 4,9, la ecuación que se aplica es la siguiente :

Costo de malla = 0.31 (156 pulgadas) = 5,572 US DLLS enero de 84.

Costo de rejilla = (5,572 US DLLS)(0.42) = 2,340 US. DLLS.

Costo Total = (5,572 US DLLS + 2,340 US DLLS.)(0.75).

= (163 4/US DLLS.) = 967,242 M.N.  
 =====

c) Costo de secciones empacadas.

De acuerdo a la Tabla No. 4,6 para una torre desbutanizadora, el empaque recomendado es el tipo Pall de 1 1/2 pulgadas. Como no existen problemas mayores de corrosión el material seleccionado es acero al carbón.

- Volumen de Empaque -

Cama de empaque superior = 4,021 Ft<sup>3</sup>

Cama de empaque inferior = 2,011 Ft<sup>3</sup>

Volumen Total = 6,032 Ft<sup>3</sup>

De la Tabla No. 4.10 , se obtiene el costo unitario para anillos -  
 Pall de 1 1/2 in, y de acero al carbón.

Costo/Ft<sup>3</sup> = 20.9 US DLLS/Ft<sup>3</sup> a enero de 1984.

Tipo de cambio = 163 \$/US DLLS.

Costo = (20.9 US DLLS/Ft<sup>3</sup>)(6,032 Ft<sup>3</sup>)(163 \$/US DLLS)

Costo = 20,549,214 M.N. a enero de 1984.

- Costo de Accesorios -

Se recomiendan distribuidores del tipo vertedero, debido a que son  
 los más ampliamente usados, ya que manejan un amplio rango de flujo.

Con respecto a los platos soportes, el indicado es el tipo multi---  
 beam, porque es el más recomendado para torres de diámetros mayores  
 a 4 Ft, además de que están diseñados para soportar empaques de ta-  
 maño grande.

Debido a que el diámetro de la torre es de 16 Ft. y puesto que se -  
 usará un plato soporte del tipo multibeam, se seleccionará un redis-  
 tribuidor segmentado.

El limitador de cama es del tipo segmentada, su diseño permite re--  
 tener empaques de tamaño mayor así se utiliza en torres de diáme---  
 tros relativamente grandes.

No. de Distribuidores	1
No. de Platos Soportes	2
No. de Limitadores de Cama	2
No. de Redistribuidores	1

Material de Construcción de Accesorios : Acero al Carbón.

- Costo de Accesorios -

En la Tabla No. 4.11 se localizan las constantes para la evaluación del distribuidor, plato soporte redistribuidor y limitador de cama.

- Costo de Distribuidor.

$$\text{Costo} = -111.6 + 239(16\text{Ft}) + 3.8(16\text{ Ft})^2 \text{ US DLLS/Pza}(1)(163\$/\text{US DLLS})$$

$$\text{Costo} = 7,637.08 \text{ M.N.}$$

- Costo de Redistribuidor -

$$217.5 + 192.1(16) + 27.1(16)^2 \text{ US DLLS/Pza (1)(163 \$/US DLLS)} = 1.667,278 \text{ M.N.}$$

- Costo de Platos Soportes -

$$\text{Costo} = 923.1 - 118.3 (16 \text{ Ft}) + 31.1(16\text{Ft})^2 \text{ US DLLS/Pza (2 platos)}$$

$$(163 \$/\text{US DLLS}) = 2,279,359 \text{ M.N.}$$

- Costo de Limitadores de Cama -

$$\text{Costo} = 73.2 + 169.6(16\text{Ft}) + 2.1(16\text{Ft})^2 \text{ US.DLLS/Pza.(2 Limitadores)}$$

$$(163 \$/\text{US.DLLS.}) = 1,083,754 \text{ M.N.}$$

## RESUMEN DE COSTOS DE INTERNOS

Platos	13,682,709 M.N.
Eliminador de Niebla	967,242 M.N.
Empaque	20,549,214 M.N.
Accesorios de la sección empacada.	<u>5,794,159 M.N.</u>
T O T A L	<u>40,993,324 M.N.</u>

## - Costo Estimado de + 10%

Especificaciones de ingeniería para internos de la torre desbutanizadora.

No. de Platos	27
Tipo de Diseño	2 pasoa
Tipo de Plato	Fraccionador Tipo Válvula
Calibre de Plato	10 GA
Calibre de Válvula	14 GA
Material de Construcción	Plato de acero al carbón y válvulas de acero al inoxidable T-410.

## - Eliminador de Niebla -

Cantidad	1
Densidad	9 Lb/Ft <sup>3</sup>
Espesor	6 in
Diámetro de Alambre	0.011 in

Material de Construcción	Acero inoxidable T-309
Tipo de Empaque	Anillos Pall
Tamaño de Empaque	1 1/2 Pulgadas
Material de Empaque	Acero al Carbón
Volumen de Empaque	6032 Ft <sup>3</sup>

- Accesorios -

Tipo de Distribuidor	Vertedero
Cantidad	1
Tipo de Plato Soporte	Multibeam
Cantidad	2
Tipo de Limitador de Cama	Segmentado
Cantidad	2
Tipo de Redistribuidor	Segmentado
Cantidad	1
Material de Construcción de Accesorios.	Acero al Carbón

a) Costo de Platos.

De la Tabla No. 4.8, la ecuación correspondiente es :

$$\text{Costo Base} = 743 - 143(13\text{Ft}) + 25(13\text{Ft})^2 = 3,109 \text{ US DLLS/Plato}$$

Tipo de cambio = 163 \$/US DLLS a enero de 1984.

Factor de costo por calibre = 0.813

Factor de tipo de plato = 0.713 /

Costo = (3,109 US DLLS/Plato)(27 platos)(0.813)(0.713)

(163 \$/US DLLS) = 7.931,442 M.N. a enero de 1984.

El Costo Estimado incluye : diseño, fabricación, materiales, tornillería y herrajes para su instalación.

b) Eliminador de Niebla.

Costo Base =  $0.31(156 \text{ in})^{1.94} = 5,572 \text{ US DLLS.}$

Costo de Rejilla = (5,572 US/DLLS)(0.42) = 2,340 US DLLS.

Tipo de Cambio = 163\$/US DLLS.

Factor de Costo por densidad de malla = 0.75

Factor de costo por densidad de rejilla = 1.00

Factor de costo por material de malla = 1.00

Factor de costo por material de rejilla = 1.20

Factor de costo por espesor de malla = 1.33

- Malla -

(5,572 US DLLS)(0.75)(1.00)(1.33)(163 \$/US DLLS) = 905,965 M.N.

- Rejilla -

(2,340 US DLLS)(1.00)(1.20)(163 \$/US DLLS) = 457,704 M.N.

---

T O T A L 1,363,669 M.N.

TABLA No. 4.8

- ECUACIONES PARA PLATOS DE BALASTRA DE ACERO AL CARBON CALIBRE 10-GA Y VALVULAS DE INOXIDABLE T-410, TIPO V-1, RANGO (2-25 FT DE DIAMETRO).

1 P A S O

$$\text{Costo (US DLLS)} = 742.4999997 - 142.7976192 (\emptyset) + 20.64955357 (\emptyset)^2$$

2 P A S O S

$$\text{Costo (US DLLS)} = 742.4999997 - 142.7976192 (\emptyset) + 24.76190476 (\emptyset)^2$$

FACTORES DE COSTO POR TIPO DE PLATO Y VALVULA.

Platos de balastra con válvulas Tipo A-1	1.1920
Platos fraccionadores tipo Flexitray A	1.3769
Platos fraccionadores tipo Flexitray T	1.5834
Platos fraccionadores tipo válvula	0.7127
Platos fraccionadores tipo perforado	0.6142

FACTORES DE COSTO POR CALIBRE.

Calibre 12 GA	0.8605
Calibre 14 GA	0.8126

- ECUACIONES PARA PLATOS DE BALASTRA DE MONEL, CALIBRE 10-GA TIPO V-1, RANGO EC. 1 Y 2 (2 - 25 FT), EC. 3 (10 - 25 FT).

1 P A S O

$$\text{Costo (US DLLS)} = 3119.2761 - 600.5952379 (\emptyset) + 155.282738 (\emptyset)^2$$



## 2 PASOS

$$\text{Costo (US Dlls)} = 10780.44645 - 1760.357145 (\emptyset) + 215.0669642 (\emptyset)^2$$

## 4 PASOS

$$\text{Costo (US Dlls)} = 91557.23593 - 12232.6485 (\emptyset) + 557.0605815 (\emptyset)^2$$

## FACTORES DE COSTO POR TIPO DE PLATO Y VALVULA.

Platos de Balastra con válvulas Tipo A-1	1.1910
Platos Fraccionadores Tipo Flexitray A	1.3960
Platos Fraccionadores Tipo Flexitray T	1.8545
Platos Fraccionadores Tipo Válvula	0.6022
Platos Fraccionadores Tipo Perforados	0.5244

## FACTORES DE COSTO POR CALIBRE

Calibre 12 GA	0.8605
Calibre 14 GA	0.8126

— ECUACIONES PARA PLATOS DE BALASTRA DE ACERO INOXIDABLE T-410, CALIBRE 10-GA Y VALVULAS DE INOXIDABLE T-410, TIPO V-1, RANGO (2FT - 25 FT). Ec. 3 (10 - 25 FT).

## 1 PASO

$$\text{Costo (US Dlls)} = 301.1160713 + 4.047619046 (\emptyset) + 19.06622023 (\emptyset)^2$$

## 2 PASOS

Costo (US Dlls) = 2290.839285 - 392.4523807 ( $\emptyset$ ) + 39.20684523 ( $\emptyset$ )<sup>2</sup>

## 4 PASOS

Costo (US Dlls) = 15134.85714 - 2105.136904 ( $\emptyset$ ) + 97.71726188 ( $\emptyset$ )<sup>2</sup>

## FACTORES DE COSTO POR TIPO DE PLATO Y VALVULA

Platos de Balastra con Válvulas Tipo A-1	1.1918
Platos Fraccionadores Tipo Flexitray A	1.3582
Platos Fraccionadores Tipo Flexitray T	1.3952
Platos Fraccionadores Tipo Válvula	0.8232
Platos Fraccionadores Tipo Perforado.	0.7014

## FACTORES DE COSTO POR CALIBRE

Calibre 12 GA	0.8605
Calibre 14 GA	0.8126

T A B L A. No. 4.9**- ELIMINADORES DE NIEBLA -**

Mallas de 4 pulgadas de espesor, de acero inoxidable T-304, la densidad de la malla es de 12 - 16 Ft<sup>3</sup>, y alambre de 0.011 pulgadas.

Costo (US Dlls/Pza) = 0.31 (Diámetro, Pulgadas)<sup>1.94</sup> =

Costo de rejilla = (Costo de malla)(0.42) =

**FACTORES DE COSTO**

<u>DENSIDAD</u> <u>(Lb/Ft<sup>3</sup>)</u>	<u>MALLA</u>	<u>REJILLA</u>
5	0.40	1.15
7	0.60	1.15
9	0.75	1.00
12	1.00	1.00
<u>MATERIAL</u>	<u>MALLA</u>	<u>REJILLA</u>
Acero al carbón.	0.75	0.75
Inox. T-410	1.10	1.15
Inox. T-304	1.00	1.20
Inox. T-316	1.10	1.38
MONEL	1.50	3.00
<u>ESPEJOR (PULG.)</u>	<u>MALLA</u>	
4	1.00	
6	1.33	
8	1.63	
12	2.16	

T A B L A No. 4.10  
 ESTADISTICA DE PRECIOS UNITARIOS PARA EMPAQUES A ENERO DE 1984

TAMAÑO (PULG)	COSTO DE EMPAQUE (US DLLS/FT <sup>3</sup> )								
	ANILLOS PALL			SILLETAS BERL	SILLETAS INTALOX		ANILLOS RASCHIG		
	Acero al Carbón	Acero Inox.	Polipropileno	Porcelana	Porcelana	Polipropileno	Acero al Carbón	Acero Inox.	Porcelana
1	30.8	116.8	27.8	43.7	24.6	27.8	38.4	138.2	16.7
1 1/2	20.9	89.1	18.8	32.5	18.8		25.1	104.7	13.4
2	19.1	77.1	17.2		16.9	17.2	21.6	92.4	12.3
3					15.5	8.9	17.6		10.3

T A B L A No. 4.11 ECUACIONES PARA EL CALCULO DEL COSTO DE PLATOS SOPORTE, LIMITADORES DE CAMA, PLATO HOLD DOWN, DISTRIBUIDORES Y REDISTRIBUIDORES.

D e s c r i p c i ó n	COSTO (US DLLS/PEZA) = A + B (DIAMETRO EN FT) + C (DIAMETRO EN FT.) <sup>2</sup>					
	Material : Acero al Carbón			Material:Acero Inoxidable		
	A	B	C	A	B	C
Plato soporte	228.6	177.3	-3.3	254.2	143.0	46.2
Plato soporte (Multi-Beam)	923.1	-118.3	31.1	537.7	198.0	29.1
Plato Hold-Down (de dos piezas)	-706.0	855.7	-92.6	56.0	359.4	115.2
Plato de Hold-Down (Construcción Segmentada)	-66.7	221.1	96.7	-503.9	409.5	6.2
Límitador de cama. (De dos piezas)	203.3	34.9	59.4	138.6	70.6	99.0
Límitador de cama (Construcción Segmentada)	73.2	169.6	2.1	371.2	397.3	1.4
Distribuidor de Orificio	233.2	44.0	36.8	279.4	48.9	59.4
Distribuidor de Vertedero	-111.6	239.0	3.8	-230.7	395.9	5.0
Redistribuidor (De dos o tres piezas)	263.1	6.8	79.1	200.8	120.9	72.5
Redistribuidor	217.5	192.1	27.1	742.1	64.8	51.6

#### 4.4 CAMBIADORES DE CALOR

##### Generalidades.

Todo proceso químico requiere de la eliminación o adición de calor, para tal motivo, se utilizan los cambiadores de calor.

Estos equipos no se caracterizan por un sólo diseño ya que esto es función de una gran variedad de factores que solo dependen de las necesidades de un proceso en particular. Por consiguiente -- existe una gran variedad de estos equipos los cuales tienen como única característica común el transferir calor de una fase caliente a una fase fría, estando estas fases separadas por una pared sólida.

En el mercado se fabrican tipos muy diversos de cambiadores de calor los cuales van desde el tipo más simple como lo es el ---- cambiador de doble tubo hasta el cambiador de coraza y tubos.

Siempre que lo requiera el proceso, pueden diseñarse cambiadores de calor especiales, sin embargo cuando sea posible es preferible utilizar los diseños estandares o equipos de línea.

Entre los equipos más utilizados se encuentran los de coraza y tubos, cuyo diseño mecánico se encuentra regido por los códigos --- ASME Sección VIII divisiones 1 y 2, y tema en sus clases R, C y B.

Dentro de los diferentes diseños para equipos de coraza y tubos se han encontrado que las longitudes de tubos van desde 8, 16 y 24 pies, y las corazas desde 16 a 74 pulgadas de diámetro interior.

Los tubos se encuentran disponibles en varios metales como : Acero al carbón, cobre, admiralty, metal muntz, latón, 70-30 Cu-Ni, aluminio-bronce, aluminio y aceros inoxidable, obteniéndose en diferentes espesores de pared, definidos por el calibrador Birmingham (BWC del Tubo), de los cuales los tubos de 3/4 y 1 pulgada son los más comunes.

Los materiales de corazas que comunmente se utilizan son : acero al carbón, acero de baja aleación, acero de alta aleación, aleaciones de cobre y aluminio, etc.

#### Clasificación.

Los equipos de coraza y tubos se clasifican según el código TEMA en regiones que son : coraza o cubierta, cabezales y haz de tubos, así un cambiador queda definido por la combinación de siglas distintas de cada región. Los equipos de cabezal flotante serán aquellos cuya última sigla termine en P, S, T y W. Para cambiadores de cabezal fijo las siglas serán : L, M y N.

Al realizar un análisis estadístico de las adquisiciones efectuadas acerca de los equipos de coraza y tubos, se ha encontrado -- que para el sector de refinación el 70% son equipos de cabezal flotante y el 30% son de cabezal fijo y otros diseños especiales. Dentro del sector petroquímico el 60% corresponde a equipos de cabezal fijo, 30% a cabezal flotante y 10% a otros diseños.

Las combinaciones más frecuentes para equipos de cabezal flotante son: 60% AES, 20% AET, 10% AJS y un 10% son combinaciones del tipo AJT, AHS, AGT, AGS, CES, BJS, AKT, AHT, BES, etc., para cabezal fijo las combinaciones más usuales son: CEN, BEM, CKN, BKU, CJM, AKL, NEM, Etc., que tienen uso sobre todo en plantas criogénicas, etileno, amoníaco, derivados clorados, metanol, butadieno, acetaldehído, etc.

Los cambiadores de calor de coraza y tubos consisten en un haz de tubos contenido en una envolvente cuyo diámetro es algo mayor que el de dicho haz. Con este arreglo se forman dos circuitos independientes. Un fluido circula por el interior de los tubos y el otro fluido circula alrededor de los tubos y por el interior de la envolvente. Las partes en contacto con el fluido que circula por los tubos se denominan "Lado de Tubos" y las que están en contacto con el fluido circulando alrededor de los tubos se llama "Lado de la envolvente".



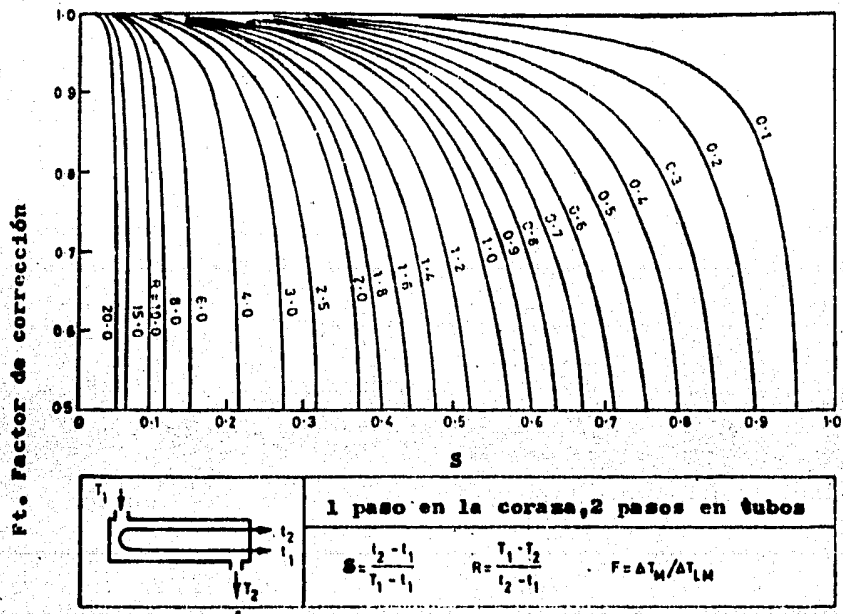
Existen varias clasificaciones para los cambiadores de envolvente y tubos, de acuerdo a la función del cambiador (punto de vista de proceso) y la forma (punto de vista mecánico). Desde el punto de vista mecánico los cambiadores se clasifican según: lado de los tubos y lado de la envolvente. Para ilustrar lo considerado, se presentan los esquemas típicos de arreglos, así como los parámetros de corrección para temperatura. (Fig. 4.14).

Los cambiadores de coraza y tubos, se clasifican de acuerdo al código TEMA, así tenemos que según el lado de los tubos se ordenan en :

- Tipos de extremo posterior.

a) Cabezal flotante (CF), TEMA, P, S, T y W, son equipos más versátiles y usados, como tipos básicos se tienen los siguientes :

- TEMA (P), con empaquetadura exterior, poco recomendable.
- TEMA (S), con anillo partido, es el cambiador más versátil para presiones hasta 450 psig. (30 Bars) y áreas de transferencia hasta 3000 pies cuadrados.
- TEMA (T), de cabezal flotante deslizante, se usan para altas presiones y áreas mayores de 3000 pies cuadrados, son de mantenimiento más sencillo que el tipo TEMA (S). Como desventaja, presenta un "By-pass" del fluido a través del haz, perjudicando la transmisión del calor.



**Fig. 4.14 Factores de Corrección MLDT para intercambiadores 2-4**

Ref: Donald Q. Kern ( 5 )

- TEMA (W), son equipos con empaquetadura deslizante "Latern Ring", menos costosos que los anteriores de cabezal flotante, recomendables para presiones y temperaturas bajas.

Los cambiadores de cabezal flotante pueden ser :

- Con empaquetadura (no recomendable)
- Con junta de expansión.

b) Cambiadores de calor de tubos en "U" , TEMA U.

Son equipos muy económicos en general, se utilizan cuando se manejan flúidos limpios en los tubos (ideal para gases).

c) Cambiadores de calor de cabezal fijo, TEMA M.

Son los más económicos, sólo si la diferencia de temperatura entre ambos flúidos no es grande y que no se requiera junta de expansión. Es recomendable para flúidos limpios y no corrosivos.

- Tipo de Distribuidor.

a) Cambiadores con tapa, TEMA A

Son equipos de fácil mantenimiento.

b) Cambiadores con fondo embutido, TEMA B

Son los más económicos.

c) Cambiadores de distribuidor combinado con placa tubular fija

TEMA C.

Son equipos para altas presiones (900 psig o más).

- Tipos de tubos.

a) Tubos lisos, con o sin costura.

Son los más baratos y usuales.

b) Tubos de Bayoneta.

Se utilizan para bajas pérdidas de carga y grandes diferencias de temperatura entre los dos flúidos.

c) Tubos de aletas.

Para grandes diferencias entre los coeficientes de transmisión superficial de los dos flúidos.

- Tubos de aletas transversales. "K FIN", proporcionan mayor incremento de área exterior, la relación de áreas exterior-interior es hasta de 20.

- Tubos de aletas integrales. "LO FIN", de diámetro exterior igual al de los tubos lisos, la relación de áreas exterior-interior es del orden de 2.5.

Tipos de deflectores. La Tabla 4.12, presenta los diferentes tipos, así como un breve comentario de aplicación de los mismos.

d) Tubos de transmisión mejorada, "EHT TUBES", se encuentran en dos tipos:

- Ranurados transversalmente o tubos en forma de cable "ROPED TUBES".
- Ranurados longitudinalmente o tubos en forma de flauta ---- "FLUTED TUBES", se utilizan en condensadores.








La ventaja de estos tubos con respecto a los tubos de aletas es que mejoran los coeficientes de transmisión superficial interior y exterior.

Disposición de Tubos.

Pueden colocarse en :

- Paso triangular. Este arreglo proporciona la máxima superficie para una envolvente dada y el mejor coeficiente de transmisión. El paso triangular sólo se usa para flúidos limpios en el caso de la envolvente ya que es difícil la limpieza mecánica del haz.
- Paso cuadrado. Proporciona aproximadamente un 15% menos de área que el paso triangular, pero con la ventaja de que facilita la limpieza del haz.

TABLA 4.12 TIPOS DE DEFLECTORES.

TIPO DE DEFLECTOR		APLICACION	
Segmentado simple	Corte horizontal		Sin cambio de fase. Calentamiento y enfriamiento. El fluido va de arriba a abajo y se evita la estratificación.
	Corte vertical		Vaporización. Condensación. Sin cambio de fase con sólidos suspendidos.
Segmentado doble	Corte horizontal		Como el segmentado simple pero para requerimientos de baja pérdida de carga.
	Corte vertical		Como el segmentado simple, pero para requerimientos de baja pérdida de carga.
Disco y anillo			Como alternativa al doble segmentado de corte horizontal. No se emplea frecuentemente, por su elevado costo.
Completo			Vaporización. En otros procesos para dividir el flujo.
Longitudinal			Vaporización. Condensación. Asegura la buena distribución del flujo en doble fase. Dos pasos envolventes.

- Clasificación según el lado de la envolvente.

a) Cambiadores con haz tubular ocupando toda la sección transversal (no hay espacio libre para el vapor), existen 4 grupos -- básicos que son:

- Un sólo paso por la envolvente TEMA E.

Son de uso más común.

- Dos pasos, TEMA F, es más económico este diseño, que utilizar dos envolventes en serie para el mismo servicio, con la desventaja de que su construcción no es sencilla, ocasionando problemas de funcionamiento. No se recomienda para pérdidas de carga en el lado de la envolvente mayores de 0.7 - Bar y temperaturas mayores a 175°C.

- Circulación dividida, TEMA J. Reducen la pérdida de carga al 13% aproximadamente, de la causada por un TEMA E, del mismo diámetro.

- Circulación repartida, TEMA G. Se utilizan cuando hay --- cambios de fase.

b) Cambiadores con haz tubular, ocupando sólo una parte de la -- sección transversal (existe espacio para el vapor). Se consideran 3 tipos.

- Cambiadores de calor con haz tubular (D). Son equipos con haz incompleto (se suprimen algunas filas superiores). Son equipos muy económicos que se utilizan sólo para pequeños caudales de vapor.
- Equipos tipo Calderín, TEMA K. El haz de tubos está colocado en forma excéntrica, técnicamente en una mejor solución, pero son equipos muy costosos.
- Haz de tubos en recipiente. Son equipos muy económicos pero con muy baja eficiencia térmica. Se usan para grandes volúmenes o tiempos de residencia grandes.

Resumiendo lo antes expuesto para cambiadores de calor de coraza y tubos, se puede afirmar que con tres tipos básicos de diseño se pueden satisfacer todas las necesidades de transmisión de calor en los procesos. Estos tres diseños son:

- Equipos de cabezal flotante de anillo partido, TEMA AXS.
- Tubos en U, TEMA BXU.
- Cambiadores de espejo fijo, TEMA BXM.

La tabla 4.13, muestra las características típicas de estos tres diseños más el AET, así como la Figura 4.15, muestra los tipos de distribuidor, envolvente y extremo posterior que combinados proporcionan el diseño propio para un servicio dado.



- Clasificación de cambiadores de calor de acuerdo al código --  
TEMA.
- Clase R. Son los cambiadores de calor que estarán sometidos a requisitos severos de la industria petrolera y otros procesos similares. Los equipos fabricados de acuerdo a esta clase, se diseñan para dar durabilidad y seguridad dentro de las condiciones de servicio riguroso y mantenimiento normal propios de estas aplicaciones.
- Clase C. Son los cambiadores de calor que estarán sometidos a requisitos moderados de los procesos comerciales y generales. Los equipos fabricados de acuerdo a esta clase, están diseñados para máxima economía y de tamaño compacto, compatibles con los requisitos de seguridad y servicio de estas aplicaciones.
- Clase B. Son aquellos equipos que estarán sometidos a requisitos de las condiciones de servicio de los procesos químicos. Los cambiadores de calor construidos de acuerdo a esta clase, están diseñados para máxima economía y de tamaño compacto, compatibles con los requisitos de seguridad y servicio de estas aplicaciones.

- Materiales de construcción.

Los cambiadores de calor se fabrican en una gran variedad -- de materiales. La selección de estos materiales dependerá básicamente de los flúidos que se manejen y de las condiciones de operación. En la Tabla No. 4.14, se indican mediante índices porcentuales la demanda histórica de los materiales más comunmente usados para cambiadores de calor.

De igual manera en la Tabla No. 4.15, se indican los materiales más usuales para cambiadores de calor, así como los índices relativos de costo para materiales de tubos, coraza, canal y espejo tomando como base el acero al carbón.

en la misma tabla se muestran los factores de costo por tipo de cambiador de calor, considerando como base el cambiador (AES).

**TABLA 4.13 CARACTERISTICAS DE CAMBIADORES CONSTRUCCION 150 N. DE CUATRO PASOS, TUBOS DE 16 ft. DE 3/4" DIAMETRO EXTERIOR Y ESPESOR 18 BWG, CON PASO TRIANGULAR DE 16/16"**

Tipo TEMA	BEU			AEM			AET			AES		
Diámetro nominal	Longit. total	Peso lb.	Superf. sq ft.	Longit. total	Peso lb.	Superf. sq ft.	Longit. total	Peso lb.	Superf. sq ft.	Longit. total	Peso lb.	Superf. sq ft.
8"	204"	550	50	199"	700	38	208"	800	38	208"	1.450	100
10"	206"	840	113	201"	1.080	88	207"	1.300	100	207"	2.150	178
12"	208"	1.175	226	202"	1.625	188	209"	1.625	182	207"	2.850	295
13"	207"	1.800	326	203"	1.900	289	211"	1.890	238	208"	3.150	358
15"	211"	2.200	414	205"	2.400	378	211"	2.800	364	209"	4.200	514
17"	212"	2.840	585	207"	3.250	527	214"	3.200	502	209"	5.300	684
18"	215"	3.475	740	207"	3.950	702	214"	4.000	685	211"	6.500	687
21"	215"	4.630	928	206"	4.900	878	215"	4.720	872	212"	7.300	1.123
23"	217"	5.360	1.204	210"	5.800	1.129	215"	6.000	1.091	214"	9.100	1.381
25"	217"	6.800	1.443	213"	7.250	1.380				215"	10.800	1.587
27"										218"	11.900	1.838
29"										219"	14.200	2.158
31"										222"	18.000	2.509
33"										223"	18.400	2.882
36"										224"	20.000	3.274

Ref: Ing. Química ( 9 )

FIG. 4.15 NOMENCLATURA DE CAMBIADORES DE CALOR

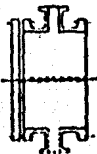
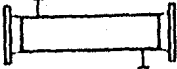
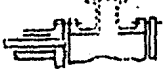

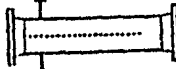

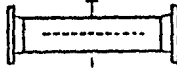

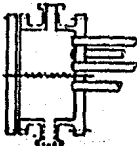
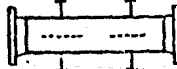

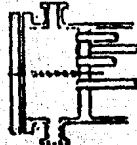
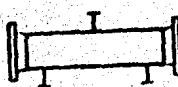

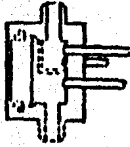
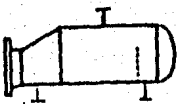

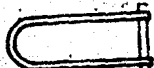

TIPOS DE CABEZALES DE ADMISION	TIPOS DE CORAZAS	TIPOS DE CABEZALES DE RETORNO
 <p>A</p> <p>CUBIERTA Y CANAL DISTRIBUIDOR REMOVIBLES</p>	 <p>E</p> <p>UN PASO</p>	 <p>L</p> <p>ESPEJO FIJO COMO "A" SIN PLACA OMIETORA</p>
 <p>B</p> <p>BONETE</p>	 <p>F</p> <p>DOS PASOS CON BAFFLE LONGITUDINAL</p>	 <p>M</p> <p>ESPEJO FIJO COMO "B" SIN PLACA OMIETORA</p>
	 <p>G</p> <p>FLUJO ABIERTO</p>	 <p>N</p> <p>ESPEJO FIJO COMO "C" SIN PLACA OMIETORA</p>
 <p>C</p>	 <p>H</p> <p>FLUJO DOBLE ABIERTO</p>	 <p>P</p> <p>CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR</p>
 <p>C</p> <p>CANAL DISTRIBUIDOR CON ESPEJO INTEGRAL DE CUBIERTA REMOVIBLE</p>	 <p>J</p> <p>FLUJO DIVIDIDO</p>	 <p>S</p> <p>CABEZAL FLOTANTE CON CONTRA BRICA</p>
 <p>D</p> <p>ESPECIAL PARA ALTA PRESION</p>	 <p>K</p> <p>VAPORIZADOR</p>	 <p>T</p> <p>CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRA BRICA</p>
		 <p>U</p> <p>HAZ DE TUBOS EN "U"</p>
		 <p>W</p> <p>ESPEJO FLOTANTE CON EMPAQUE</p>

TABLA No. 4.14 DEMANDA DE MATERIALES PARA CAMBIADORES  
DE CALOR.

<u>M A T E R I A L E S</u>	<u>%</u>
Acero al Carbón.	45.9
Acero de baja aleación	12.3
Acero de alta aleación	13.4
Cobre aleado	25.1
Níquel aleado	3.3

TABLA No.4.16 MATERIALES DE CONSTRUCCION DE CAMBIADORES DE CALOR\*

TUBOS	CORAZA, CANALES, CUBIERTAS, CAREZAL FLOTANTE, ESPEJOS Y BRIDAS			
	TUBO	PLACA	FUNDICION	FORJA
1-Sin costura	Acero al carbón:	Acero al carbón.	Acero al carbón:	Acero al carbón
Acero al carbón:	ASME SA-106 Gr. B6A	ASME SA-285 Gr. C	ASME SA-216	ASME SA-105 Gr. I & II
ASME SA-179	ASME SA-53 Gr. B6A	ASME SA-515	ASME SA-352	ASME SA-181 Gr. I & II
ASME SA-210	Baja aleación:	ASME SA-516	Baja aleación:	ASME SA-266 clase 1 & 2
Baja aleación:	ASME SA-335	Baja aleación:	ASME SA-217	Alta y baja aleación:
ASME SA-309	Alta aleación:	ASME SA-204	ASME SA-352	ASME SA-182
ASME SA-199	ASME SA-376	ASME SA-203	Alta aleación:	ASME SA-336
Alta aleación:	ASME SA-312	ASME SA-387	ASME SA-351	Niquel y aleaciones de niquel:
ASME SA-213	Aluminio y aleaciones de aluminio:	ASME SA-357	Aleaciones de cobre:	ASME SB-160
ASME SA-268	ASME SA-241	Alya aleación:	ASME SB-61	ASME SB-164
Niquel y aleaciones de niquel:	ASME SA-241	ASME SA-240	ASME SB-62	ASME SB-166
ASME SB-163	Cobre y aleaciones de cobre:	Niquel y aleaciones de niquel:	Hierro gris:	Aluminio y aleaciones de aluminio:
Aluminio y aleaciones de aluminio:	ASME SB-42	ASME SB-162	ASME SA-278 Clase 30	ASME SB-247
ASME SB-234	ASME SB-43	ASME SB-127	Aluminio y aleaciones de aluminio:	
Cobre y aleaciones de cobre:		ASME SB-168	ASME SB-26	
ASME SB-111		Aluminio y aleaciones de aluminio:		
ASME SB-395		ASME SB-209		
2-Con costura (soldado)		Cobre y aleaciones de cobre:		
Acero al carbón:		ASME SB-11		
ASME SA-214		ASME SB-96		
Alta aleación:		ASME SB-169		
ASME SA-249		ASME SB-171		
		ASME SB-402		

\* STANDARDS OF TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION.

ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD (Rango  $> \pm 30\%$ )

Con el fin de ilustrar el desarrollo de este tipo de estimado, tenemos el siguiente ejemplo:

Debido a un aumento en la demanda del producto, se desea aumentar la capacidad de una planta de ciclohexano. Para lo anterior se requiere adicionar un cambiador de calor, el cual cumpla con los siguientes requerimientos:

Servicio	Enfriador de $H_2$
Area total de transferencia	129 $Ft^2$
Tipo de cambiador	Coraza y tubos.

Ya que no se dispone de más datos que los mencionados anteriormente, es necesario seleccionar un tipo de cambiador así como los materiales de construcción adecuados a el servicio.

En base a la experiencia y puesto que se manejan flúidos relativamente limpios y no corrosivos, se recomienda un cambiador de calor de las siguientes características:

Tipo de equipo	: BEM
Material de Tubos	: Acero al carbón
Material de coraza	: Acero al carbón

Para efectuar el estimado de costo se tiene como referencia un equipo adquirido con anterioridad, el cual tiene las siguientes características.

Tipo de equipo	: BEN
Área total de transferencia	: 159 Ft <sup>2</sup>
Material de tubos	: SA-179
- Material de coraza	: SA-106-B
Costo	: 1.356,720 M.N.
Fecha	: Enero-84.
Proveedor	: Consorcio Industrial

Para aplicar la ecuación de relación de capacidades, tenemos que de la Tabla 1 E, el exponente típico para cambiadores de calor es de :  
 $n = 0.6$  Por lo tanto el costo estimado del equipo es el siguiente:

$$\text{Costo del equipo} = 1.356,720 \text{ M.N.} \left( \frac{129 \text{ Ft}^2}{159 \text{ Ft}^2} \right)^{0.6} = 1,196,756 \text{ M.N.}$$

Partes de repuesto	4.5 %	=	53,854
Anillo de prueba	4.0 %	=	47,870
Pintura y llenado de N <sub>2</sub>	2.5 %	=	29,919
<b>T O T A L</b>			<b>1,328,399 M.N.</b>



ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD (Rango  $\pm$  30%)

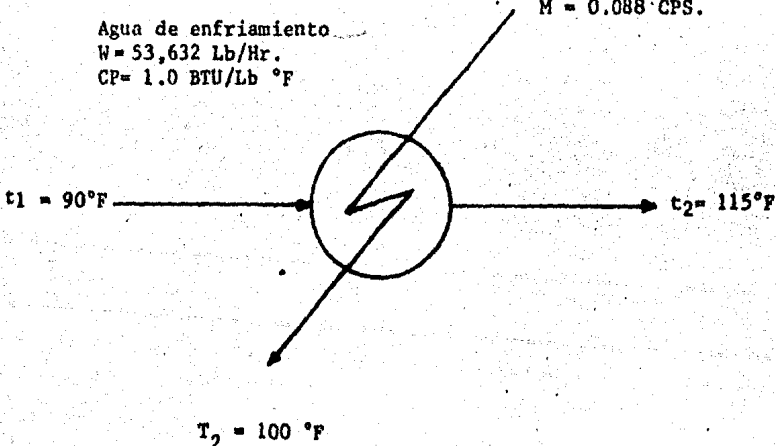
Continuando con el ejemplo anterior, a medida que avanza la ingeniería básica del proyecto, se dispone de información tal como diagramas de flujo preliminares en los que se indican corrientes, gastos, temperaturas y propiedades de los flúidos manejados.

Con esta información es posible recomendar en base a la experiencia el tipo de equipo y los materiales de construcción, así como calcular el área de transferencia de calor como se muestra a continuación:

Para el estimado de costo de un enfriador de hidrógeno, se dispone del siguiente diagrama preliminar:

$T_1 = 550^\circ\text{F}$ .  
Hidrógeno  
 $W = 2,137 \text{ Lb/Hr}$   
 $C_p = 1.143 \text{ BTU/Lb}^\circ\text{F}$   
 $M = 0.088 \text{ CPS}$ .

Agua de enfriamiento  
 $W = 53,632 \text{ Lb/Hr}$ .  
 $C_p = 1.0 \text{ BTU/Lb}^\circ\text{F}$



Considerando que los flúidos manejados son relativamente limpios y no corrosivos, el equipo más recomendable para este caso es un cambiador tipo BEN (es el más económico para flúidos limpios) de tubos y coraza de acero al carbón.

Características del equipo seleccionado:

Tipo : BEM  
 Material de tubos : Acero al carbón  
 Material de coraza : Acero al carbón

Una vez que se han definido las características del equipo a estimar, se procede a calcular mediante un método rápido, y corto el área de transferencia de calor,

CALCULO DEL AREA DE TRANSFERENCIA:

- a) El primer paso es calcular, mediante un balance de calor, la carga térmica.

$$Q = WC_{pAT} = WCPAT$$

$$Q = (2,137 \text{ LB/HR})(1.143 \text{ BTU/Lb}^\circ\text{F})(550-100)^\circ\text{F} = 1,099,166 \text{ BTU/HR}$$

$$Q = (53,632 \text{ LB/HR})(1.0 \text{ BTU/LB}^\circ\text{F})(115-90)^\circ\text{F} = 1,340,800 \text{ BTU/HR}$$

- b) El siguiente paso es calcular la temperatura media logarítmica. -  
 Para esto se considera un flujo a contracorriente, ya que es el más eficiente.

$$MLTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln(T_2 - t_1)} = \frac{(550 - 115)^\circ\text{F} - (100 - 90)^\circ\text{F}}{\ln(435/10)} = 113^\circ\text{F}$$

Considerando un cambiador de 1 paso por la coraza y dos pasos por los tubos (se recomienda este tipo por ser el más ampliamente usado), se procede a calcular el factor de corrección ( $F_T$ ) para la obtención de la MLTD verdadera. Para el cálculo de  $F_T$  es necesario obtener las siguientes relaciones:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{(550-100)^\circ\text{F}}{(115-90)^\circ\text{F}} = 18$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{(115-90)^\circ\text{F}}{(550-90)^\circ\text{F}} = 0.054$$

Con estos valores de R y S, se obtiene de la Figura No. 4.14 el factor  $F_T=0.90$ . Por lo tanto la MLTD verdadera es :

$$MLTD = (113^\circ\text{F})(0.90) = 102^\circ\text{F}$$

c) A partir de la ecuación general de transferencia de calor y con el coeficiente global de transferencia de calor "U" (para el sistema hidrógeno agua), se calcula el área de transferencia.

De la tabla No. 4.17, tenemos que el valor del coeficiente global de transferencia de calor para el sistema H<sub>2</sub>-Agua se encuentra en un rango de 80 a 125 BTU/°F Ft<sup>2</sup>HR. Para el cálculo del área, tomamos el valor de "U" menor ya que de esta manera el área obteni-

da será la mayor,

$$A = \frac{Q}{(U) (MLTD)} = \frac{1,340,800 \text{ BTU/Hr.}}{\left(80 \frac{\text{BTU}}{^{\circ}\text{F Ft}^2\text{HR}}\right) (102^{\circ}\text{F})} = 164 \text{ Ft}^2$$

d) De la Figura y/o ecuación No. 3, para un área de  $164 \text{ Ft}^2$  se obtiene el costo unitario base el cual está referido a un cambiador de las siguientes características:

Tipo de equipo	: AES
Material de tubos	: Acero al carbón
Material de coraza	: Acero al carbón
Diámetro de tubos	: 3/4 in
Calibre	: 14 BWG
Longitud	: 16 Ft.
Arreglo	: $\Delta$ 1 1/4
No. DE PASOS EN LOS TUBOS	: 2

Costo Unitario base = $95,185 (164 \text{ Ft}^2)^{-0.42}$	=	11,177 \$/Ft <sup>2</sup>
Costo del equipo = $(11,177 \text{ $/Ft}^2)(164 \text{ Ft}^2)$	=	1,833,028 M.N.
Partes de Repuesto (4.5%)	=	82,486 M.N.
Anillo de prueba (4.0%)	=	73,321 M.N.
Pintura y llenado de N <sup>2</sup> (2.5%)	=	45,826 M.N.
<b>COSTO BASE TOTAL</b>		<b>2,034,661 M.N.</b>

De la Tabla No. 4,15, se tiene que el factor por tipo de equipo es -  
FTEQ = 0.77

Por lo tanto el costo total estimado es :

Costo = (2.034,661 M.N.)(0.77) = 1,566,689 M.N.

**COSTO ESTIMADO PRELIMINAR (Rango  $\pm$  20 %)**

Para este ejemplo la información se obtiene generalmente de diagramas de flujo de proceso, donde se indican las siguientes variables.

**C O N C E P T O****C A R A C T E R I S T I C A S**

Tipo de cambiador	BEU
Area total de Trans. de diseño	149 Ft <sup>2</sup>
Servicio	Enfriador de hidrógeno de regeneración.
Lado de tubos (corriente de gas)	
T1	550°F
T2	100°F
Lado de la envolvente (Agua de enfriamiento).	
t1	90°F
t2	115°F
Material de tubos (Baja aleación)	SA-209-T1
Material de coraza (acero al carbón)	SA-106-B

De la gráfica y/o ecuación No. 3, se obtiene el costo base del cambiador.

$$(\text{costo}/\text{Ft}^2) = 95,185 (149 \text{ Ft}^2)^{-0.42} = 11,637 \text{ \$/Ft}^2 \quad \text{ENERO-84.}$$

El siguiente paso es obtener los factores de costo para el equipo considerado (BEU) los cuales se obtienen de la Tabla No. 4.15.

<u>C O N C E P T O</u>	<u>FACTOR DE COSTO</u>
Tipo de equipo (BEU)	0.874
Material de tubos (sin costura)	2.60
Material de coraza	1.00

Las características recomendables para este equipo son las siguientes:

<u>C O N C E P T O</u>	<u>CARACTERISTICAS</u>
Tubos	3/4 in
BWG	14
Arreglo	1 in $\Delta$
No. de pasos	2

Con los datos anteriores se localiza en la Tabla No. 4.18, un diámetro de coraza recomendable, con la finalidad de estimar la longitud propia del equipo.

<u>C O N C E P T O</u>	<u>CARACTERISTICAS</u>
Diámetro del envolvente	10 in
No. de tubos	52

Para tubos de 3/4 in BWG 14, la superficie por pie lineal es la siguiente :

$$a = 0.1963 \text{ FT}^2/\text{FT Lineal}$$

Con este valor, y el área de transferencia total, se obtiene la longitud total de tubos,

$$\text{Longitud de tubos} = \frac{14 \pi \text{ FT}^2}{0.18 \frac{\text{FT}^2}{\text{FT}}} = 759 \text{ FT}$$

$$\text{Longitud del cambiador} = \frac{759 \text{ FT}}{52 \text{ Tubos}} = 14.6 \text{ FT} \approx 15 \text{ Ft}$$

Por consiguiente las características del equipo se describen a continuación :

<u>C O N C E P T O</u>	<u>C A R A C T E R I S T I C A S</u>
Diámetro de Coraza (DI)	10 in
Longitud del cambiador	15 Ft

Debido a que ya se dispone de los datos necesarios para llevar a cabo el estimado de costo, se procede a la realización del mismo, de la siguiente manera:

Costo del equipo	(Costo base) (FTEQ) (FM)	
Costo del equipo	(1,733,111 M.N.) (1.40) (0.874)	= 2,121,616 M.N.
Partes de Repuesto	(4) (4.5%)	= 95,473 M.N.
Anillo de Prueba	(4) (4.0%)	= 84,865 M.N.
Pintura y llenado de N <sub>2</sub>	(%) (2.5%)	= 53,040 M.N.
	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>= 2,354,994 M.N.</b>



COSTO ESTIMADO (Rango  $\pm$  10%)

Cuando por fin se dispone de toda la información necesaria como para convocar a un concurso para la cotización del equipo, por ejemplo hojas de datos y dibujos de ingeniería, es posible elaborar un costo - estimado de rango  $\pm$  10% .

Continuando con el ejemplo, tenemos que los datos obtenidos de hojas de datos y dibujos de ingeniería, son los siguientes:

Tipo de Cambiador	: BEU
Servicio	: Enfriador de H <sub>2</sub>
Area de transferencia de diseño	: 149 Ft <sup>2</sup>
Posición	: Horizontal
TUBOS :	
Material	: SA-209-t1
Diámetro	: 3/4 in
Calibre	: 14 BWG.
Cantidad	: 19 "U"
Longitud	: 10 Ft
Arreglo	: 1 in
Presión de diseño	: 235 psig
Temperatura de diseño	: 557°F
No. de pasos en los tubos	: 2
Peso del haz de tubos	: 700 Lb.

CORAZA :

Material	: SA-106-B
Diámetro	: 10 3/16 in
Presión de diseño	: 90 psig
Temperatura de diseño	: 150 °F
Peso de la coraza	: 1 000 Lb.

Un estimado de esta naturaleza para un cambiador de calor, se lleva a cabo mediante un costo base el cual es afectado por diferentes factores de acuerdo a las características del equipo cuyo costo se desea estimar, como se muestra a continuación:

Costo estimado = (Costo base) (FTEQ) (FP) (FT)

En donde :

FTEQ = Factor por tipo de equipo

FP = Factor por diámetro, PITCH y arreglo de tubos

FT = Factor por longitud, número de pasos y calibre de tubos, presión de diseño y materiales de construcción.

De la Tabla No. 4.15 tenemos :

FTEQ = 0.87

Con las relaciones de la Tabla No. 20, calculamos :

$$FP = 0.75 (1)^2 \frac{1.0 \text{ in}}{0.75 \text{ in}} = 1.00$$

Corrección por longitud de tubos :

$$CL = 1 - \left[ \frac{10}{20} \right] 1.5 - \left[ \frac{0.002083 (Di-12)}{1 - \left( \frac{10}{20} \right)} \right] = 0.75$$

Corrección por No. de pasos en los tubos :

$$CNT = \frac{NPT-1}{100} = 0.00$$

Corrección por presión en el lado de los tubos:

$$CPT = \left[ \left( \frac{235}{150} \right) - 1 \right] \left[ 0.035 + 0.00056(10.1875-12) \right] = 0.02$$

Corrección por presión en el lado de la coraza:

Debido a que la presión en el lado de la coraza es menor a 150 psig, no se aplica corrección alguna.

Una vez hechas las consideraciones anteriores, se procede a calcular el factor de costo por materiales de construcción de la Tabla No. —

4.19.

Corrección por material de tubos.

$$CMT = Y \quad (FTC \text{ ó } FTS-1)$$

$$Y = 0.129 + 0.0016 (Di-12) \left[ \frac{do}{0.75 (Pi)^2 a} \right]$$

En donde :

FTC y FTS = Costos relativos de tubos con y sin costura con respecto al acero al carbón.

Di = Diámetro interno de coraza (in)

do = Diámetro de los tubos (in)

Pi = Pitch (in)

a = Constante en función del tipo de arreglo.

a = 0.85 para 30° ó 60°

a = 1.00 para 45° ó 90°

Corrección por material de coraza :

$$CMC = 0.2 (FC)$$

Con los costos relativos de materiales de la Tabla No. 4.15, para — acero de baja aleación FTS = 2.6 ; para acero al carbón FC = 1.0 y — con las ecuaciones anteriores tenemos que el factor de costo por materiales de construcción es el siguiente:

$$Y = 0.129 + 0.0016(10-12) \left[ \frac{0.75}{0.75 (1)^2 (0.85)^{-}} \right] = 0.125$$

$$CMT = 0.125 (2.6 - 1) = 0.20$$

$$CMC = 0.2 (1.00) = 0.20$$

Factor por material de construcción :

$$FM = 1 + (FMT + FMC) = 1 + (0.20 + 0.20) = 1.40$$

Corrección por materiales de construcción de los tubos :

$$Y = 0.129 + 0.0016 (10,1875 - 12) \left[ \frac{0.75}{0.75 (1)(1)} \right]$$

De la Tabla No. 4.15 tenemos que FTS = 2.6

$$CMT = 0.129 (2.6 - 1) = 0.21$$

Corrección por material de construcción de coraza :

$$CMC = 0.2 (1.00) = 0.20$$

Corrección por calibre de tubos :

Puesto que la base tomada para calcular los factores de costo por calibre de tubos es el calibre 14 BWC, tenemos que la corrección por calibre es :

$$CC = 0.00$$

Factor de costo por longitud, número de pasos y calibre de tubos, --  
presión de diseño y materiales de construcción :

$$FT = 1 + (0.75+0.00+0.02+0.00+0.21+0.20+0.00) = 2.18$$

$$\text{Costo} = (2.034,661 \text{ M.N.}) (0.87) (1.00) (2.18) = 3,858,938 \text{ M.N.}$$

\*\*\*\*\*

T A B L A No. 4.15

TIPO DE EQUIPO	FACTOR DE COSTO POR TIPO DE EQUIPO ( FTEQ )
AES	1.000
AJT	1.050
AKT	1.040
AEU	0.900
BEU	0.874
BEM	0.770
BEN	0.820
BKT	1.370
BKU	1.220
BKN	1.180
BGS	1.070
CEN	0.880
CGM	0.930
CJM	0.830
CKN	1.230
CFU	1.140
DFU	1.690
DEN	1.400
DFN	1.600
NEN	0.870

MATERIAL DE CONSTRUCCION	FACTOR DE COSTO POR MATERIAL DE CONSTRUCCION		
	T U B O S		CORAZA, CANAL Y ESPEJO (FC)
	CON COSTURA (FTC)	SIN COSTURA (FTS)	
Acero al carbón	1.00	2.50	1.00
Aceros de baja Aleación			
1/2 Mo	1.04	2.60	1.04
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
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	
Aceros de alta Aleación:			
304	2.80	6.50	3.70
304 L	3.00	7.50	4.70
316	4.70	10.10	6.20
316 L	4.80	11.00	6.40
321	4.20	9.50	5.60
Cobre Aleado :			
Admiralty		3.60	3.60
Bronce al aluminio		3.70	3.70
Ref. : Purghit, G.P. (11)			

T A B L A No. 4.15

(CONTINUACION)

TIPO DE EQUIPO	FACTOR DE COSTO POR TIPO DE EQUIPO ( FTEQ )	MATERIAL DE CONSTRUCCION	FACTOR DE COSTO POR MATERIAL DE CONSTRUCCION		
			T U B O S		CORAZA, CANAL Y ESPEJO ( FC )
			CON COSTURA (FTC)	SIN COSTURA (FTS)	
		90% Cu - 10% Ni	3.50	4.60	4.60
		70% Cu - 30% Ni	4.20	5.50	5.50
		Niquel aleado :			
		Monel 400		15.50	14.50
		Inconel 600	19.40		15.30
		Hastelloy B-2	34.90	48.60	38.40
		Hastelloy C-4	28.76	40.00	31.30



T A B L A No. 4.17

COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR TÍPICOS  
PARA CAMBIADORES DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS  
 $U=BTU/(^{\circ}F)(FT^2)(HR)$

<u>LADO DEL ENVOLVENTE</u>	<u>LADO DE LOS TUBOS</u>	<u>U. DE DISEÑO</u>
MEDIO LIQUIDO-LIQUIDO		
Agua desmineralizada	Agua	300 - 500
Etanol amina (MEA o DEA) Sol. al 10 - 25 %	Agua o solución de MEA o DEA	140 - 200
Aceite combustible	Agua	15 - 25
Aceite combustible	Aceite	10 - 15
Gasolina	Agua	60 - 100
Aceites pesados	Aceites pesados	10 - 40
Aceites pesados	Agua	15 - 50
Kerosena o Gas Oil	Agua	25 - 50
Kerosena o Gas Oil	Aceite	20 - 35
Aceites lubricantes (Baja viscosidad)	Agua	25 - 50
Aceites lubricantes (Alta viscosidad)	Agua	40 - 80
Solventes orgánicos	Agua	50 - 150
Agua	Sol. de sosa al 10 - 30 %	100 - 250
Agua	Agua	200 - 250
MEDIO VAPOR CONDENSANTE-LIQUIDO		
Vapor de alcohol	Agua	100 - 200
Vapores de hidrocarburos	Aceite	25 - 40
Kerosena	Agua	30 - 65
Kerosena	Aceite	20 - 30
Nafta	Agua	50 - 75
Nafta	Agua	400 - 1000
MEDIO GAS-LIQUIDO		
Aire, N <sub>2</sub> , etc (comprimidos)	Agua o salmuera	40 - 80
Aire, N <sub>2</sub> , etc (a presión atmosférica).	Agua o salmuera	10 - 50
Agua o salmuera	Aire, N <sub>2</sub> (Comprimido)	20 - 40

T A B L A No. 4.17  
( CONTINUACION )

<u>LADO DEL ENVOLVENTE</u>	<u>LADO DE LOS TUBOS</u>	<u>U. DE DISEÑO</u>
Agua o salmuera	Aire, N <sub>2</sub> , etc (a presión atmosférica).	5 - 20
Agua-----	Hidrógeno (conteniendo - mezclas de gas natural).	80 - 125
VAPORIZADORES		
Amoniaco Anhidro	Vapor condensante	150 - 300
Cloro	Vapor condensante	150 - 300
Propano, Butano, Etc.	Vapor condensante	200 - 300
Agua	Vapor condensante	250 - 400

T A B L A No. 4.18

DISPOSICION DE LOS ESPEJOS DE TUBOS ( CUENTA DE TUBOS ).

ARREGLO EN CUADRO TUBOS DE 3/4 in D.E. ARREGLO EN CUADRO DE 1 in

DIAMETRO DE CORAZA (in)	NUMERO DE PASOS EN LOS TUBOS				
	1	2	4	6	8
8	32	26	20	20	
10	52	52	40	36	
12	81	76	68	68	60
13 1/4	97	90	82	76	70
15 1/4	137	124	116	108	108
17 1/4	177	166	158	150	142
19 1/4	224	220	204	192	188
21 1/4	277	270	246	240	234
23 1/4	341	324	308	302	292
25	413	394	370	356	346
27	481	460	432	420	408
29	553	526	480	468	456
31	657	640	600	580	560
33	749	718	688	676	648
35	845	824	780	766	748
37	934	914	886	866	838
39	1049	1024	982	968	948

REF. : DONALD Q. KAREN ( 5 )

CONTINUACION DE TABLA No. 4.18

DISPOSICION DE LOS ESPEJOS DE TUBOS (CUENTA DE TUBOS)

ARREGLO EN CUADRO TUBOS DE 3/4 in. D.E. ARREGLO EN CUADRO DE in.

DIAMETRO DE CORAZA (IN)	NUMERO DE PASOS EN LOS TUBOS				
	1	2	4	6	8
8	37	30	24	24	
10	61	52	40	36	
12	92	82	76	74	70
13 1/4	109	106	86	82	74
15 1/4	151	138	122	118	110
17 1/4	203	196	178	172	166
19 1/4	262	250	226	216	210
21 1/4	316	302	278	272	260
23 1/4	384	376	352	342	328
25	470	452	422	394	382
27	554	534	488	474	464
29	630	604	556	538	508
31	745	728	678	666	640
33	856	830	774	760	732
35	970	938	882	864	848
37	1074	1044	1012	986	870
39	1206	1176	1128	1100	1078

TABLA No. 4.19

## FACTORES DE COSTO PARA CAMBIADORES DE CALOR

- Factor de costo por diámetro, PITCH y arreglo de tubos:

$$FP = 0.75 (Pi)^2 \frac{a}{do}$$

a = 1.00 para arreglo de 45° ó 90°

a = 0.85 para arreglo de 30° ó 60°

- Factor de costo por longitud, número de pasos y calibre de tubos, presión de diseño y materiales de construcción:

$$FT = (1 + CT)$$

En donde :

$$CT = CL + CNT + CPT + CPC + CMT + CMC + CC$$

CNT = Corrección por número de pasos en los tubos:

$$CNT = \frac{NPT-2}{100}$$

CPT = Corrección por presión en los tubos (P > 150 psig)

$$CPT = \left[ \left( \frac{PDT}{150} \right) - 1 \right] \left[ 0.035 + 0.00056 (Di-12) \right]$$

CPC = Corrección por presión en la coraza:

$$CPC = \left[ \left( \frac{PDC}{150} \right) - 1 \right] \left[ 0.07 + 0.0016 (Di-12) \right] + X$$

Para PDC > 2000 psig.

$$K = 0.354 + 0.185 Di - (1.857 \times 10^{-3}) (Di)$$

## CONTINUACION DE TABLA No. 4.19

CMT = Corrección por material de tubos :

$$CMT = Y \left[ (FTC \text{ o } FTS) - 1 \right]$$

FTC y FTS de la Tabla No.

$$Y = 0.129 + 0.0016 (Di-12) \left[ \frac{do}{0.75(Pi)^2 a} \right]$$

CMC = Corrección por material de coraza :

$$CMC = 0.2 (FC)$$

FC de la Tabla No. 4.15

CC = Corrección por calibre de tubos :

$$CC = Y (g-1)$$

$$g = 44.978 (BWG)^{-1.46}$$

Pi = Pitch (in).

do = Diámetro de tubos (in)

L = Longitud de tubos (FT)

Di = Diámetro de la coraza (in)

NPT = Número de pasos en los tubos

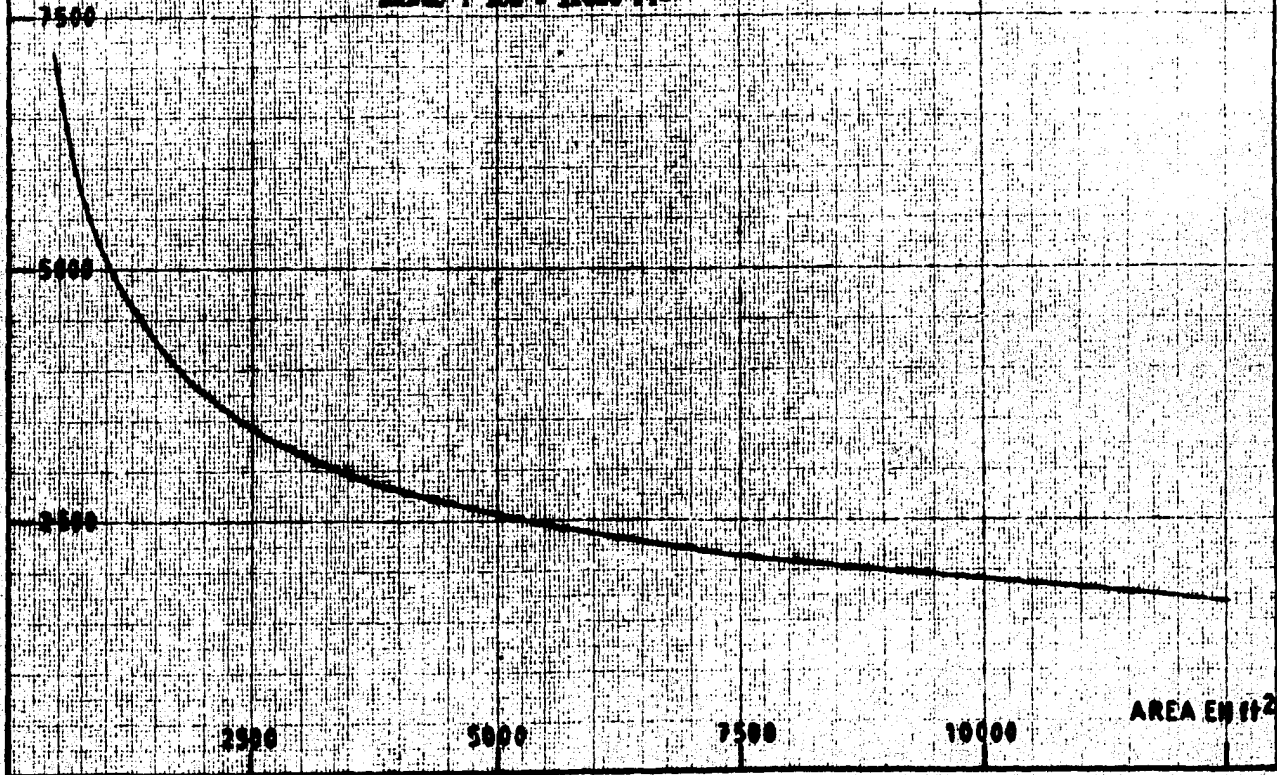
PDT = Presión de diseño en los tubos

PDC = Presión de diseño en la coraza.

GRAFICA 3

COSTO  
MN/ft<sup>2</sup>

CAMBIAJORES DE CALOR TIPO AER  
MATERIAL: TUBOS ACERO AL CARBON 1 1/2 IN DIA 1/4 X 1"  
CONJUNTO ACERO AL CARBON  
(COSTO/PI) = 25,185 (AREA FT)<sup>2</sup> = 12  
X PARTES DE REPUESTO 6,5 RESPECTO AL COSTO DEL EQUIPO  
X ANILLO DE PUEBLO 4 RESPECTO AL COSTO DEL EQUIPO  
X LLENADO DE H. Y PINTURA 2,5 RESPECTO AL COSTO DEL EQUIPO  
BAJOS: 1 200 = 12000 FT<sup>2</sup>



## 4.5 EQUIPO MECANICO,

### 4.5.1. BOMBAS.

#### Generalidades.

En toda planta de proceso, un equipo importante e indispensable son las bombas ya que estas mantienen un flujo estable de los fluidos a través de la planta, estableciendo de esta manera un proceso continuo.

Por lo general las bombas se fabrican en tamaños estandar, por lo que en la mayoría de los casos, lo fundamental es seleccionar el tamaño y tipo de bomba que más se ajuste a las necesidades de servicio requeridas. Para esto es necesario entender los principios fundamentales de operación de las bombas ya que una selección inadecuada de éstas crea serios problemas en la operación de una planta.

#### Clasificación.

El transporte de un líquido se efectúa por medio del intercambio de energía mecánica, energía cinética del fluido o mediante desplazamiento volumétrico. Dependiendo de la manera en que se efectúe el transporte de líquido, es la clasificación que se hace de las bombas. (FIG. No. 4.17).



### Bombas Centrífugas.

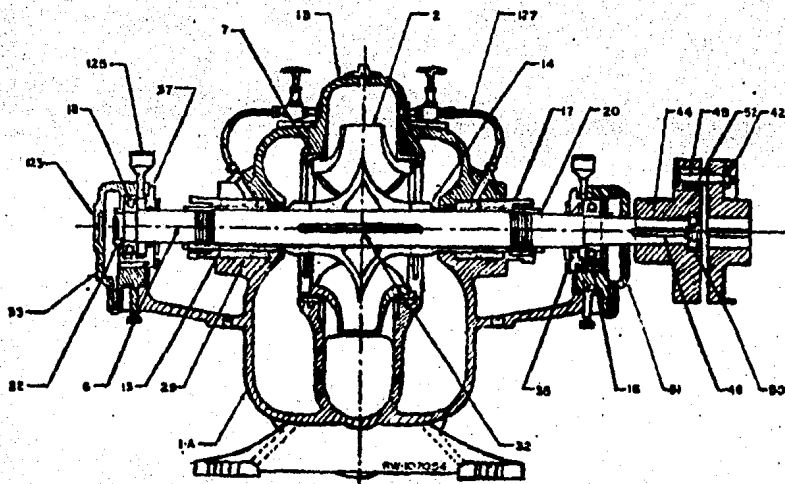
El desarrollo de las bombas centrífugas ha sido extraordinario, - actualmente se le usa para casi cualquier tipo de servicio. Casi todos los fabricantes producen bombas centrífugas de capacidades desde 5 gpm y diferencial de presión de 2 a 5 lb/pulg<sup>2</sup>, hasta -- bombas de pasos múltiples de 2800 a 3000 gpm y presiones de descarga de 3000 psig. Se tienen diseños que manejan fluidos hasta 850°F altamente volátiles y lechosos.

En las Figuras No. 4.18 a No. 4.20, se muestran diferentes diseños para bombas centrífugas.

#### a) Partes que forman una bomba centrífuga.

Las partes constitutivas de una bomba centrífuga dependen de su construcción y tipo, por esta razón existe una innumerable cantidad de piezas. El Instituto de Hidráulica las ha numerado de 1 a 170 partes.

Las partes más usadas cuyo nombre se enumera a continuación se ilustran en la siguiente Figura 4.16

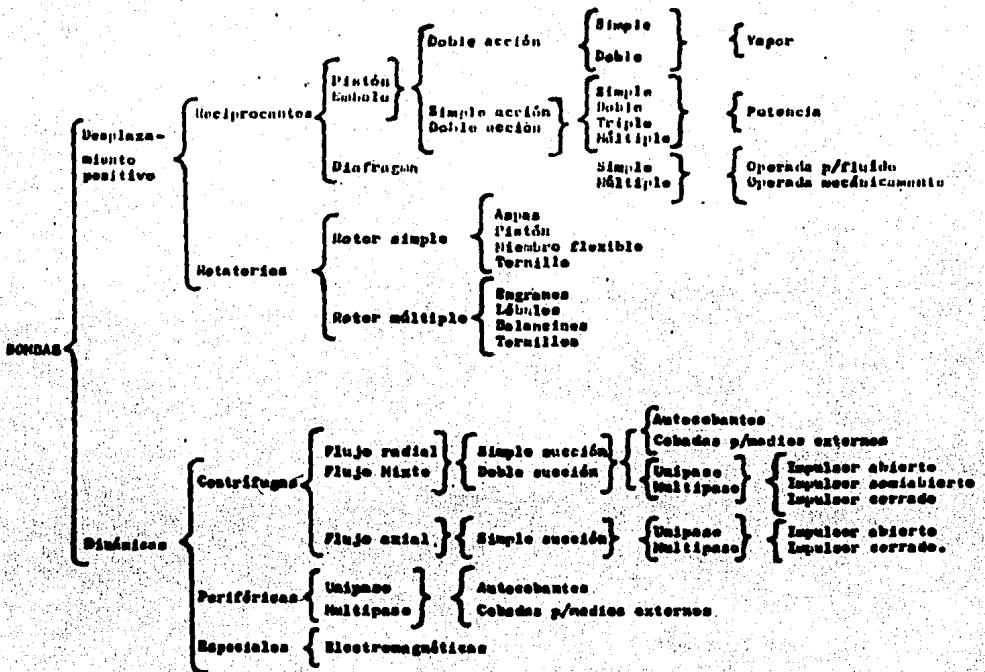


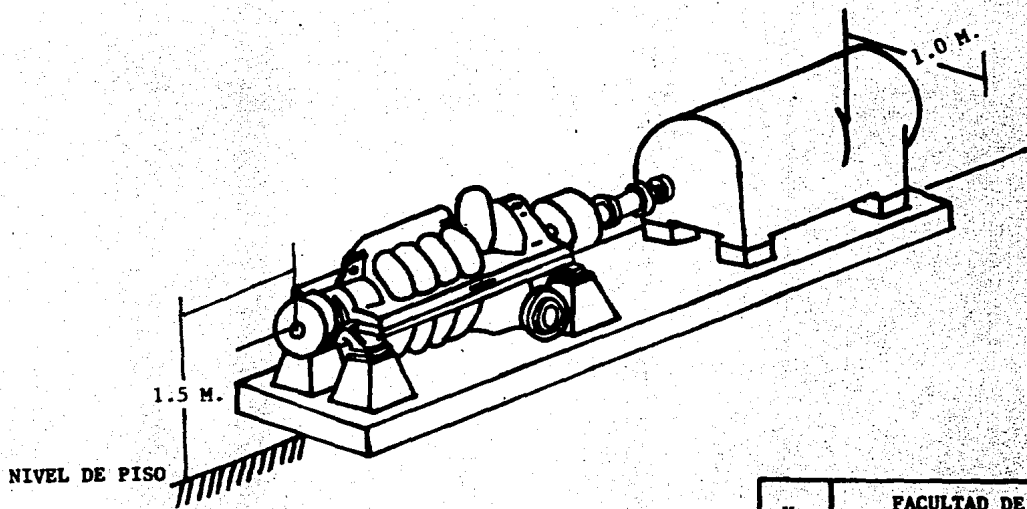
- |  |   |
|--|---|
| 1. Carcaza                                       | 33. Alojamiento de balero - (exterior). |
| A: Mitad superior                                | 35. Cuña de la prepela.                 |
| B: Mitad inferior                                | 37. Tapa de balero (exterior)           |
| 2. Impulsor                                      | 39. Bujes del balero.                   |
| 4. Prepela                                       | 40. Deflector                           |
| 6. Flecha  | 42. Cople (mitad motor)                 |
| 7. Anillo de desgaste de la carcaza.             | 44. Cople (mitad bomba)                 |
| 8. Anillo de desgaste - del impulsor.            | 46. Cuña del cople.                     |
| 9. Tapa de succión.                              | 48. Bujes del cople.                    |
| 11. Tapa del estopero                            | 50. Tuerca del cople                    |
| 13. Empaque                                      | 52. Pernos del cople                    |
| 14. Camisa de flecha                             | 59. Tapa de registro.                   |
| 15. Taxón de descarga                            | 68. Collarín de la flecha               |
| 16. Balero (interior)                            | 72. Collarín axial                      |
| 17. Prensaestopas                                | 78. Espaciador de balero                |
| 18. Balero (exterior)                            | 85. Tubo de protección de la flecha.    |
| 19. Soporte de baleros                           | 89. Sello.                              |
| 20. Tuerca de la camisa                          | 91. Taxón de succión                    |
| 22. Tuerca del balero                            | 101. Tubo de columna.                   |
| 24. Tuerca del impulsor                          | 103. Cámara de conexión                 |
| 25. Anillo de desgaste - de la cabeza de succión | 123. Tapa de balero.                    |
| 27. Anillo de la tapa del - estopero             | 125. Graseira de copa.                  |
| 29. Jaula de sello                               | 127. Tubería de sello.                  |
| 31. Alojamiento de balero - (interior).          |   |
| 32. Cuña del impulsor.                           |   |

FIG. 4.16 PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

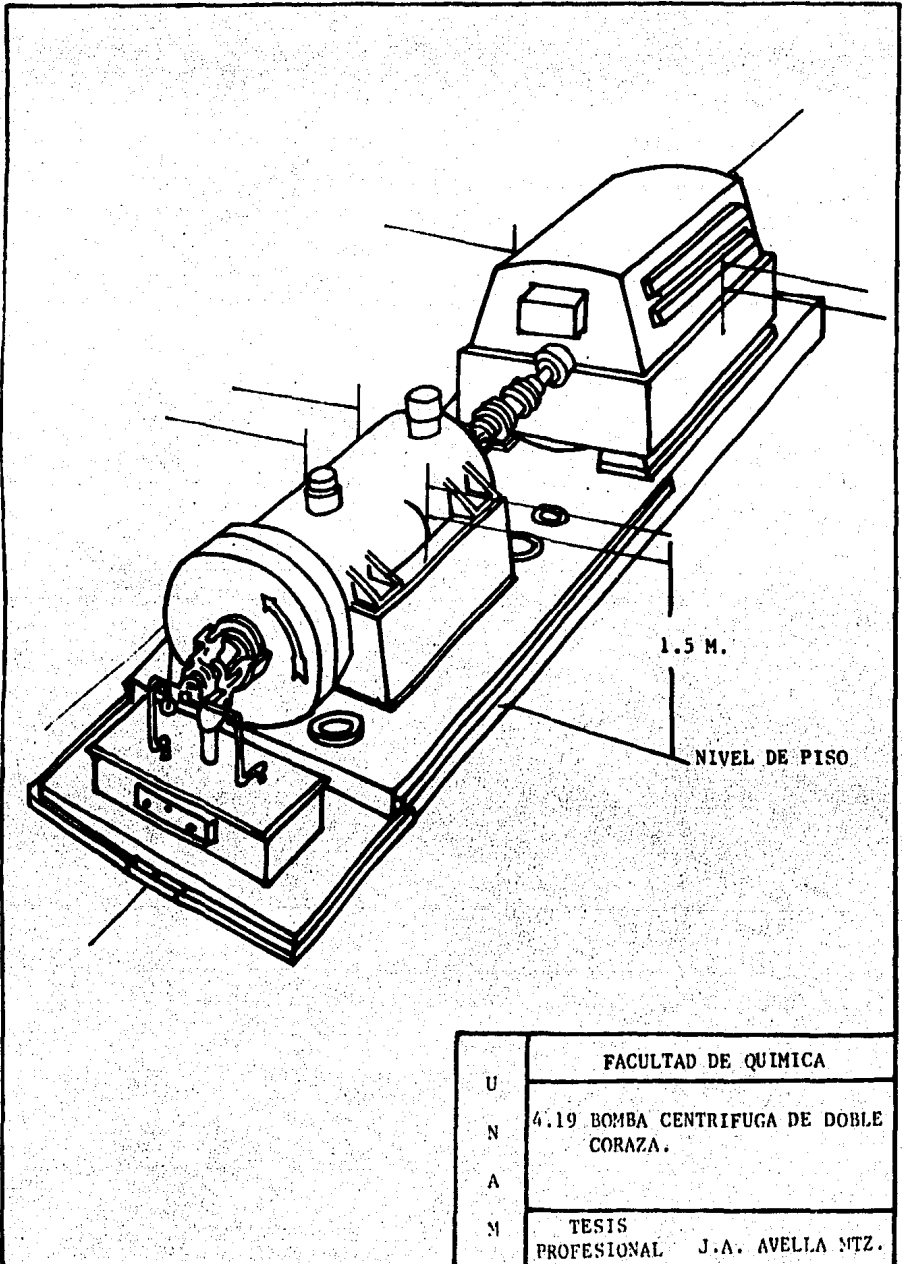
CLASIFICACION GENERAL

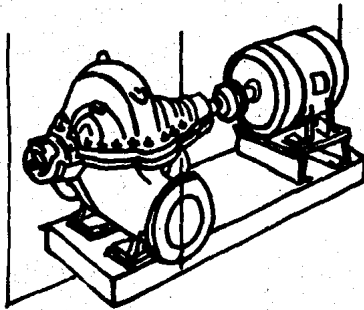
Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente - hacer una adecuada clasificación, el "Hydraulic Institute", hace una clasificación general muy completa la cual se muestra a continuación :



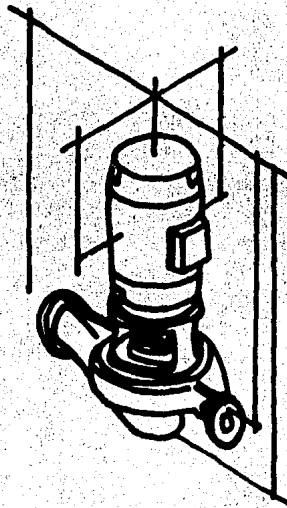


U	FACULTAD DE QUIMICA
N	4.18 BOMBA CENTRIFUGA MULTIE-
A	TAPA DE JUNTA HORIZONTAL.
M	TESIS
	PROFESIONAL J.A. AVELLA MTZ.





BOMBA CENTRIFUGA DE JUNTA HORIZONTAL



BOMBA CENTRIFUGA VERTICAL EN LINEA

U N A M		
F	FIG. 4.20	P
A	TIPOS DE	R
C.	BOMBAS	O
D	CENTRIFU	T
E	GAS.	E
Q		S
U		I
I		S
M		O
I		N
C		A
A		L
		J.A.
		AVE
		LLA

El tamaño nominal de una bomba centrífuga se determina generalmente por el diámetro interior de la brida de descarga.

Todas las bombas tienen número impreso en la carcasa el cual sirve para identificar por ejemplo :

6	B C I A	- 10	- 4
Ø descarga	Alguna indicación tal como bomba -- centrífuga impulsor abierto	Ø del impulsor	No. de Polos del motor que da una idea de la velocidad

Las bombas centrífugas se clasifican en varios tipos de acuerdo a:

#### I CLASIFICACION DE LAS BOMBAS POR LA DIRECCION DEL FLUJO :

I-a) Flujo Radial

I-b) Flujo Mixto

I-c) Flujo Axial

Las bombas de flujo radial tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica que desarrolla cargas altas, la presión desarrollada es debida principalmente a la fuerza centrífuga. Las bombas en esta clase, con impulsores de simple entrada usualmente tienen una velocidad específica abajo de 4200 y con impulsores de doble succión, una velocidad específica abajo de 6000. En bombas de esta clase el líquido normalmente entra al impulsor en la rueda y fluye radialmente hacia la periferia.

En las bombas de flujo mixto, el flujo cambia de axial a radial, - son bombas para gastos y cargas intermedias. La velocidad específica de los impulsores es mayor que las del flujo radial. En estas bombas la cabeza es desarrollada parcialmente por la fuerza centrífuga y parcialmente por la elevación de los alabes en el líquido. - Este tipo de bomba tiene un impulsor de simple entrada con el flujo entrando axialmente y descargando en una dirección axial y radial. - Las bombas de este tipo usualmente tienen una velocidad específica de 4200 a 9000.

Las bombas de flujo axial llamadas de propela tienen un flujo axial y sus impulsores tienen velocidad específica alta. La bomba tiene un impulsor de simple entrada con el flujo entrando y descargando axialmente.

Las bombas de este tipo usualmente tienen una velocidad específica arriba de 9000.

## II.- NUMERO DE ETAPAS

- Bombas de una etapa (la cabeza total es desarrollada por un sólo impulsor).
- Bombas de etapa múltiple (bombas con más de un impulsor actuando en serie).



### III.- TIPO DE CARCAZA

- Bomba de voluta (carcaza en forma de espira o voluta)
- Bomba de coraza circular (coraza circular concéntrica al impulsor).
- Bomba difusora (bomba equipada con difusor).

### IV.- POSICION DE LA FLECHA

- Bombas horizontales (la flecha se encuentra en posición horizontal).
- Bombas verticales (tipo pozo seco o sumergido, dependiendo si la flecha se encuentra colocada en un pozo seco o húmedo).

### V.- SUCCION

- Bomba de succión simple (bomba equipada con uno o más ---- impulsores de succión simple).
- Bomba de doble succión (bomba equipada con uno o más ---- impulsores de doble succión).

#### Aplicaciones.

#### Bombas Centrifugas.

Dentro de las principales aplicaciones de las bombas centrifugas - se encuentran las siguientes :

**Alimentación a hervidores,**

**Bombas para aplicaciones químicas** (para fluidos corrosivos se debe tener cuidado en los materiales de construcción y en los sellos que a menudo deben de ser especiales).

**Bombas para condensados** (la succión debe ser de un tamaño grande - para suministrar velocidades bajas, debe de ser corta y lo más directa posible con un mínimo de accesorios y tubo recto.

**Manejo de sólidos en suspensión** (para esto se debe de colocar la línea central de la bomba lo más cerca posible o por debajo del nivel del agua).

**Bombas para agua contra incendio.**

**Bombas para aceite caliente** (300 - 800°C), es importante disponer de un buen NPSH como en todos los líquidos cerca de su temperatura de ebullición. Los materiales de construcción debe de tener un -- coeficiente de expansión uniforme.

**Bombas para presión hidráulica** (debido a los cambios bruscos de -- presión se debe utilizar un alivia dor de AIR-BALLASTED).

## MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN,

Los materiales de las bombas deberán ser de la más alta calidad, debiendo estar de acuerdo con las especificaciones ASTM, o equivalentes. Dichos materiales se especificarán en las hojas de datos, tomando en cuenta la erosión, corrosión y acción mecánica del fluido manejado.

Las condiciones a las que opera una bomba, así como la clase de fluido que maneja son dos factores que hay que tomar muy en cuenta para la selección del material de construcción de la misma. Para cuando se manejan fluidos a temperaturas superiores a 250°F. se requiere de una selección cuidadosa del material de construcción, ya que a estas temperaturas la reactividad de los fluidos aumenta. En el caso de las bombas que operan a bajas temperaturas se deben de considerar cada uno de los componentes y su función para poder determinar el material de construcción adecuado. No hay un conjunto de reglas que gobiernen la selección de materiales para la aplicación a bajas temperaturas pero una guía muy general es la siguiente :

Se recomienda aceros férricos con tratamiento al carbón de baja aleación y bajo en fósforo con níquel y molibdeno de dureza moderada, se pueden usar la mayoría de los bronce y todas las aleaciones de aluminio.

El tipo de fluido que se va a bombear también es factor importante en la selección del material ya que por ejemplo, los recubrimientos de cromo no son recomendables para compuestos de azufre y cloro.

En las Tablas (4.20 a 4.22) se muestran los materiales utilizados para la construcción de cada una de las partes que integran una bomba así como su especificación de acuerdo al Código ASTM o equivalentes.

Para una selección rápida del material de construcción de una bomba podemos utilizar la Tabla (4.23), en la cual de acuerdo al líquido manejado se recomienda el material a utilizar.

#### ACCIONADORES (MOTORES NEMA)

La National Electric Manufacturers Association, clasifica los motores de acuerdo a la protección mecánica y métodos de enfriamiento.

#### Máquinas abiertas.

Tienen aberturas de ventanillas que permiten el paso del aire exterior para enfriar por encima y alrededor de los devanados.

a) Máquina a prueba de gotéo.- Es una máquina abierta en la cual las aberturas están dispuestas en tal forma que las gotas de --

líquido o partículas sólidas que caigan en la máquina en un -- ángulo no mayor de 13° no puedan introducirse,

- b) Máquinas a prueba de salpicadura.- En estas las aberturas están dispuestas de tal manera que no permite que gotas o partículas sólidas que lleguen en línea recta entren a la máquina.
- c) Máquina Blindada.- Es aquella que se encuentra encerrada para impedir el paso del aire entre el interior y el exterior, son herméticas a prueba de aire.
- d) Máquina a prueba de explosión.- Son máquinas blindadas cuya cubierta está diseñada para resistir explosiones de un gas o un vapor.

#### Selección de Motores.

Para una adecuada selección debe tenerse la información necesaria como :

- 1) Características de la máquina a impulsar.
- 2) Potencias
- 3) Velocidad de Rotación (rpm)
- 4) Variaciones de la velocidad
- 5) Sobrecargas
- 6) Tipo de Servicio



TABLA No. 4.21 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN PARTES PARA BOMBAS CENTRIFUGAS.

MATERIAL	FUNDICIONES	PIEZAS FORJADAS	BARRAS	TORNILLOS Y PERNOS
HIERRO FUNDIDO	ASTM-A48			
ACERO AL CARBONO	ASTM-A216 GR WCA o WCB	ASTM-A 105 & 576	ASTM-A 107 & 108	
AISI 4140			ASTM-A 322 GR 4140	ASTM-A 193 GR 87
12% CROMO	ASTM-A 296 GR. CA 15	ASTM-A 182 GR.F6	ASTM-A 276 TIPO 410 & 416	ASTM-A 193 GR B6
BRONCE	ASTM-B143 ALEACION 2 A		ASTM-B 139	ASTM-B 124 ALEACION 655
ACERO INOXIDABLE 18-8	ASTM-A 296	ASTM-A 182	ASTM-A 276	ASTM-A 193
ACERO INOXIDABLE 316	ASTM-A 296 GR. CF-EM	ASTM-A 182 F 316	ASTM-A 276 TIPO 316	ASTM A 193 GR. 88 M.
5 % CROMO	ASTM-A 217 GR. C 5	ASTM-A 182 GR.F5		

TABLA No. 4.22 DESCRIPCION DE MATERIALES

M A T E R I A L	DESCRIPCION DE SUS CARACTERISTICAS
Ni Resist	Aleaciones de hierro austenítico tipo 1, 2 ó 3 según las recomendaciones hechas por "International Nickel Co. ", para las condiciones de servicio.
Acero inoxidable austenítico, endurecible.	Son de aceptarse los siguientes tipos ARMC0 17-7 PH, ARMC0 17-4PH, U.S.S. Stainless W. Allen Cheney Ludlum AM 350 y AM 355.
Stellite	Para recubrimientos superficiales en capas de 0.794 mm. (1/32 Plg.) de espesor como mínimo - se harán con "Hayness Stellite Awà" clase RC o Cr-C, RC o Cr-A o equivalente. Se puede utilizar también recubrimiento superficial cuando se indique una fundición sólida de Stellite No. 3".
Colmonoy	Deposiciones por rociado o baño de material derratido en capas de 0.254 mm. (0.010 plg.) o por caldfo del material por gas en capas mínimas de 0.794 (1/32 plg.) se harán de " Wall - Colmonoy AWS Clase RNiCr-C" o equivalente.
Carbón	El carbón mecánico aceduso será el recomendado por el fabricante del sello mecánico dependiendo del servicio.
Compuestos a base de asbesto.	Fibras largas aglomeradas con hule sintético serán las adecuadas para temperaturas de 399°C. (750°F) devanado espiral hecho con acero inoxidable y asbesto.
Elastomeros	Teflón, Kel-F o Materiales similares.
Carburo de Tungsteno-1	Kennametal K-6 (Cobalto aglutinado) o equivalente (piezas sólidas, sin recubrimientos).
Carburo de Tungsteno-2	Kennametal K-801(níquel aglutinado) o equivalente (piezas sólidas, sin recubrimientos).
Carburo de Tungsteno-3	METCO 31C, Waller 55 o equivalente Recubrimiento por deposiciones por rociado en espesores - mínimos de 0.762 mm. (0.03 plg.)
Viton	Viton marca dupont o equivalente.
Aleación 20	Carpenter 20 CB 3 o equivalente (ASME CODE Case:188)
Buna-N	B.F. Goodrich Hycar o equivalente.



TABLA No. 4.23 CLASES DE MATERIALES PARA BOMBAS CENTRIFUGAS.

PRECAUCION : ESTA TABLA TIENE COMO PROPOSITO SER UNA GUIA GENERAL, POR LO QUE NO DEBE USARSE SIN ANTES ANALIZAR Y DETERMINAR ADECUADAMENTE EL SERVICIO.							
No.	S E R V I C I O	PARA OPERAR EN PLANTAS DE PROCESO	PARA OPERAR EN SISTEMAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCION.	LIMITES DE TEMPERATURA EN °C (°F)	LIMITES DE PRESION -- KG/CM <sup>2</sup> MAN(PSIG).	CLASE DE MATERIAL	VER NOTA DE REF.
1	Agua dulce, condensado, agua para torre de enfriamiento.	X	X	Por abajo de 100°C.(212).	Todos	I - 1 6 I - 2	
2	Agua en ebullición y Agua para proceso.	X	X	Por abajo de 121°C.(250)	Todos	I - 1 6 I - 2	7
		X	X	De 122°C(250) A 176°C(350)	Todos	S-5	7
		X	X	Por arriba de 177°C (350)	Todos	D-6	7
3	Agua sucia, agua de reflujo para calderas, aguas de pozo, e hidrocarburos conteniendo estas aguas incluyen corrientes de reflujo.	X	X	Por abajo de 176°C (350)	Todos	S-3	2
4	Agua de mar y salada (salmuera).	X	X	Por abajo de 100°C (212)	Todos	I - 1 6 I - 3	7
5	Propano, Butano y gas LP, y Amoniaco (NH <sub>3</sub> ).	X	X	Por abajo de 232°C (450)	Todos	S - 1	

CONTINUACION DE TABLA No. 4.23

No.	S E R V I C I O	PARA OPERAR EN PLANTAS DE PROCESO	PARA OPERAR EN SISTEMAS DE TRANSPORTACION Y -- DISTRIBUCION	LIMITES DE TEMPERATURA EN °C (°F)	LIMITES DE PRESION -- KG/CM <sup>2</sup> MAN (PSIG)	CLASE DE MATERIAL	VER NOTA DE REF.
6	Combustible o aceite diesel, gasolina; nafta; Kerosina, - gasoleos. Aceites lubricantes ligeros, medios y pesados; aceites -- combustible; residuo; petróleo crudo asfalto; residuos de -- crudos sintéticos.	X X X	X X	Por abajo de 232°C (450) De 233°C(450) A 371°C(700)  Por arriba de 372°C (700) Por abajo de 176°C (350)  Por abajo de 232°C (450)	Todos Todos  Todos Por abajo 17.5 (250)  17.5 (250) y Mayores.	S-1 S-6  C-6 I-1 S-1	2,5  2 3
7	Hidrocarburos no corrosivos, por ejemplo reformados catalíticos, hidrocarburos destilados por desintegración hidrogenada (Ixomaxte), aceites desulfurados, Etc.	X	X	De 232°C (450) A 371°C (700)	Todos	S-4	5
8	Xileno, tolueno, acetona, benceno, furfuro, Metil-etil-quetona (MEK), isopropil-benceno- $C_6H_5C(CH_3)_2$ (Cumene).	X	X	Por abajo de 232°C (450) Por abajo de 176°C (350)	Todos Todos	S-1 I-1	3
9	Carbonato de sodio, solución para el proceso de desamercaptonización (Doctor solution).	X	X	Por abajo de 176°C (350)	Todos	I-1	

CONTINUACION DE TABLA No. 4.23

No.	S E R V I C I O	PARA OPERAR EN PLANTAS DE PROCESO	PARA OPERAR EN SISTEMAS DE TRANSPOR TACION Y -- DISTRIBUCION	LIMITES DE TEMPERATURA EN °C (°F)	LIMITES DE PRESION -- KG/CM <sup>2</sup> MAN (PSIG)	CLASE DE MATERIAL	VER NOTA DE REF.
10	Concentraciones cáusticas al 20% o menos (hidróxido de sodio).	X	X	Por abajo de 60°C (140)	Todos	S-1	8
		X		De 61°C(140)	Todos	S-3	8
		X		Por arriba de 93°C (200)	Todos		6
11	Etanolamina(MEA), dietanolamina(DEA), trietanolamina -- (TEA) Solución madre.	X	X	Por abajo de 121°C (250)	Todos	S-1	
12	Dietanolamina(DEA), trietanolamina(TEA) soluciones -- pobres.	X	X	Por abajo de 121°C (250)	Todos	S-1	
13	Etanolamina(MEA), Solución pobre (CO <sub>2</sub> únicamente).	X	X	De 80°C (176) A 149°C (300)	Todos	S-9	
14	Etanolamina(MEA), Solución pobre(CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S)	X	X	Por abajo de 80°C (176)	Todos	A-7	9
15	Etanolamina(MEA), Dietanolamina(DEA), Trietanolamina -- (TEA) soluciones ricas.	X	X	Por abajo de 80°C (175)	Todos	S-1	
16	Acido sulfúrico en concentraciones superiores al 75%	X	X	Por abajo de 38°C (100)	Todos	S-1	2

## NOTAS DE REFERENCIA PARA LA TABLA No. 4.23

1. La descripción de los materiales para las distintas partes de una bomba según su clase, se encuentra en la Tabla No. 4.20
2. El material recomendado debe ser el apropiado para cada servicio, ya -- que la corrosidad causada por aguas sucias, hidrocarburos arriba de --- 232°C (450°F), ácidos y sedimentos ácidos (ácido sulfúrico impuro), es muy variable. La clase de material indicada será satisfactoria para -- estos servicios, pero debe comprobarse.
3. Cuando se recomienda carcasas de hierro fundido para el manejo de hidrocarburos o servicios químicos, éstas se podrán utilizar únicamente, cuando se trate de servicios en áreas no peligrosas. Usar carcasas de acero (S-1 en lugar de I-1) para bombas localizadas cerca de plantas de proceso o en cualquier lugar donde el desprendimiento de vapores debido a --- cualquier falla pudiera crear una situación peligrosa, o donde las bombas estén sujetas a golpe hidráulico como en servicios de carga.
4. Obtener recomendaciones de materiales diferentes para servicios no identificados claramente en la lista de esta tabla.
5. Si el producto es de baja corrosividad, se pueden usar los materiales de la clase S-4 para servicios de 233°C (451°F) a 371°C (700°F). Obtener -- recomendaciones de materiales diferentes para cada caso.
6. Use aleación 20 o monel como material de la bomba y doble sello mecánico con sistema presurizado de sello a base de aceite.

7. Considerar el contenido de oxígeno y las variaciones de PH del agua al seleccionar el material.
8. Todas las soldaduras deberán relevarse de esfuerzos.
9. Usar material de la clase A-7 excepto la carcaza que debe ser de acero al carbono.

- Materiales del sello mecánico :

- a) En fluidos que contengan cloruros, todos los resortes del sello-mecánico y otras partes metálicas deberán ser de aleación 20 ó mejor.
- b) Hules sintéticos como el Buna N y Neopreno no deben usarse en servicios que contengan aromáticos. El Vitón no deberá usarse en servicios con aromáticos a una temperatura superior de 93°C (200°F).

- 7) Frecuencia de arrancado,
- 8) Area de peligro o gases corrosivos
- 9) Suministro de energía
- 10) Lista de equipos que consumen energía en la planta.

La selección del voltaje más apropiado constituye un aspecto muy importante.

Kropf presenta una recopilación que puede ayudar a entender algunas de las aplicaciones más comunes de los diferentes tipos de -- motores eléctricos. (Figura 4.21).

#### ESPECIFICACIONES GENERALES PARA MOTORES ELECTRICOS.

Los motores trifásicos de inducción, con inducido en circuito --- corto o de jaula, construyen el tipo preferido de accionamiento de: bombas, centrifugas, sopladores, compresoras de alta velocidad, -- ventiladores, mezcladoras, etc.

Estos motores se deben considerar:

Horizontales

De velocidad única

Par normal,

FIG. 4.21 APLICACIONES TÍPICAS DE MOTORES

Aplicaciones típicas	Motores de C. A.						C. D.				
	Jaula de ardilla par normal	Jaula de ardilla par alto	Jaula de ardilla alto deslizamiento	Motor devanado	Sincrónico	Monofásico par bajo	Monofásico par medio	Monofásico par alto	Devanado en detracción	Devanado compensado	Devanado en serie
Agitadores ¼ a 15 hp .....											
Molinos de bola y desgaste, 20-200 hp											
Mezcladoras (Banbury), 200 a 800 hp											
Batidoras, hasta 200 hp .....											
Sopladores, hasta 500 hp .....											
Elevadores de conglomes, 5 a 25 hp											
Desmenuzadoras, hasta 1500 hp .....											
Compresores, hasta 600 hp .....											
Transportadores, 3 a 100 hp .....											
Grúas y montacargas, 3 a 150 hp .....											
Trituradores, 3 a 200 hp .....											
Extractores, 3 a 100 hp .....											
Ventiladores, hasta 150 hp .....											
Moladora (pasta), 1000 a 4000 hp .....											
Emmezcladora y granuladora, ¼ a 30 hp											
Trituradora, 20 a 200 hp .....											
"Mortero", hasta 400 hp .....											
Molinos picadores, 20 a 100 hp .....											
Molinos, 3 a 200 hp .....											
Pulverizadores, 10 a 250 hp .....											
Bombas (centrifugas), hasta 1000 hp ..											
Bombas (de pistón), hasta 200 hp ..											
Deshidratadora, 5 a 200 hp .....											
Alimentadores de hornos, 5 a 25 hp ..											

Tipos de arranque:	
Jaula de ardilla	Magnético, volante completo o reducida.
Motor devanado	Manual, electromagnético o magnético con resistencia en el circuito.
Sincrónico	Magnético, volante completo o reducida.
Monofásico	Manual o magnético, volante completo.
Corriente directa	Manual o magnético con resistencia en el campo y en la armadura.

Ref.: Rose y Barrow ( 3 )

Siempre y cuando no se requiera otra condición.

Otras clasificaciones de motores.

Verticales

De velocidad múltiple

De contra marcha

Síncronos

De rotor devanado

Etc., se especificarán cuando se requieran.

Tipos de Carcasa.

El diseño totalmente cerrado enfriado por aire (TEFC) se considera el normal. Estos motores deben ser equipados con ventiladores anti-chispas y apropiados para áreas de Clase 1, División 2, Grupo C o D, de acuerdo a la siguiente clasificación:

**AREAS DE PELIGRO, APLICABLE A PLANTAS DE PROCESO.**

**Clase I. Gases o vapores altamente inflamables.**

**División 1. Atmosferas que se tienen continuamente o que se pueden tener durante el curso normal de funcionamiento.**

**División 2. Líquidos inflamables manejados y procesados pero que normalmente están confinados,**

**División 3. Lugares donde se depositan pinturas inflamables, o --  
acumulación de productos análogos.**



Clase II. Combustibles en polvo.

División 1. Polvo suspendido continuamente en el aire o durante el curso normal de funcionamiento,

División 2, Suspensión de polvo, no únicamente en los lugares donde están los depósitos que pueden encenderse por chispa.

Clase III. Fibras combustibles volátiles.

División 1. Lugares en donde se manejan o usan fibras inflamables.

División 2, Lugares donde se almacenan fibras que se puedan quemar fácilmente.

El equipo para estas tres clases de atmósferas puede ser experimentado y aprobado para los siguientes tipos de atmósferas :

Grupo A. Atmósferas que contengan acetileno.

Grupo B. Hidrógeno o gas fabricado.

Grupo C. Vapor etilo de éter.

Grupo D. Gasolina, petróleo, nafta, alcoholes, lacas solventes, vapores, acetona, gas natural.

Grupo E. Polvos de metales.

Grupo F. Negro de humo, polvo de hulla o de carbón mineral.

Grupo G. Polvos de fibras.

De la lista anterior es posible decidir el grupo que le corresponde al material manejado.

Las características de potencia y velocidad para motores eléctricos de inducción trifásicos se muestran en la siguiente Tabla No.

4.24.

TABLA No. 4.24

## POTENCIA DE REGIMEN NORMAL EN MOTORES TRIFASICOS DE INDUCCION

KW	CP	KW	CP	KW	CP
0.75	1	132	180	1360	1760
1,1	1,5	150	200	1500	2000
1,5	2	160	220	1680	2250
2,2	3	185	250	1860	2500
3,7	5	200	270	2230	3000
5,5	7.5	220	300	2600	3500
7.5	10	250	350	3000	4000
11	15	300	400	3400	4500
15	20	355	450	3700	4900
18,5	25	370	500	4100	5500
22	30	410	550	4500	6000
30	40	450	600	4900	6500
37	50	520	700	5000	6650
45	60	600	800	5700	7600
55	75	670	900	6300	8400
75	100	750	1000	7100	9500
90	125	930	1250	7800	10200
110	150	1100	1500		

## VELOCIDADES SINCRONIZADAS PARA MOTORES DE INDUCCION

POLOS		2	4	6	8	10	12	14	16
VELOCIDAD	60 Hz	3600	1800	1200	900	720	600	514	450
SINCRONA	50 Hz	3600	1500	1000	750	660	500	428	375

REF. : IMP. ESPECIFICACIONES GENERALES DE MOTORES.

**ESTIMADO DE COSTO.**

Concluyendo lo expuesto en los capítulos anteriores, se pueden establecer las variables más importantes a considerar, para poder estimar el costo del equipo Bomba-Accionador, y estos parámetros son los siguientes:

**- BOMBA**

Potencia (HP o BHP)  
Capacidad (GPM)  
Presión Diferencial (psig)  
Eficiencia  
Material de construcción  
Naturaleza del fluido  
Condiciones de operación

**- MOTOR**

Tipo (inducción, sincrónico, XP, Etc.)  
Potencia (HP)  
Velocidad (RPM)

Para ilustrar los diferentes tipos de estimados mencionados con anterioridad, se da como ejemplo la secuencia que se sigue de acuerdo a la información disponible:

ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD (RANGO  $> \pm 30\%$ )

Para este caso al menos se debe conocer una variable que puede ser; capacidad o potencia, y estimar el costo del equipo por analogía con respecto a otro equipo cuyo costo y características son similares a las del -- equipo a estimar. Para ello se utiliza la ecuación de relación de capacidades mencionada en los capítulos anteriores y el exponente típico --- adecuado para bombas y motores.

Como ejemplo de este tipo de estimado, tenemos que se desea calcular el costo de una bomba centrífuga que va a manejar solución de DEA pobre a una temperatura de bombeo de 175°F, la capacidad requerida es de 856 -- GPM. Como referencia se tiene el costo y características de una bomba que opera a las siguientes condiciones:

<u>CONCEPTO</u>	<u>DESCRIPCION</u>
Bomba :	
Servicio	Solución de DEA a absorción.
Temperatura de Bombeo	105°F
Capacidad	970 GPM
Presión Diferencial	805 PSIG
Potencia Hidráulica	456 HP
Fabricante	Pacific Pumps
Costo de la bomba	143,210 US. DLLS.

<u>CONCEPTO</u>	<u>DESCRIPCION</u>
Prueba de comportamiento hidrostática.	3,856 US. DLLS.
Prueba de NPSH	700 US. DLLS.
Partes de Repuesto	4,970 US. DLLS.
Costo Total	= 152,736 US. DLLS.

Accionador (Motor eléctrico) :

Fabricante	Reliance
Tipo	Inducción
Protección de la carcasa	TEFC-XP
Potencia	700 HP
Velocidad	3,600 RPM
Costo de motor	40,442 US. DLLS.
Vigencia	Agosto - 81.

- Costo estimado de la bomba:

$$\text{Costo} = (152,736 \text{ US DLLS}) \left[ \frac{856 \text{ G.P.M.}}{970 \text{ G.P.M.}} \right]^{0.6} = 141,698 \text{ US DLLS a Ago. 81}$$

- Costo estimado del motor :

$$\text{Costo} = (30,442 \text{ US DLLS}) \left[ \frac{856 \text{ G.P.M.}}{970 \text{ G.P.M.}} \right]^{0.6} = 28,242 \text{ US DLLS a Ago. 81}$$

- Índice de escalación para equipo mecánico de importación de agosto de 1981 a enero de 1984,

$$\text{FE.} = 1.196$$

- Tipo de cambio de US DLLS. a Moneda Nacional a enero de 1984.

$$\text{T.C.} = 163 \text{ \$/US DLLS}$$

$$\text{Costo de bomba} = (141,698 \text{ US DLLS}) (1.196) (163 \text{ \$/US DLLS}) = 27,623,742 \text{ M.N.}$$

$$\text{Costo de motor} = (28,242 \text{ US DLLS}) (1.196) (163 \text{ \$/US DLLS}) = 5,505,721 \text{ M.N.}$$

$$\text{Costo Total} = 33,129,463 \text{ M.N.}$$

ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD (RANGO  $\pm$  30%)

Para este ejemplo la información se obtiene de croquis o especificaciones preliminares, siendo esta información la siguiente:

Capacidad	GPM
Presión diferencial	PSIG
Temperatura de bombeo	(°F o °C)

En este caso es necesario calcular la potencia hidráulica de la bomba,-- seleccionar el material de construcción (de acuerdo al tipo de fluido y temperatura de bombeo). Se espera que la eficiencia de la bomba está -- en un rango de 60 a 80%. Por lo tanto la eficiencia en este caso se considera de 70%.

Datos de la bomba requerida :

Servicio	Solución de DEA a Filtración.
Temperatura de bombeo	175 °F
Capacidad	856 GPM
Presión diferencial	545 PSIG

- Cálculo de la potencia de la bomba.

Para efectuar el cálculo de la potencia hidráulica se tienen las siguientes ecuaciones :



$$\text{WHP} = \frac{(W)(CFS)(H)}{550} = \frac{(\text{Sgr.})(\text{GPM})(H)}{3\,960} = \frac{(\text{Lb/Min})(H)}{33,000} = \frac{(\text{GPM})(\Delta P)}{1\,714}$$

Donde :

- N = Peso específico en Lb/Ft<sup>3</sup>  
 H = Cabeza total en Ft.  
 ΔP = Presión diferencial en Lb/in<sup>2</sup>  
 WHP = Potencia hidráulica en HP.  
 Sgr = Gravedad específica

Con la información anterior, se procede a calcular la potencia hidráulica de la bomba de la siguiente manera :

$$\text{WHP} = \frac{(856 \text{ GPM})(545 \text{ psig})}{1\,714} = 272 \text{ HP}$$

La potencia al freno es la potencia entregada a la flecha de la bomba y se denomina por BHP. Debido a que la relación entre la potencia entregada por la bomba y la potencia entregada a la flecha de la misma, no es otra cosa que la eficiencia de la bomba. Esto se puede expresar de la siguiente manera :

$$\text{Eficiencia de la bomba} = \text{EP} = \frac{\text{WHP}}{\text{BHP}} \times 100$$

$$\text{De donde : BHP} = \frac{\text{WHP}}{\text{EP}}$$

La potencia al freno es la siguiente :

$$\text{BHP} = \frac{272 \text{ HP}}{0.70} = 389 \text{ BHP}$$

Para la selección del material de la bomba se tiene de la Tabla No, 4.23, que el material recomendado es :

Material de la bomba = S-1

Con la potencia al freno y el material de la bomba utilizamos la -- gráfica y/o ecuación No. 4. Para calcular el costo de la misma, Así como la Gráfica y/o Ecuación No. 5, para calcular el costo del motor.

Costo unitario de la bomba :

$$344,844(389 \text{ BHP})^{-0.564} = 11,965 \text{ \$/BHP a enero de 1984.}$$

Costo estimado de la bomba :

$$(11,965 \text{ \$/BHP})(389 \text{ BHP}) = 4,654,539 \text{ M.N.}$$

$$\text{Partes de repuesto (15\%)} = 698,181 \text{ M.N.}$$

La potencia del motor recomendable será la potencia inmediata superior de las estandarizadas en el mercado.

Potencia del motor = 400 HP.

La velocidad recomendable para estas condiciones será de 3600 RPM

$$\text{Costo unitario del motor} = 36,028(400 \text{ HP})^{-0.23} = 9,082 \text{ \$/HP a Enero-84.}$$

$$\text{Costo estimado del motor} = (9,087 \text{ \$/HP})(400 \text{ HP}) = 3,632,673 \text{ M.N.}$$

$$\text{Costo Total} = 8,985,393 \text{ M.N.}$$

\*\*\*\*\*

COSTO ESTIMADO PRELIMINAR (Rango  $\pm$  20%)

Una vez que se conocen mejor las condiciones de operación y propiedades de los fluidos manejados, es posible realizar un estimado de mayor precisión. Para este caso tenemos que los datos disponibles son los siguientes :

<u>Servicio :</u>	<u>Solución de DEA a Filtración:</u>
Temperatura de bombeo	175 °F
Capacidad de diseño	985 GPM
Presión diferencial	545 psig
Potencia al freno/eficiencia	447 BHP/70%
Corrosión y erosión por CO <sub>2</sub>	DEA

Con los datos anteriores se procede a seleccionar el material de construcción de la bomba. De la Tabla No. 4.23, se tiene que el material recomendado para soluciones de DEA es el S-1, pero debido a los problemas de corrosión y erosión causados por el CO<sub>2</sub> - DEA, es necesario el uso de partes internas de acero inoxidable. Por tal motivo el material recomendado para este caso es el S-6.

Material de la bomba = S-6

Con la potencia al freno y el material de la bomba, utilizamos la gráfica y/o ecuación No. 4 para el estimado de costo de la bomba como se muestra a continuación:

Costo base unitario =  $344,844 (447 \text{ BHP})^{-0.564} = 11,037 \text{ \$/BHP a ENE-84.}$

De la Tabla No. 4,25, tenemos que el factor por material de construcción es :

FMB = 1.8

Por lo tanto el costo estimado para la bomba es :

Costo estimado de la bomba  $(11,037 \text{ \$/BHP})(447 \text{ BHP})(1.80) = 8,880,370 \text{ M.N.}$

Partes de repuesto (15%) = 1,332,056 M.N.

Como accionador para esta bomba se recomienda un motor eléctrico de las siguientes características :

Tipo	De inducción TEFC
Potencia	450 HP
Velocidad	3,600 R.P.M.

Costo Unitario del motor =  $(36,028(450))^{-0.23} = 8,839 \text{ \$/HP a ENERO-84.}$

Costo Estimado del motor =  $(8,839 \text{ \$/HP})(450 \text{ HP}) = 3,977,550 \text{ M.N.}$

Costo Total = 14,189,976 M.N.  
 =====

**COSTO ESTIMADO (Rango  $\pm$  10%).**

Este tipo de estimado se realiza cuando se han emitido las hojas de -- datos definitivas tanto para la bomba como para su accionador. A continuación se ilustra un estimado de esta naturaleza.

De las hojas de datos se tiene la siguiente información :

**Datos del equipo****Bomba :**

<b>Servicio</b>	<b>Solución de-DEA a filtración</b>
Temperatura de bombeo	175°F
Capacidad	985 GPM
Presión diferencial	545 psig.
Potencia al freno/eficiencia	447 BHP/70%
Tipo de bomba	2 pasos
Material	S-6

**Accionador (Motor) :**

<b>Tipo</b>	<b>Inducción TEFC-XP</b>
Potencia	500 HP
Velocidad	3-600 RPM
Volts/Fases/Hertz	4 160/3/60

Con estos datos de la Tabla No. 4.26, tenemos que los factores de costo por material de construcción y tipo de bomba son :

$$FMB = 1.80$$

$$FTB = 1.997$$

Por lo tanto el costo estimado de la bomba es :

$$\text{Costo estimado} = (\text{Costo base})(FMB)(FTB).$$

$$\text{Costo de bomba} = (5,813,743 \text{ M.N.})(1.80)(1.997) = 20,898,080 \text{ M.N.}$$

Costo estimado para el accionador :

De la gráfica y/o ecuación No. 5, tenemos que para un motor de 500 HP y 3600 R.P.M. el costo es :

$$36,027 (500 \text{ HP})^{-0.23} (500 \text{ HP}) = 4,313,552 \text{ M.N.}$$

$$\text{Costo Total del Equipo} = 25,211,632 \text{ M.N.}$$

T A B L A No. 4.26

FACTORES DE COSTO POR TIPO DE BOMBA CENTRIFUGA

BASE : BOMBAS CENTRIFUGAS, API-610, DE MATERIAL S-1, DE 1 ETAPA, SUCCION HORIZONTAL, CARCAZA PARTIDA --- VERTICALMENTE, CON VELOCIDAD DE 3550 (FTB = 1.00)					
CAPACIDAD (GPM)	FACTOR DE COSTO POR TIPO DE BOMBA (FTB)				
	2 ETAPAS 3550 RPM	MULTIPLE ETAPA 3550 RPM	IN LINE 1 ETAPA 3550 RPM	1 ETAPA 1750 V.S.	1 ETAPA 1750 H.S.
1.5 (GPM) A 2000 (GPM)	1.997	4.433	1.193	0.531	1.209

T A B L A No. 4.25

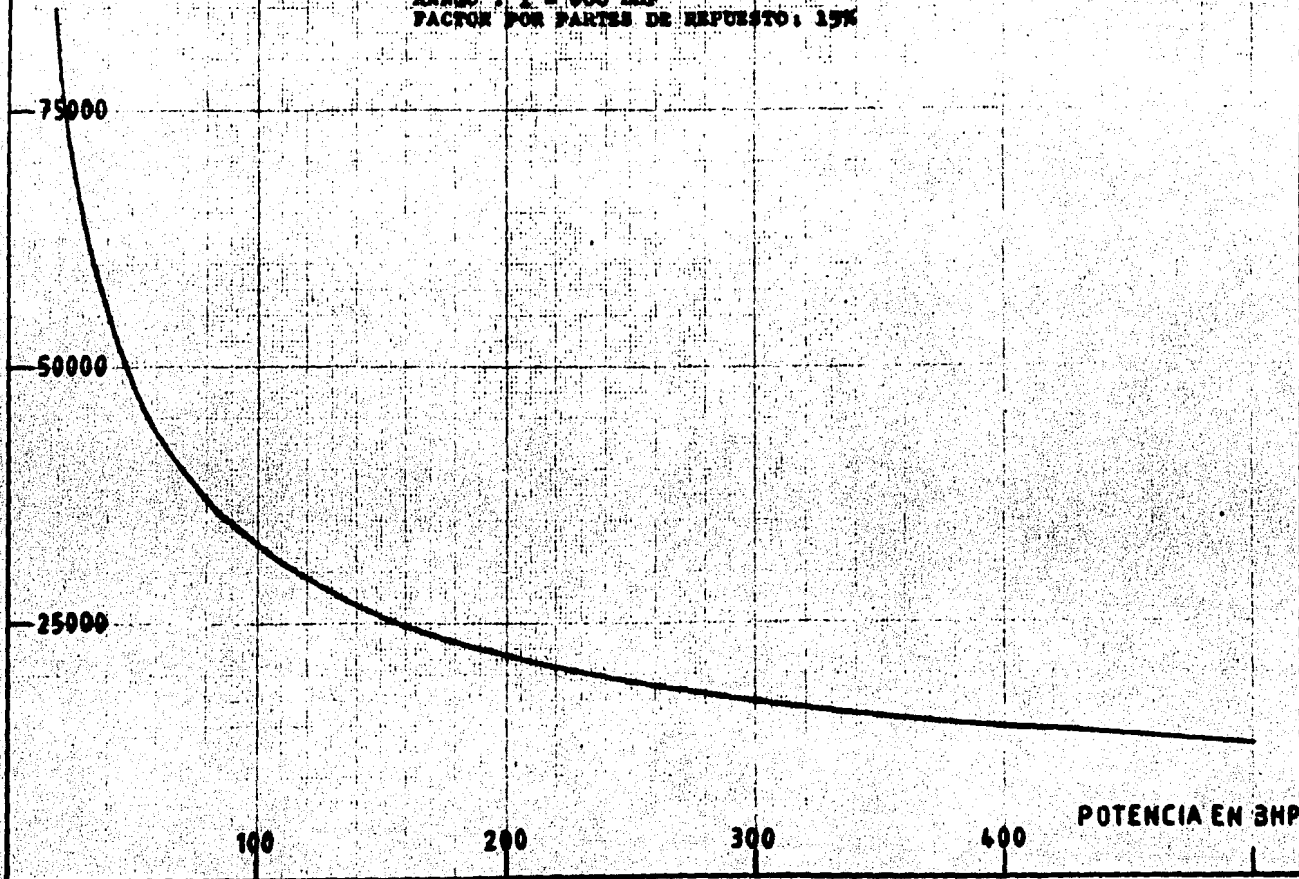
FACTORES DE COSTO POR TIPO DE MATERIAL

BASE : MATERIAL DE ACERO AL CARBON (S-1)													
MATERIAL	I-1	I-2	I-3	S-1	S-3	S-4	S-5	S-6	S-9	C-6	D-6	A-7	A-8
FACTOR FMB	0.71	0.96	1.35	1.00	1.20	1.18	1.26	1.80	4.20	3.72	3.23	8.77	11.66

GRAFICA 4

COSTO  
MN/3HP

BOMBAS CENTRIFUGAS DE MATERIAL S-1  
(COSTO/3HP) = 344,844 (POTENCIA)<sup>-0.56</sup>  
RANGO : 1 - 600 3HP  
FACTOR POR PARTES DE REPUESTO: 15%





GRAFICA 5

COSTO  
MN/HP

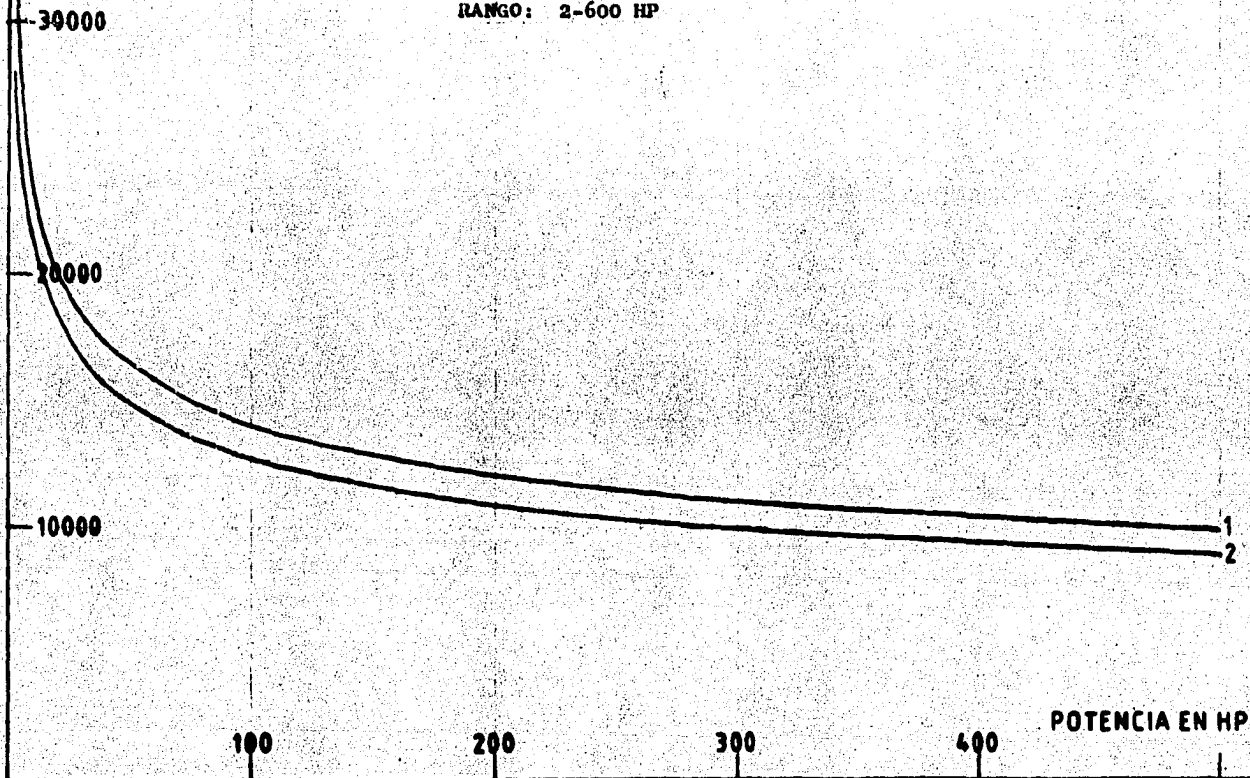
MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION  
PARA 1800 RPM:

1)  $(\text{COSTO/HP}) = 38403 (\text{POTENCIA})^{-0.22}$

PARA 3600 RPM:

2)  $(\text{COSTO/HP}) = 36027 (\text{POTENCIA})^{-0.23}$

RANGO: 2-600 HP



#### 4.5.2 COMPRESORES

##### GENERALIDADES

En la industria de proceso, algunos procesos requieren alimentación de gases comprimidos a presiones elevadas, tan es así que una estación de compresores es una planta dentro de otra planta; que tiene máquinas -- que requieren operación práctica y de los conocimientos de la ingeniería para la selección de estos equipos.

Los compresores tienen la función de transformar la energía mecánica - en energía térmica de presión de los gases, ya sea para desarrollar -- un proceso o para transportarse.

##### CLASIFICACION

Los compresores se pueden clasificar de una manera general en :

- Compresores centrífugos.
- Compresores axiales
- Compresores de pistón
- Compresores rotatorios
- Compresores de tornillo

En la actualidad, los compresores centrífugos son los que más comúnmente se utilizan en la industria para los procesos y el transporte de -- gases, debido a que son más versátiles, ya que dependiendo del tipo de

impulsor, pueden manejar flujos altos o bajos y al mismo tiempo pueden desarrollar altas presiones de descarga. En la Figura No. 4.22, se muestran las diferentes partes de un compresor.

Los compresores centrífugos se clasifican de acuerdo a la dirección del flujo en :

- Compresores de flujo radial
- Compresores de flujo axial

Por sus características constructivas los compresores centrífugos se clasifican de la siguiente manera :

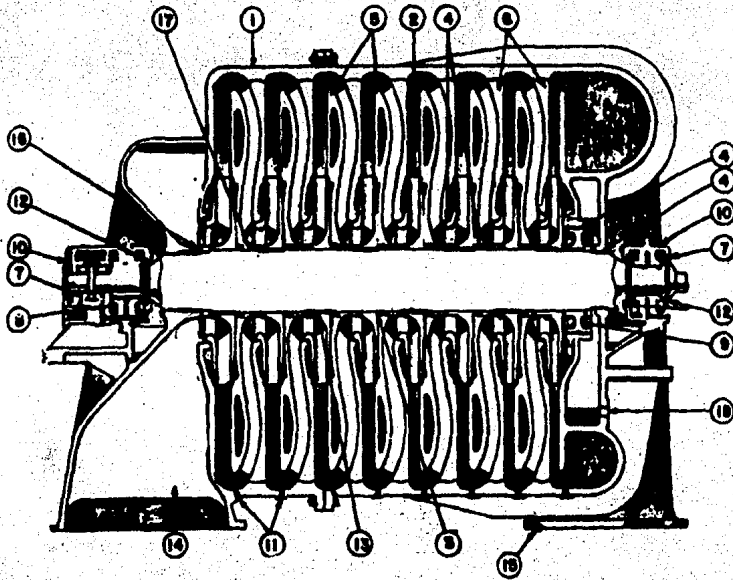
- Compresores de carcasa bipartida u horizontales.
- Compresores tipo barril.

#### Junta Horizontal (Carcasa bipartida)

Este tipo de construcción de compresor, adaptado a las bajas presiones, es utilizado para los compresores tipo : R3, M y H. Esta línea de fabricación ha sido desarrollada para caudales de un volumen importante.

El cuerpo está formado por dos partes ensambladas por tornillos según un plano de junta horizontal. Esta disposición permite una gran facilidad de mantenimiento debido al acceso directo a componentes internos, una vez levantada la parte superior (Figura No. 4.23).

Las salidas tubulares de aspiración y descarga, así como, en su caso, las salidas tubulares intermedias, pueden quedar orientadas, según los



- |                    |                           |  |
|--------------------|---------------------------|--|
| 1. CASCAS<br>ROTOR | 7. CARRACA RADIAL         | 13. BARRA                              |
| 2. IMPULSOR        | 8. CARRACA AXIAL          | 14. TORNO DE SUCCION                   |
| 3. PLECA           | 9. PIVOT DE BALANCE       | 15. TORNO DE DESCARGA                  |
| 4. SELLO           | 10. CASA DE COMPRESOR     | 16. YUNQUE DE PRENSION                 |
| 5. DENTADOS        | 11. DENTES DE CASCAS      | 17. NUBES DE LA PLECA                  |
| 6. VENTAS GUIAS    | 12. DEFLECTORES DE ACEITE | 18. CONECTOR DEL TUBO<br>EQUILIBRADOR. |

FIG. 4.22 PARTES DE UN COMPRESOR CENTRIFUGO.

requerimientos del proceso, hacia arriba o hacia abajo, lo cual permite la instalación del compresor a nivel del suelo o a un nivel superior.

Las superficies de apoyo del cuerpo del compresor permiten la dilatación al mismo tiempo que se conserva una alineación correcta. El cuerpo del compresor sirve de soporte a los cuerpos de cojinetes y en la parte inferior lleva los correspondientes orificios de purga.

#### Junta Vertical (Tipo Barril)

Este tipo de compresor es de los de tipo BB, MB y V. Estos compresores son recomendables para presiones altas y medias (hasta de 450 ATM), así como para la compresión de gases de peso molecular bajo.

De acuerdo a la presión, las tapas de las juntas verticales van fijadas por tornillos o por anillos de cisallamiento. La hermeticidad es obtenida por sellos cilíndricos dispuestos entre el cuerpo y las tapas.

Como el cuerpo es cilíndrico, las salidas tubulares pueden quedar orientadas según lo requiera el proceso. Las superficies de apoyo del cuerpo se encuentran a la altura del eje del compresor, con lo cual se eliminara así cualquier posibilidad de defectos de alineación vertical.

FIGURA No. 4. 23  
COMPRESOR CENTRIFUGO DE JUNTA HORIZONTAL

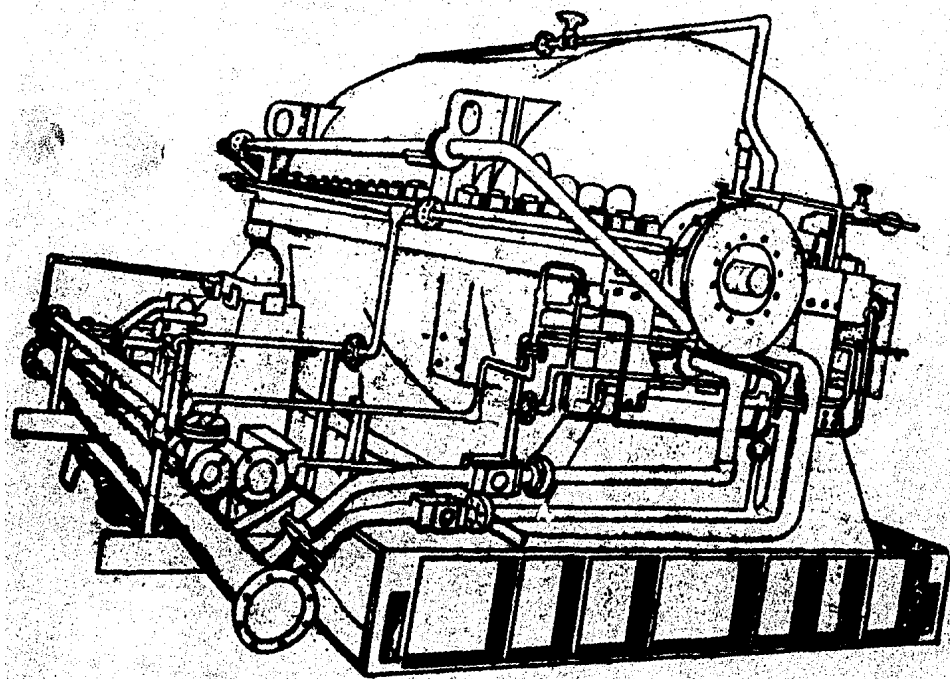
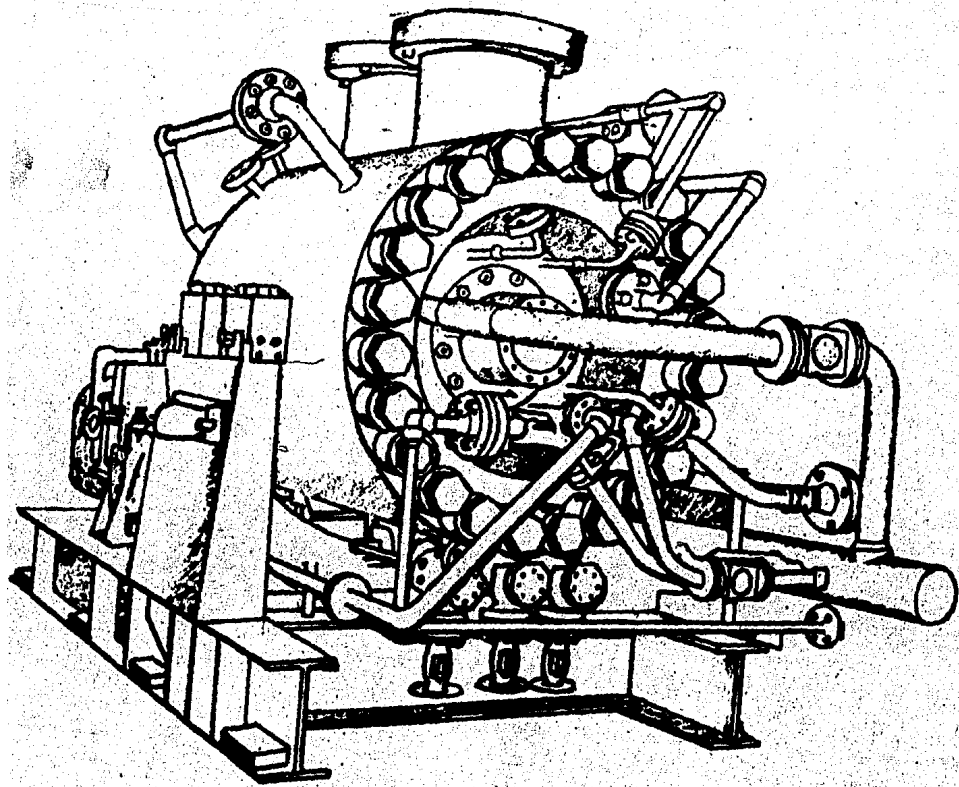


FIGURA No. 4.24.  
COMPRESOR CENTRIFUGO DE JUNTA VERTICAL



El conjunto aerodinámico interno puede ser levantado sin que sea preciso desmontar las tuberías de gas, lo cual da una gran facilidad de mantenimiento.

Los cuerpos de junta vertical son contruidos mediante soldadura automática o bien de acero moldeado o forjado. (Figura 4.24).

#### GUARNICIONES DE SELLADO.

##### - De Laberinto.

Son los sistemas de sellado convencionales de lenguetas, que son sencillos y de comportamiento seguro. No se usan cuando se manejan gases tóxicos o inflamables, siendo reservado casi exclusivamente para los compresores de aire o gases inertes. Son de aluminio, a fin de evitar deterioros del eje en caso de contacto accidental.

##### - De Película de Aceite.

Cada guarnición está formada por dos aros de acero con revestimiento de metal antifricción. Estos aros están diseñados para permanecer flotantes en torno al eje durante el funcionamiento.

La hermeticidad entre el interior del compresor y la atmósfera es conseguida por inyección de aceite entre ambos aros. Además de la hermeticidad, el aceite permite también el enfriamiento de las partes mecánicas.



- De Contacto,

La hermeticidad es obtenida por el contacto entre un aro fijo y un aro montado en el eje, perfectamente aplicados uno a otro. El aro fijo es de carbono y el aro móvil de carburo de tungsteno. Este tipo de guarniciones presenta la ventaja de conservar la hermeticidad sin aceite estando parada la máquina, pero únicamente es conveniente cuando se trata de niveles moderados de presión ;

- Combinados.

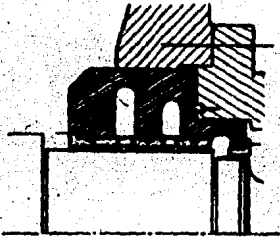
Estos tipos de cierre son empleados cuando los niveles de presión o la velocidad periférica limitan la utilización de guarniciones de contacto y asimismo, cuando se precisa conseguir la hermeticidad necesaria estando parada la máquina. Las guarniciones combinadas están formadas por la combinación de :

- Guarniciones de película de aceite que garantizan la hermeticidad estando la máquina en rotación.
- Guarniciones de contacto, que garantizan la hermeticidad estando la máquina parada, sin necesidad de aceite. (Figura 4.25 a 4.27).

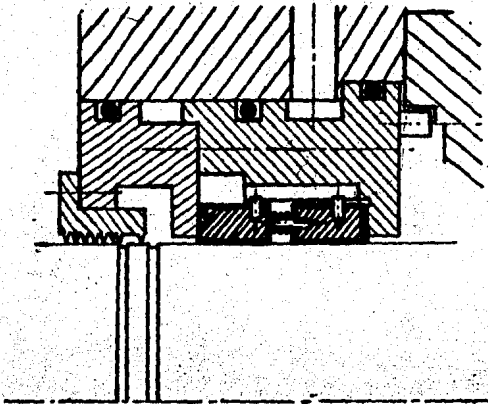
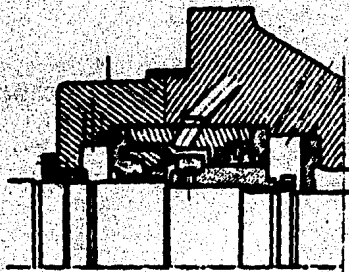
### SISTEMAS DE LUBRICACION

El aceite de lubricación se alimenta a todos los elementos del eje propulsor: turbina, regulador acoplamiento, multiplicador, compresor y permite asimismo, obtener la hermetilidad de las guarniciones de película

FIGURA No. 4.25



GUARNICION DE LABERINTO

GUARNICION DE PELICULA  
DE ACEITE.

GUARNICION DE CONTACTO

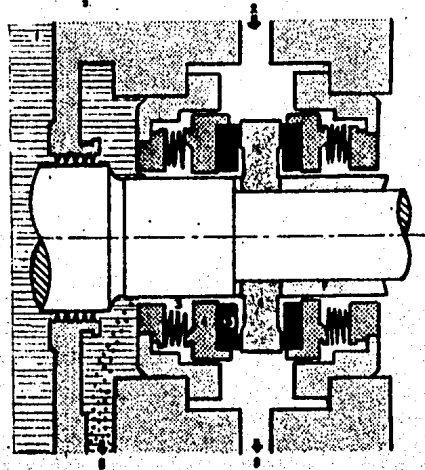


GUARNICIONES COMBINADAS

FIG. 4.26

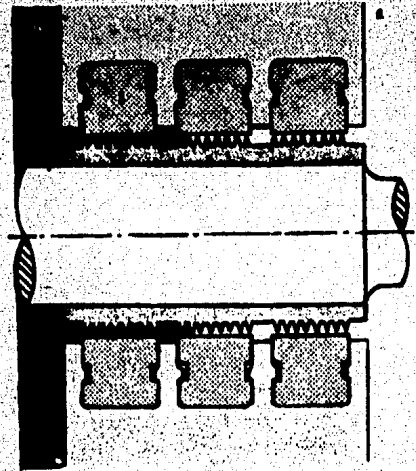
## SELLO DE CONTACTO MECANICO

- 1.-Gas de proceso
- 2.-Suministro de aceite de sello.
- 3.-Fuelle
- 4.-Contenedor
- 5.-Anillos de carbón - flotantes
- 6.-Anillos de contacto rotatorios.
- 7.-Cámara
- 8.-Salida del drene
- 9.-Salida del aceite de sello.



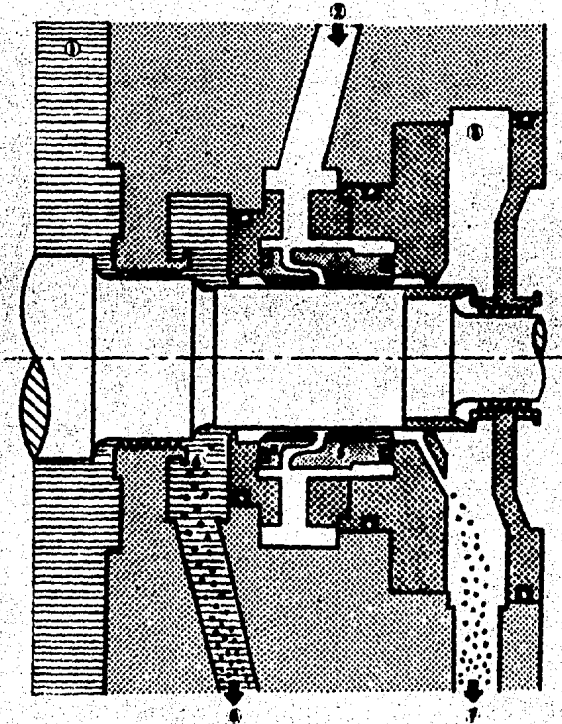
## SELLO DE LABERINTO

- 1.-Gas de proceso
- 2.-Atmósfera
- 3.-Superficie de unión
- 4.-Laberinto



**SELLO DE PELICULA DE ACEITE**

- 1.- Gas de proceso
- 2.- Suministro de aceite de sellado
- 3.- Cámara de drene atmosférico
- 4.- Cámara de recolección de drene
- 5.- Anillos flotantes
- 6.- Salida del drene
- 7.- Salida de aceite de sello.



de aceite del o de los distintos cuerpos de compresor.

Son posibles todos los géneros de combinaciones :

- Sistema de lubricación común o separada de las distintas del eje propulsor.
- Sistema de lubricación y de sellado, en combinación o separadamente.

Las Figuras 4.28 y 4.29, muestran tres esquemas típicos de circuitos.

Esquema No. 1, Sistema de lubricación común para los elementos componentes de un eje propulsor.

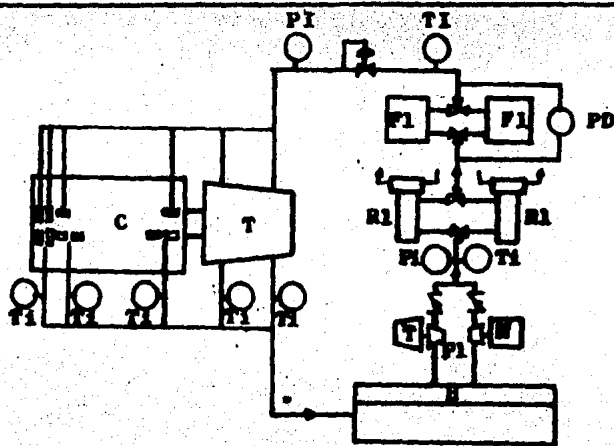
Esquema No. 2. Sistema de sellado independiente.

Esquema No. 3. Sistema combinado de lubricación y sellado.

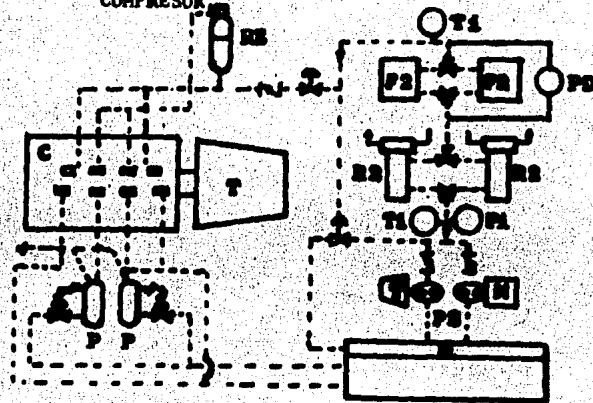
Los equipos auxiliares como : bombas, refrigerantes y filtros, van duplicados, con objeto de que el elemento de reserva pueda entrar manual o automáticamente en servicio sin necesidad de interrumpir el funcionamiento del compresor.

Los sistemas de lubricación de aceite son construidos según :

- Especificaciones generales como por ejemplo : API
- Especificaciones particulares como : ASME, SNCTTI, COST, ISCIR, ADMERBLAETTER, Etc.
- Especificaciones eléctricas : UTE, CEC, VDE, IEC.

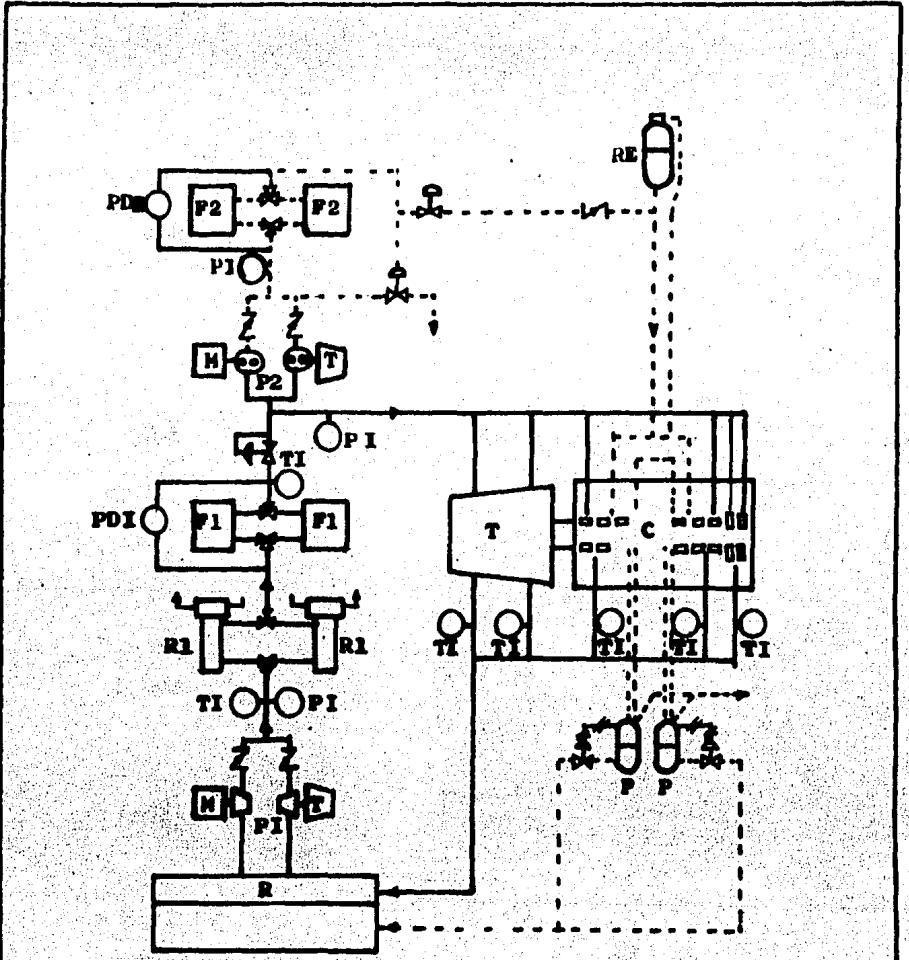


ESQUEMA 1.- SISTEMA DE LUBRICACION COMUN PARA TURBINA Y COMPRESOR.



ESQUEMA 2.- SISTEMA DE SELLADO INDEPENDIENTE.

U	FACULTAD DE QUIMICA
N	FIG. 4.28 SISTEMA DE LUBRICACION PARA COMPRESORES.
A	
M	TESIS PROFESIONAL J.A.AVELLA MTZ.



ESQUEMA No. 3

U	FACULTAD DE QUIMICA
N	FIG. 4.29 SISTEMA COMBINADO -
A	LUBRICACION Y
M	HERMETICIDAD.
	TESIS
	PROFESIONAL J.A. AVELLA MTZ.

## SIMBOLOS COMUNES PARA LOS ESQUEMAS 1, 2 Y 3.

T	Turbina
C	Compresor
R	Tanque principal de aceite
RE	Tanque superior de aceite.
RI	Refrigerante del aceite de lubricación
R2	Refrigerante del aceite de sellado
TI	Termómetro
PI	Manómetro
PDI	Manómetro diferencial
M	Motor eléctrico
F1	Bomba centrífuga
F2	Bomba volumétrica
F1	Filtro de aceite de lubricación
F2	Filtro de aceite de sellado
P	Purgador.



De acuerdo a las necesidades del cliente, los sistemas de lubricación pueden ser de tipo compacto o entregadas en subconjuntos separados y son sometidas en taller :

- Ya sea a pruebas estáticas.
- O bien, a pruebas de funcionamiento con o sin el compresor con el cual habrán de trabajar.

#### APLICACIONES

Entre las principales aplicaciones de los compresores tenemos las siguientes: En las refinerías se utilizan como compresores de reformado, compresores de gas húmedo, compresores de fluido de desencerado. La recuperación de etileno se lleva a cabo mediante un sistema de refrigeración consistente de una unidad de propileno y un compresor de etileno, también son usados en las plantas de butadieno, para la manufactura de acetileno, amoníaco, metano, etc.

#### SELECCION

Con respecto a los compresores centrífugos, un ejemplo de selección se presenta a continuación :

Se desea seleccionar un compresor, para comprimir 33,000 ICFM (52,200 M<sup>3</sup>/HR) de un gas de proceso rico en hidrógeno hasta una presión de descarga de 450 psig. (31 BAR).

- 1) En la Figura No. 4,30, la abscisa indica el flujo de entrada (ICFM) y la ordenada la presión de descarga, con los datos anteriores se localiza el modelo de compresor y tipo de construcción.

ICFM	= 33,000	Modelo 46 M 6 46 MB.
PD	= 450 psig.	Rango : 22 000 - 34 000 ICFM
		Tipo : Horizontal-SPMT o Vertical-Split.

- 2) Como se puede observar, los dos tipos cumplen con las condiciones de operación, pero como el gas es de peso molecular bajo, la selección deberá ser para un tipo de construcción "Vertical - Split" modelo -- 46 M.
- 3) Trazando una línea ascendente, hasta las curvas de velocidad, el --- compresor puede variar aproximadamente de 4 600 a 6 800 RPM, lo cual da una idea para selección del accionador.

#### MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales de construcción de los compresores, dependen del fluido manejado, así como de las condiciones de operación.

Una variación de las condiciones de operación implica muchas veces un cambio en la especificación de los materiales. Por ejemplo para la --- compresión de un gas en particular puede no ser necesario definir condiciones severas de operación, pero con la adición de humedad, este gas puede que sea muy erosivo o corrosivo con respecto a los materiales de

construcción.

La temperatura es otro factor importante el cual puede afectar la corrosión, la resistencia y susceptibilidad a fallas por quebraduras.

Un ejemplo típico es el cloro. El cloro seco a temperaturas menores a 121 - 185°C, no requiere materiales especiales. Al incrementar la temperatura, el cloro reacciona con el hierro para formar cloruro férrico el cual produce un efecto corrosivo sobre las partes rotatorias o estacionarias, en este caso debe de usarse un acero inoxidable el cual presenta bajo contenido de hierro.

El cloro húmedo también representa un problema ya que en estas condiciones es muy corrosivo, por tal motivo todos los componentes estacionarios y rotatorios que se encuentran en contacto con el cloro húmedo, deberán de estar contruidos de titanio. (2).

En las tablas (4.27 y 4.28), se muestran los materiales más comunmente utilizados para la construcción de las carcazas e impulsores de los compresores, así como los materiales recomendados para el manejo de diferentes gases.

Debido a consideraciones mecánicas, no es conveniente utilizar hierro fundido para servicios en los que no se requieran altas presiones. Este se puede usar con seguridad a presiones máximas de 300 psi. en unidades pequeñas, y no más de 50 psi en las unidades grandes. Como el hierro -

TABLA 4.27 MATERIALES PARA COMPRESORES

MATERIALES PARA CARCASAS FUNDIDAS				
MATERIAL	DESIGNACION COMERCIAL	LIMITE MINIMO DE TEMP.		
		°F	(°C)	
ACERO	ASTM A352 Gr. LCB (0% Ni)	- 50	(- 46 )	
ACERO	ASTM A352 Gr. LC2 (2-3% Ni)	-100	(- 73 )	
ACERO	ASTM A352 Gr. LC3 (3-4% Ni)	-150	(-101 )	
ACERO	ASTM A352 Gr. LC4 (4-5% Ni)	-175	(-115 )	
ACERO INOXIDABLE	ASTM A743 Gr. CF3,CF8,CF3M,CF8M	-320	(-196 )	
ACERO INOXIDABLE	ASTM A351 Gr. CF3,CF8,CF3M,CF8M	-320	(-196 )	
MATERIALES PARA CARCASAS SOLDADAS				
ACERO	ASTM A516 Gr. 55	- 50	(- 46 )	
ACERO	ASTM A537	- 75	(- 59 )	
ACERO	ASTM A203 Gr. A,D	- 75	(- 59 )	
ACERO	ASTM A203 Gr. D,E	-160	(-107 )	
ACERO	ASTM A553 Tipos I,II	-275	(-171 )	
ACERO INOXIDABLE	ASTM A240 Tipos 304,304L,316,316L y 321	-320	(-196 )	
ACERO	ASTM A353	-320	(-196 )	
MATERIALES DEL IMPULSOR				
TITANIO	ASTM B367 Gr.C3,4	- 50	(- 46 )	
ACERO	A151 3140	- 50	(- 46 )	
ACERO INOXIDABLE	ASTM A744/351 Gr. CA6NM	- 50	(- 46 )	
ACERO INOXIDABLE	ASTM A747 Gr.CB7CU-1,CB7CU-2	-150	(-101 )	
ACERO	A151 4320-4345	-175	(-115 )	
ACERO	ASTM A543	-175	(-115 )	
MONEL K500	AMS-4676	-175	(-115 )	
ACERO CON 8%Ni	ASTM A522 Tipo II	-275	(-171 )	
ACERO INOXIDABLE	ASTM A743/351 Gr.CF3,CF3M,CF8,CF8M	-320	(-196 )	
ACERO INOXIDABLE	ASTM A473 Tipo 304,304L,316,316L	-320	(-196 )	
ACERO CON 9%Ni	ASTM A552 Tipo I	-320	(-196 )	

COMPONENTE	LETALES O XICOS	COKE OVEN	OXIGENO
CARCAZA PRINCIPAL	FUNDIDO ASTM A- ACERO FUNDI A-216-Gr WCB . FUNDIDO.	HIERRO FUNDIDO ASTM- A-48 C1 40	ACERO FUNDIDO ASTM-A- 48 C1 40 O ACERO INOX. FUNDIDO AISI-410.
DIAFRAGMA	FUNDIDO ASTM-	HIERRO FUNDIDO ASTM- A-48 C1 40	HIERRO FUNDIDO ASTM-A- 48 C1 40 O BRONCE AL ALUM. ASTM-B-148 C1 19A
ELEMENTOS RO- TATORIOS, IMPULSOR.	AISI 4130, 4140	AC. ALEADO AISI 4130, 4140 O AISI 410 S.S.	AMCO 17-4 PH O AISI 410 S.S.
FLECHA	AISI 4140,	AC. AL CARBON AISI 1040, 4140 O 4340	AMCO 17-4 PH
COJINETES	FUNDIDO PARTE DE ACERO Y BABBITT.	TIPO REVESTIDO PARTE POSTERIOR DE ACERO Y BASE DE BABBITT.	RESINA FENOLICA SOBRE CAMISAS DE 17-4 PH -- (LUBRICADAS CON AGUA) O CELLULUBE SOBRE CA- MISAS ESTANDARD.
COJINETES DE EMPUJE	KINGABURY CON ZA- BABBITT Y DIS- CO DE ACERO.	TIPO KINGABURY CON ZA- PATA DE BABBITT Y DIS- CO DE ACERO.	RESINA FENOLICA SOBRE DISCOS DE 17-4 PH (LU- BRICADOS CON AGUA) --- CELLULUBE SOBRE MATE- RIAL ESTANDARD.
LABERINTOS	ALUM. AISI TEFLON.	ALUMINIO O AISI 416- S.S.	
TIPO DE SELLO DE LA FLECHA	DEPENDE -- ANEJADO EN -- R.	LABERINTO O ANILLO DE CARBON SECO.	LABERINTO, CONTACTO -- MECANICO O PELICULA LI- QUIDA DE AGUA.

COMPONENTE	A I R E	REFRIGERACION - 150 °F.	HIDROGENO DE REFORMADOR.	GAS HUMEDO	GAS DE ALIMENTACION A PLANTA DE ETILENO.	GASES LETALES O TOXICOS	COKE OVEN	OXIGENO
CARCAZA PRINCIPAL	HIERRO FUNDIDO ASTM-A-48C140	ACERO AL Ni FUNDI- DO ASTM A 352 GR LC3	ACERO FORJADO ASTM A-266 C1-1 O ASTM A-515-70	HIERRO FUNDIDO -- ASTM-A 48C140 O ASTM-A 216 GR WCB	ACERO FUNDIDO ASTM-A- 215 Gr WCB	HIERRO FUNDIDO ASTM A- 48 C1 40 O ACERO FUNDI- DO ASTM-A-216-Gr WCB O AC. INOX. FUNDIDO.	HIERRO FUNDIDO ASTM- A-48 C1 40	ACERO FUNDIDO ASTM-A- 48 C1 40 O ACERO INOX. FUNDIDO AISI-410.
DIAFRAGMA	HIERRO FUNDIDO ASTM-A-48 C1 40	HIERRO FUNDIDO ASTM-A-48 C1 40	HIERRO FUNDIDO ASTM-A-48 C1 40	HIERRO FUNDIDO - ASTM-A-48 C1 40	HIERRO FUNDIDO ASTM- A-48 C1 40	HIERRO FUNDIDO ASTM- A-48 C1 40	HIERRO FUNDIDO ASTM- A-48 C1 40	HIERRO FUNDIDO ASTM-A- 48 C1 40 O BRONCE AL ALUM. ASTM-B-148C1 19A
ELEMENTOS RO- TATORIOS, IMPULSOR.	AC. ALEADO AISI -- 4130, 4140 O 4340	AC. ALEADO AISI 4130, 4140 O 4340	AC. ALEADO AISI 4130, 4140 O 4340	AC. ALEADO AISI, 4130, 4140 O 4340	AC. ALEADO AISI 4140, O 4340	AC. ALEADO AISI 4130, 4140 O 4340	AC. ALEADO AISI 4130, 4140 O AISI 410 S.S.	AMCO 17-4 PH O AISI 410 S.S.
FLECHA	AC. AL CARBON AISI 1040, 4140 O 4340	AC. ALEADO AISI 4340	AC. ALEADO AISI 4140 O 4340	AC. ALEADO AISI 4140, O 4340	AC. ALEADO AISI 4140, O 4340	AC. ALEADO AISI 4140, O 4340.	AC. AL CARBON AISI 1040, 4140 O 4340	AMCO 17-4 PH
COJINETES	TIPO REVESTIDO PAR- TE POSTERIOR DE -- ACERO Y BASE DE -- BABBITT.	TIPO REVESTIDO PAR- TE POSTERIOR DE -- ACERO Y BASE DE -- BABBITT.	TIPO REVESTIDO PAR- TE POSTERIOR DE -- ACERO Y BASE DE -- BABBITT.	TIPO REVESTIDO -- PARTE POSTERIOR -- DE ACERO Y BASE DE BABBITT.	TIPO REVESTIDO PARTE POSTERIOR DE ACERO Y BASE DE BABBITT.	TIPO REVESTIDO PARTE POSTERIOR DE ACERO Y BASE DE BABBITT.	TIPO REVESTIDO PARTE POSTERIOR DE ACERO Y BASE DE BABBITT.	RESINA FENOLICA SOBRE CAMISAS DE 17-4 PH -- (LUBRICADAS CON AGUA) O CELLULUBE SOBRE CAM- ISAS ESTANDARD.
COJINETES DE EMPUJE	TIPO KINGABURY CON ZAPATA DE BABBITT Y DISCO DE ACERO.	TIPO KINGABURY CON ZAPATA DE BABBITT Y DISCO DE ACERO	TIPO KINGABURY CON ZAPATA DE BABBITT Y DISCO DE ACERO	TIPO KINGABURY CON ZAPATA DE BABBITT Y DISCO DE ACERO.	TIPO KINGABURY CON ZA- PATA DE BABBITT Y DISCO DE ACERO.	TIPO KINGABURY CON ZA- PATA DE BABBITT Y DIS- CO DE ACERO.	TIPO KINGABURY CON ZA- PATA DE BABBITT Y DIS- CO DE ACERO.	RESINA FENOLICA SOBRE DISCOS DE 17-4 PH (LU- BRICADOS CON AGUA) -- CELLULUBE SOBRE MATE- RIAL ESTANDARD.
LABERINTOS	ALUMINIO	ALUMINIO	ALUMINIO	ALUMINIO O BRONCE	ALUMINIO	BRONCE AL ALUM. AISI 416 S.S., TEFLON.	ALUMINIO O AISI 416- S.S.	
TIPO DE SELLO DE LA FLECHA	LABERINTO	CONTACTO MECANICO O PELICULA LIQUI- DA DE ACEITE --- LUBRICANTE.	CONTACTO MECANICO O PELICULA LIQUI- DA DE ACEITE LU- BRICANTE.	CONTACTO MECANICO O PELICULA LIQUIDA DE ACEITE LUBRICAN- TE O LABERINTO CON INYECCION DE GAS DULCE.	CONTACTO MECANICO O -- PELICULA LIQUIDA DE -- ACEITE LUBRICANTE.	LA SELECCION DEPENDE -- DEL GAS MANEJADO EN -- PARTICULAR.	LABERINTO O ANILLO DE CARBON SECO.	LABERINTO, CONTACTO -- MECANICO O PELICULA LI- QUIDA DE AGUA.

fundido no es muy resistente a los choques térmicos, no es muy usado en áreas peligrosas. Para tales servicios es conveniente usar acero fundido de calidad conveniente, si esto no es posible, utilizar placa de acero o forja.

Los materiales usados en la fabricación de las carcazas son de acero al carbón y/o aceros de baja aleación conteniendo pequeños porcentajes de níquel. Tales aleaciones ofrecen una buena resistencia al alto impacto a temperaturas criogénicas (típicas de las máquinas de refrigeración de etileno con temperaturas de entrada de  $-150^{\circ}\text{F}$ ).

## TURBINAS (Accionadores de Compresores)

### GENERALIDADES

Las turbinas son máquinas en las que se recoge directamente la energía cinética de un gas o vapor para transformar en trabajo.

Las turbinas son pues máquinas térmicas en las que la variación gradual de la cantidad de movimiento de un fluido se utiliza para producir la rotación de un receptor móvil, formado por una o varias ruedas sobre las que actúa el vapor, y cuya energía cinética recogen.

### CLASIFICACION

Dentro de las turbinas, se tienen diferentes tipos como son las turbinas de vapor, turbinas de gas (en las cuales el fluido motor está constituido por los gases producidos al quemar un combustible en una cámara

ra anexa a la máquina) y turbo compresores,

El tipo de turbinas más utilizado hoy en día es la de vapor, ya que se usa en un gran número de procesos y como accionador de diferentes equipos.

Las turbinas de vapor se clasifican en dos grandes grupos, de acuerdo al modo de efectuar la transformación de energía calórica a energía mecánica. Estos dos grupos son :

1. Turbinas de acción (impulso)
2. Turbinas de reacción

En las Turbinas de Acción la expansión se efectúa en órganos fijos. La turbina de impulso produce el movimiento del rotor por la fuerza creada por el choque del chorro de vapor contra los labes.

En la Turbina de Reacción la expansión se realiza en órganos móviles; - estos son propiamente hablando turbinas mixtas de acción y reacción ya que el vapor se expansiona tanto en órganos fijos como en órganos móviles.

Estos dos grupos se subdividen de acuerdo a sus características de construcción en diversos tipos, como se muestra en la Figura No. 4.31.



## ELEMENTOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

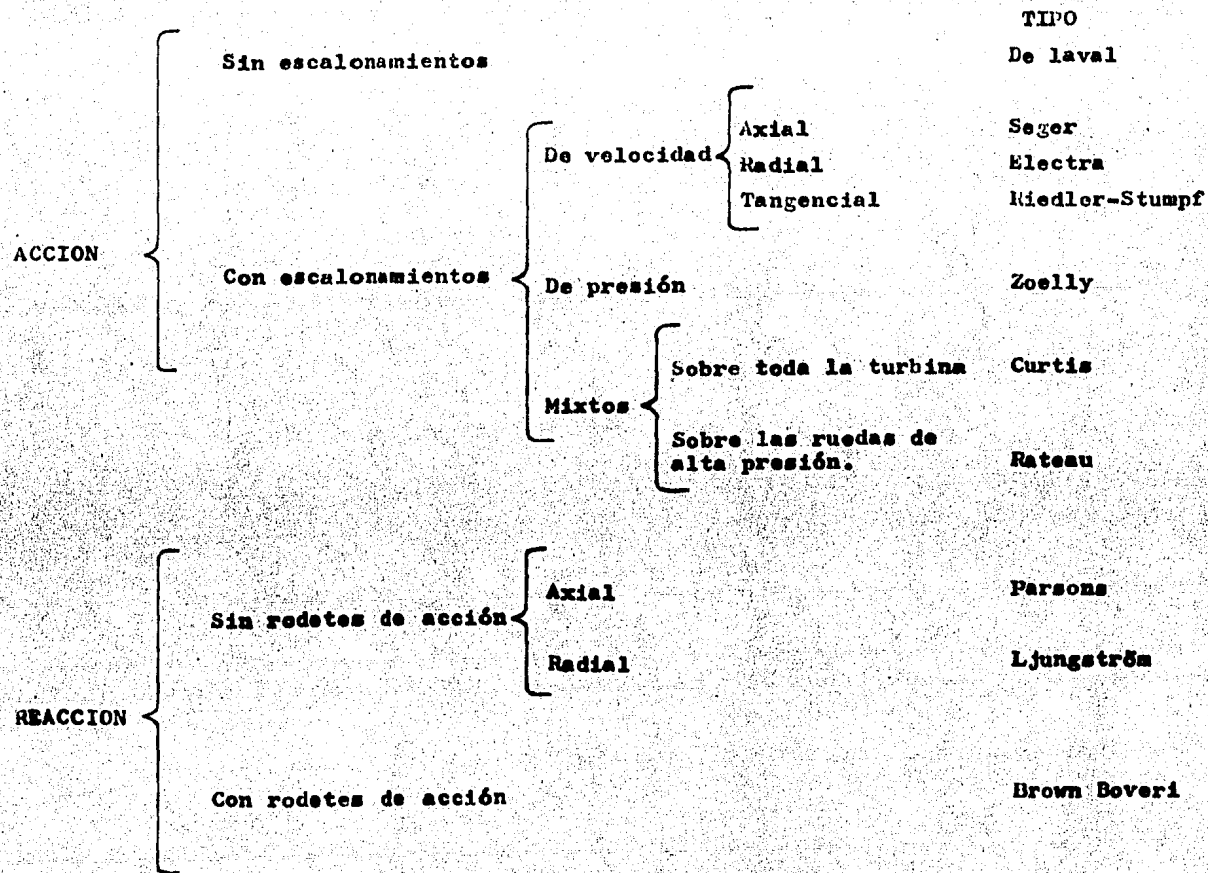
ARMAZON. La carcaza o armazón sirve para contener el conjunto de los rodetes de soporte para la válvula de admisión, toberas, laberintos, -- etc., así como de unión con el condensador. Por razones prácticas y de montaje, el armazón se construye normalmente en dos mitades. Estas dos mitades van unidas por bridas y pernos.

Como material para los armazones, se emplea fundición ordinaria de buena calidad, si se trata de máquinas de potencia relativamente pequeña y sometidas a no muy grandes diferencias de temperatura. En todos los demás casos debe darse preferencia al acero fundido. El armazón se cubre con una chapa de acero bruñido para disminuir las pérdidas por radiación.

TOBERAS Y DISTRIBUIDORES. En las turbinas de alta o mediana potencia, las toberas se agrupan formando una corona de distribuidores en la que los álabes fijos o paletas directrices dejan entre sí canales de sección conveniente según la expansión prefijada para el vapor. Para los distribuidores se emplean generalmente paletas directrices construídas de chapas de acero con un 3 a 5% de níquel.

DIAPRAGMAS. Estos se encuentran dispuestos entre escalonamiento de las turbinas de acción y sirven además, de soporte para las correspondientes toberas y directrices. Lo mismo que el armazón a que van unidos, -

FIG. No. 4.31 CLASIFICACION DE TURBINAS DE VAPOR



los diafragmas, casi siempre, divididos por un plano horizontal que pasa por el eje.

ALABES. Además de las condiciones de resistencia mecánica que debe --- cumplir el material de los álabes (por las tensiones y la temperatura --- extraordinariamente elevada), se requiere resistencia a la corrosión --- debida al aire contenido en el vapor o a productos salinos.

Muy diversos metales y aleaciones se han propuesto y ensayado en la --- construcción de los álabes, pero sin llegar a una solución completa y general.

Una guía de las composiciones de los aceros para los álabes en función de la temperatura de vapor, es la siguiente:

<u>COMPOSICION</u>	<u>TEMPERATURA DEL VAPOR</u>
C 0.30	230 - 440°C
C 0.30, Mo. 0.50, Cr 0.50	441 - 480°C
C 0.20, Mo. 1.0, Cr. 2.25	481 - 510°C
C 0.08, Mo. 2.5, Cr. 18.0, Ni 8.0, Cb 1.0	541 - 593°C

Los latones de alta calidad (72% Cu + 28% de Zn exentos de Pb), se -- emplean para los escalonamientos de medio presión de las turbinas de acción de potencia media y aún de las grandes de reacción.

APLICACIONES.

En lugares donde la energía eléctrica resulte costosa o escasa, se debe de considerar el uso de una turbina, sin embargo éstas no son muy eficaces cuando se les usa para dar movimiento a equipos de baja velocidad; - debido a que las turbinas son máquinas de alta velocidad (3,000 a 5,000 RPM), requiriéndose para estos casos reductores de velocidad, los cuales resultan caros.

Las turbinas tienen una gran variedad de aplicaciones dentro de las cuales se pueden contar las siguientes: Para el accionamiento de dinamos o alternadores, los cuales van acoplados directamente a la turbina, para el accionamiento de bombas o compresores centrífugos y en general para máquinas rotativas que tengan un par resistente senciblemente constante en una revolución completa.

ESTIMADO DE COSTO DE COMPRESORES

Para ilustrar el desarrollo del estimado de costo de un compresor, de acuerdo a la información disponible, a continuación se presenta un ejemplo :

ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD (Rango  $> \pm 30\%$ )

Se contempla la construcción de una planta recuperadora de Etano, para esto se requiere elaborar el estimado de inversión de la planta y se tiene que para estimar el costo del sistema de compresión se dispone -

de la siguiente información :

Tipo de compresor	Centrífugo
Servicio	Gas refrigerante (Propano)
Capacidad	19,797 FCFM.

Para efectuar el estimado de costo, se tiene como referencia un compresor el cual se usa para un servicio similar y tiene las siguientes --- características :

Tipo de compresor	Centrífugo
Servicio	Gas refrigerante (Propano)
Capacidad	20,280 CFM
P succión	14.7 psig.
P descarga	38 psig.
Potencia al freno	10,911 BHP
Velocidad	4,900 RPM
Costo del compresor	971,719 DLLS.
Costo de rotor, pruebas y tablero	43,060 DLLS.
Partes de repuesto	37,370 DLLS.
Fabricante	DRESSER
Fecha	6 Octubre 80

ACCIONADOR

Tipo	Turbina de vapor
Potencia	10,911 HP
Velocidad	6,014 RPM
Costo	1,689,167 DLLS.
Partes de repuesto	61,820 DLLS.
Condensador	Incl. Dlls.
Rotor	130,467 DLLS.
Proveedor	Dresser-BrownBoveri
Fecha	Octubre-80.

Con los datos anteriores y utilizando la ecuación de relación de capacidades así como el exponente típico para compresores centrífugos tenemos :

$$n = 0.82 \text{ Para compresores.}$$

Costo del Compresor :

$$1,052,149 \text{ DLLS.} \left[ \frac{19,797 \text{ ICFM}}{20,280 \text{ ICFM}} \right]^{0.82} = 1,031,557 \text{ DLLS.}$$

Costo de la Turbina :

$$1,881,454 \text{ DLLS.} \left[ \frac{19,797 \text{ ICFM}}{20,280 \text{ ICFM}} \right]^{0.82} = 1,844,630 \text{ DLLS.}$$

Para compresores centrífugos tenemos que el índice de escalación de --  
 Octubre-80 a Enero-84 es el siguiente:

$$F.E. = 1.32$$

Así también tenemos que el tipo de cambio a enero de 1984 es :

$$T.C. = 163 \text{ MN/DLLS}$$

Por lo tanto tenemos que el costo del compresor y la turbina es :

Costo del Compresor :

$$(1,031,557 \text{ DLLS})(1.32)(163 \text{ \$/DLLS}) = 221,949,804 \text{ M.N.}$$

Costo de la Turbina :

$$(1,844,630 \text{ DLLS})(1.32)(163 \text{ \$/DLLS}) = 396,890,591 \text{ M.N.}$$

$$\text{COSTO TOTAL} = 618,840,395 \text{ M.N.}$$

\*\*\*\*\*

ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD (Rango  $\pm$  30%)

Este tipo de estimado se efectúa cuando la información de que se dispone, es la suficiente como para seleccionar un tipo de compresor, así como para calcular la potencia del mismo, como se muestra a continuación :

Datos :

Tipo de compresor	Centrífugo
Servicio	Gas refrigerante (Propano)
Capacidad	6,776.7 Lb/Min.
Tsucción	-49.6 °F
Tdescarga	186 °F
Psucción	15 psig.
Pdescarga	275 psig.

Para este caso se tiene que las propiedades del gas manejado a las condiciones de operación, son las siguientes :

Capacidad calorífica (CP)=0,355 BTU/Lb°F = 15,62 BTU/Lb Mol °R.

Peso molecular (PM) = 44 Lb/Lb Mol.

- 1) Con los datos anteriores se procede a calcular la relación de CP/CV=K de la siguiente forma:

$$K = \frac{\sum MCP}{\sum MCP - 1.93} = \frac{15.62 \text{ BTU/Lb Mol}^\circ\text{R}}{15.62 \text{ BTU/Lb Mol}^\circ\text{R} - 1.93} = 1.14$$

- 2) En seguida se calcula el volumen de entrada (ICFM)

$$\text{ICFM} = (\text{Lb Mol/Min})(V_1)$$

Para el cálculo de V1 se necesita determinar primeramente el factor de compresibilidad para el gas manejado.



De la Tabla No. 4.29, tenemos que la temperatura y la presión crítica para el Propano son las siguientes :

$$\text{Temperatura crítica} = 666^{\circ}\text{R}$$

$$\text{Presión crítica} = 617 \text{ psig.}$$

Por lo tanto las propiedades reducidas son :

$$\text{Temperatura reducida} = \frac{T_1}{T_C} = \frac{410^{\circ}\text{R}}{666 \text{ R}} = 0.616$$

$$\text{Presión reducida} = \frac{P_1 \text{ psig}}{708 \text{ psig}} = \frac{15}{617} = 0.024$$

Con los valores de PR y TR, tenemos que de la Figura No. 4.33 el factor de compresibilidad para el propano es :

$$\text{Factor de compresibilidad (Z)} = 0.92$$

Por lo tanto el volumen de entrada será:

$$V_1 = \frac{ZRT_1}{P_1} = 0.92 \left[ \frac{10.73 \frac{\text{Lb/in}^2 \text{ ABS Ft}^3}{\text{Lb.Mo.}^{\circ}\text{R}}}{15 \text{ psig}} \right] (410^{\circ}\text{R}) = 269.8 \text{ Ft}^3/\text{Lb Mol.}$$

$$\text{ICFM} = \frac{(269.8 \text{ Ft}^3/\text{Lb Mol}) (6,776.7 \text{ Lb/Min.})}{44 \text{ Lb/Lb Mol.}} = 41,553 \text{ Ft}^3/\text{Min.}$$

- 3) Para la selección del tamaño de compresor adecuado, se tiene que --  
 con ICFM = 41,553 Ft<sup>3</sup>/Min. y P2 = 275 psig., de la Tabla No. 4.30,  
 y de la Fig. No. 4.30, el tamaño recomendado es :

Tamaño 60 M.

- 4) Cálculo de la cabeza requerida.

De la Tabla No. 4.29, se tiene que la eficiencia politrópica  $\eta_p = 0.77$ , por lo tanto el coeficiente politrópico es :

$$\frac{n}{n-1} = \left[ \frac{K}{K-1} \right] \eta_p = \frac{1.14}{1.14-1} (0.77) = 6.270$$

- 5) La cabeza total requerida se calcula de la siguiente manera :

$$H = ZRT \frac{n}{n-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$H = (0.92) \frac{1,545 \text{ Lb/Ft}^2 \text{ ABS Ft}^3}{\text{Lb Mol. } ^\circ\text{R}} (410^\circ\text{R}) (6.270) \left[ \left( \frac{275 \text{ psig}}{15 \text{ psig}} \right)^{\frac{1}{6.270}} - 1 \right]$$

$$H = 2,156,883 \frac{\text{Ft Lb}}{\text{Lb Mol}}$$

$$H = 49,020 \frac{\text{Ft Lb}}{\text{Lb Masa}}$$

- 6) En este punto es necesario checar la temperatura de descarga para ver si es necesario un enfriamiento, (si  $T_2$   $400^\circ\text{F}$  se deberá enfriar).

$$T_2 = T_1 \left[ \frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{n-1}{n}} = (410^\circ\text{R}) \left[ \frac{275 \text{ psig}}{15 \text{ psig}} \right]^{\frac{1}{6.270}} = 652^\circ\text{R}$$

$$T_2 = 652^\circ\text{R} = 192^\circ\text{F}$$

Por lo tanto no se requiere enfriamiento.

- 7) Cálculo del número de etapas,

De la Tabla No. 4.30, se tiene que para un modelo de compresor 60 M, la velocidad nominal es de 4.700 RPM.

$$\frac{Q}{N} = \frac{\text{ICFM}}{N} = \frac{41,553 \text{ Ft}^3/\text{Min}}{4700 \text{ RPM}} = 8.841$$

De la Tabla No. 4.30, para el tamaño 60 M se tiene :

$$H/N_2 = 3.85 \times 10^{-4}$$

Por lo tanto la cabeza por etapa será :

$$\frac{H}{N_2} = (3.85 \times 10^{-4})(4,700)^2 = 8.505 \quad \begin{array}{l} \text{Ft Lb} \\ \text{Lb} \end{array}$$

Por consiguiente el número de etapas será :

$$\text{No. de etapas} = \frac{\text{Cabeza total requerida}}{\text{Cabeza por etapa.}}$$

$$\text{No. de etapas} = \frac{49,020 \frac{\text{Ft Lb}}{\text{Lb}}}{8,505 \frac{\text{Ft Lb}}{\text{Lb}}} = 5,8 \approx 6$$

No de etapas = 6

8) Con el número de etapas calculado, se procede a ajustar la velocidad de rotación.

1 Etapa deberá desarrollar :

$$1 \text{ Etapa} = \frac{49,020 \frac{\text{Ft Lb}}{\text{Lb}}}{6 \text{ etapas}} = 8,170 \frac{\text{Ft Lb}}{\text{Lb}}$$

Usando las leyes de los ventiladores, se ajusta la velocidad de la manera siguiente :

$$H \propto N^2$$

$$N = N \text{ nominal} \left[ \frac{H \text{ requerida}}{H \text{ disponible}} \right]^{0.5}$$

$$N = 4\,700 \text{ RPM} \left[ \frac{8,170 \frac{\text{Ft Lb}}{\text{Lb}}}{8,505 \frac{\text{Ft Lb}}{\text{Lb}}} \right]^{0.5}$$

N = 4.515 RPM

## 9) Cálculo de la potencia requerida.

$$\text{BHP} = \frac{(W1)(H)}{(33,000)(\eta_p)} = \frac{(6,776.7 \text{ Lb/Min})(49,020 \text{ Ft Lb/Lbm})}{(33,000)(0.77)}$$

$$\text{BHP} = 13,073 \text{ HP}$$

Ajuste de la potencia por el pistón de balance y por pérdidas debida a los sellos.

Ajuste por pistón de balance :

$$\text{BHP} = (13.073 \text{ HP})(1.02) = 13,334 \text{ HP}$$

De la Figura No. 4.32, tenemos que las pérdidas debido a el sello son 65 HP, por lo tanto la potencia total es :

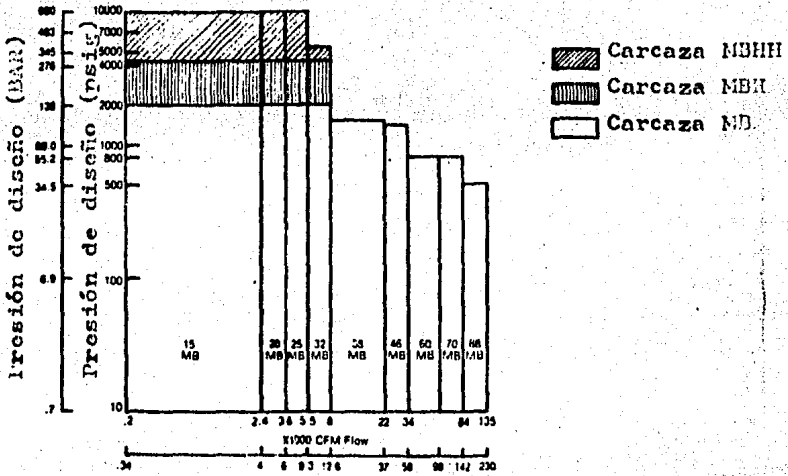
$$\text{BHP} = (13,334 + 65)\text{HP} = 13,399 \text{ HP}$$

Una vez que se ha seleccionado el tamaño del compresor y calculado la potencia, se procede a estimar el costo del compresor con la ecuación y/o gráfica No. 6, como se muestra a continuación :

$$\text{Costo del compresor} = (87.5 \text{ D11/BHP})(13,399 \text{ BHP}) = 1,172,413 \text{ DLLS.}$$

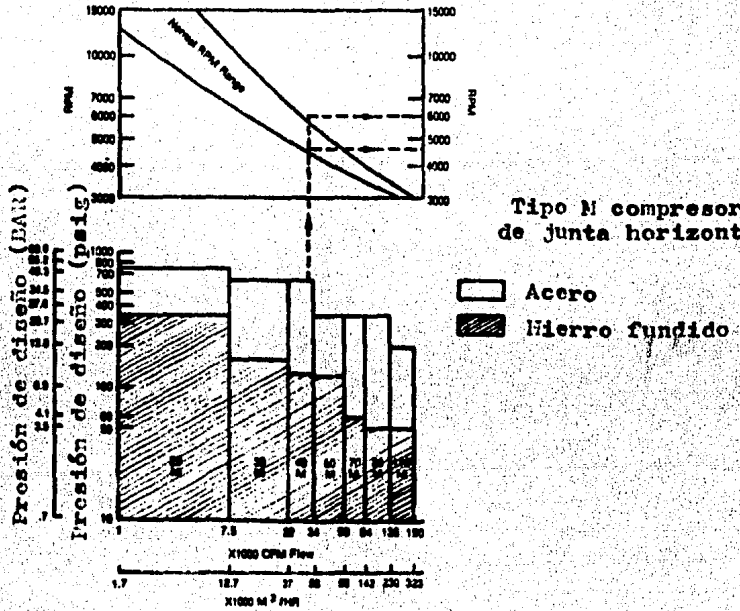
Rotor	(11%)	=	128,965 DLLS.
Partes de Repuesto	(10%)	=	117,241 DLLS.
Sistema de lubricación	(23%)	=	269,655 DLLS.
Análisis torsional	(02%)	=	23,448 DLLS.
Prueba de conjunto	(2.5%)	=	<u>29,310 DLLS.</u>
<b>COSTO TOTAL DEL COMPRESOR</b>		=	<b>1,782,068 DLLS.</b>
			*****

Tipo MB compresor  
de junta vertical



- Carcaza MBHH
- Carcaza MBH
- Carcaza MB

Tipo N compresor  
de junta horizontal



- Acero
- Hierro fundido

FIG. 4.30

Considerando que el accionador para este compresor es una turbina de vapor, de la Gráfica y/o Ecuación de Costo No. 7, tenemos que el costo del accionador es :

Costo unitario de la turbina =  $218,597 (13,399 \text{ HP})^{0.82} = 90.2$   
DLLS/HP a enero-84.

Costo de la turbina =  $(90.2 \text{ DLLS/HP})(13,399 \text{ HP}) = 1,208,590 \text{ DLLS.}$

Condensados y sistema de vacío	(24%)	=	290,062 DLLS.
Rotor	(16%)	=	193,374 DLLS.
Partes de repuesto	(10%)	=	120,859 DLLS.
Sistema de vibración	(0.86%)	=	10,394 DLLS.
Tablero	(1.12%)	=	13,536 DLLS.

COSTO TOTAL DE LA TURBINA = 1,836,815 DLLS.  
\*\*\*\*\*

Tipo de cambio a enero-84 = 163\$/DLLS.

Costo total del equipo :

$(3,618,883 \text{ DLLS})(163 \text{ \$/DLLS}) = 589,877,929 \text{ M.N.}$   
\*\*\*\*\*

**COSTO ESTIMADO PRELIMINAR (Rango + 20%)**

Este tipo de estimado se realiza cuando los datos de que se dispone, provienen de diagramas y cálculos preliminares, por lo tanto en este punto ya se cuenta con un predimensionamiento del equipo a estimar.

Continuando con el ejemplo anterior, se tiene que para estimar el costo del compresor de refrigerante, se tiene la siguiente información :

Tipo de compresor	Centrifugo
Servicio	Gas refrigerante (Propano)
Capacidad	6,776.7 Lb/Min
Tsucción	- 49.5 °F
Tdescarga	207 °F
Psucción	15 psig.
Pdescarga	275 psig.
Potencia al freno (Preliminar)	11,153 BHP
Velocidad	7,377 RPM

Con los datos anteriores, se estima con la Gráfica y/o ecuación de costo No. 6, el costo del compresor.

Costo unitario del compresor =  $498,611 (11,153 \text{ BHP})^{-0.91} = 103.4 \text{ DLLS/BHP a Enero-84.}$

Costo del compresor =  $(103.4 \text{ DLLS/BHP})(11,153 \text{ BHP}) = 1,153,220 \text{ DLLS.}$

Rotor	(11%)	=	126,854 DLLS.
Partes de Repuesto	(10%)	=	115,322 DLLS.
Sistema de Lubricación	(23%)	=	265,241 DLLS.



Tablero	(.3%)	=	34,597 DLLS
Sistema de Vibración	(.2%)	=	23,064 DLLS
Análisis torsional	(0,5%)	=	5,766 DLLS
Prueba de conjunto	(2.5%)	=	28,831 DLLS
<b>COSTO TOTAL DEL COMPRESOR</b>		=	<u>1,752,894 DLLS</u> =====

Como en este caso no se dispone de información acerca del accionador, se considera una turbina de vapor de potencia y velocidad --- igual al compresor. Por lo tanto, el accionador recomendable para este caso tiene las siguientes características :

Tipo de accionador	Turbina de Vapor
Potencia	11,153 HP
Velocidad	7,377 RPM

De la Gráfica y/o Ecuación de Costo No. 7, tenemos que el costo -- estimado del accionador es :

Costo unitario de la turbina	=	$218,597(11,153 \text{ HP})^{-0.82}$	=	104.9 DLLS/HP
Costo de la turbina	=	$(106.9 \text{ DLLS/HP})(11,153 \text{ HP})$	=	1,169,950 DLLS.
Condensador y sistema de vacío	(24%)	=	280,788 DLLS.	
Rotor	(16%)	=	187,192 DLLS.	
Partes de repuesto	(10%)	=	116,995 DLLS.	
Sistema de vibración	(0.86%)	=	10,062 DLLS.	
Tablero	(1.12%)	=	<u>13,103 DLLS</u>	
<b>COSTO TOTAL DE LA TURBINA</b>		=	<u>1,778,090 DLLS</u>	

Tipo de cambio a enero-84 = 163 \$/U.S., DLLS.

Costo total del equipo :

(3.530,984 DLLS)(163 \$/DLLS ) = 575,550,394 M.N.

COSTO ESTIMADO (Rango + 10%)

Este tipo de estimado se lleva a cabo cuando la información de que se dispone, proviene principalmente de hojas de datos y dibujos de ingeniería tanto para el compresor como para el accionador. Para - ilustrar lo anterior, se tiene que para estimar el costo del compresor de propano de los ejemplos anteriores, se cuenta con la siguiente información :

**COMPRESOR :**

Tipo de equipo	Centrífugo Horizontal
Servicio	Gas refrigerante (Propano)
Capacidad	6,776.7 Lb/Min (19,441 ICFM)
Temperatura: Succ./Desc.	-49.5 °F/207.07°F
Presión : Succ./Desc.	15 psig/275 psig.
Potencia al freno de diseño	10,185 BHP
Velocidad : Nor/Máx.	6,631/7,377 RPM
Rendimiento: Mecánico/Politró pico.	0.97/0.77
Tipo de sello	Laberinto

## ACCIONADOR :

Tipo	Turbina de vapor tipo condensación.
Entrada: Presión/Temperatura	4.11 psig/125°F
Velocidad : Nor./Máx.	6,631/7,377 RPM
Potencia normal	10,186

Para el cálculo del costo del compresor, tenemos que de la Gráfica -- y/o Ecuación No. 6.

Costo unitario del compresor =  $498,611(10,185 \text{ BHP})^{-0.91} = 112.3 \text{ DLLS/BHP}$   
a enero 1984.

Costo del compresor =  $(112.3 \text{ Dlls/BHP})(10.185 \text{ BHP}) = 1,143,776 \text{ DLLS.}$

Rotor	(11%)	=	125,815 DLLS.
Partes de repuesto	(10%)	=	114,378 DLLS
Sistema de lubricación	(23%)	=	263,068 DLLS
Tablero	( 3%)	=	34,313 DLLS
Sistema de vibración	( 2%)	=	22,876 DLLS
Análisis torsional	(0.5%)	=	5,719 DLLS
Prueba de conjunto	(2.5%)	=	28,594 DLLS
<b>COSTO TOTAL DEL COMPRESOR</b>			<b>= 1,738,539 DLLS.</b>

Para el accionador, tenemos de la Gráfica y/o Ecuación de Costo No.7.  
 Costo unitario de la turbina =  $218,597 (10,186 \text{ HP})^{-0.82} = 113 \text{ DLLS/HP}$  a  
 enero-84.

Costo de la turbina (113 DLLS/HP)(10,186 HP)	=	1,151,018 DLLS.
Condensador y sistema de vacío (24%)	=	276,244 DLLS.
Rotor (16%)	=	184,163 DLLS.
Partes de repuesto (10%)	=	115,102 DLLS.
Sistema de vibración (0.86%)	=	9,899 DLLS.
Tablero (1.12%)	=	12,891 DLLS.
		<hr/>
<b>COSTO TOTAL DE LA TURBINA</b>	<b>=</b>	<b>1,749,317 DLLS.</b>
		<hr/>

Tipo de Cambio a enero-84 = 163 \$/US DLLS.

Costo total del equipo :

(3.487,856 DLLS)(163 \$/DLLS) = 568,520,553 M.N.

TABLA 4.29 PROPIEDADES DE LOS GASES.

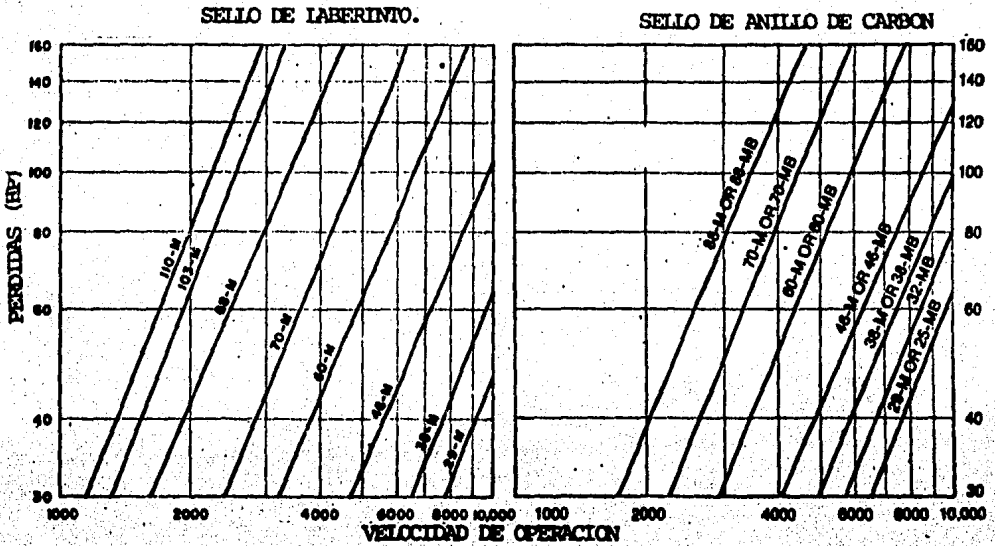
Gas o Vapor	Símbolo del hidróg. de referencia	Fórmula química	Masa molecular	Relación $K_0 P / \rho v$ A 60 °F	Condiciones críticas		$M_{cp}$	
					$P_c$ (Psia)	$T_c$ (°R)	a 50F	a 300F
Acetileno	$C_2H_2$	$C_2H_2$	26.04	1.24	805	657	10.22	12.21
Aire	$N_2+O_2$	$N_2+O_2$	28.97	1.40	647	239	6.95	7.04
Amoniaco	$NH_3$	$NH_3$	17.03	1.31	1638	731	8.38	9.45
Argón	$A$	$A$	39.94	1.86	705	272	4.97	4.97
Benceno	$C_6$	$C_6H_6$	78.11	1.12	714	1013	18.43	28.17
Isobutano	$IC_4$	$C_4H_{10}$	58.12	1.10	629	735	22.10	31.11
n-butano	$nC_4$	$C_4H_{10}$	58.12	1.09	551	786	22.83	31.09
Isobutileno	$IC_4$	$C_4H_8$	56.10	1.10	580	783	20.44	27.61
Butileno	$nC_4$	$C_4H_8$	56.10	1.11	583	786	20.45	27.64
Dióxido de C.		$CO_2$	44.01	1.30	1073	846	8.71	10.05
Monóxido de C.		$CO$	28.01	1.40	510	242	6.98	7.03
Gas de H <sub>2</sub> O carburad		-	19.48	1.35	454	235	7.80	8.33
Cloro		$Cl_2$	70.91	1.36	1119	781	8.44	8.52
Gas de coque		-	10.71	1.35	407	187	7.89	8.44
n-decano	$nC_{10}$	$C_{10}H_{22}$	142.28	1.03	320	1115	53.67	74.27
Etano	$C_2$	$C_2H_6$	30.07	1.19	708	650	12.13	16.33
Etanol		$C_2H_5OH$	46.07	1.13	977	830	17	21
Cloruro de etilo		$C_2H_5Cl$	64.52	1.19	784	829	14.5	18
Etileno	$C_2$	$C_2H_4$	28.05	1.24	742	510	10.02	13.41
Gas combustible		-	30.00	1.38	683	284	7.23	7.50
Helio		$He$	4.00	1.68	33	9	4.97	4.97
n-heptano	$nC_7$	$C_7H_{16}$	100.20	1.05	387	873	38.52	53.31
n-hexano	$nC_6$	$C_6H_{14}$	86.17	1.08	440	878	33.57	45.88
Hidrógeno		$H_2$	2.02	1.41	188	60	6.86	6.86
Sulfuro de H <sub>2</sub>		$H_2S$	34.06	1.22	1308	673	8.09	8.54
Metano	$C_1$	$CH_4$	16.04	1.31	673	344	8.38	10.25
Metanol		$CH_3OH$	32.04	1.20	1157	824	10.5	14.7
Cloruro de metilo		$CH_3Cl$	50.49	1.20	688	750	11.3	12.4
Gas natural		-	18.82	1.27	675	378	8.40	10.02
Hidrógeno		$H_2$	2.02	1.40	482	228	6.86	7.03
n-nonano	$nC_9$	$C_9H_{20}$	128.25	1.04	345	1073	48.44	67.04
Isopentano	$IC_5$	$C_5H_{12}$	72.15	1.08	483	830	27.59	38.70
n-pentano	$nC_5$	$C_5H_{12}$	72.15	1.07	488	847	28.27	38.47
Pentileno	$C_5$	$C_5H_{10}$	70.13	1.08	588	854	28.06	34.46
n-octano	$nC_8$	$C_8H_{18}$	114.22	1.05	382	1025	43.3	68.80
Oxígeno		$O_2$	32.00	1.40	730	278	8.58	7.24
Propano	$C_3$	$C_3H_8$	44.09	1.13	617	686	16.82	23.57
Propileno	$C_3$	$C_3H_6$	42.08	1.15	688	688	14.78	19.81
Gas de alto horno		-	29.8	1.38	-	-	7.18	7.40
Gas de desint. Cat.		-	28.83	1.20	674	818	11.3	18.00
Sulfuro de H <sub>2</sub>		$SO_2$	64.06	1.34	1142	775	9.14	9.78
Vapor de Agua		$H_2O$	18.02	1.33	3358	1168	7.98	8.23

\* Usar interpolación o extrapolación lineal para aproximar  $M_{cp}$  a la Temperatura requerida.

TABLA 4.30 TIPOS DE COMPRESORES.

Armadura	Rango de Flujo Nominal (Ppm)	No. Máximo de etapas por carafna	P. Max. (Psig)	Velocidad nominal (r/min)	Eficiencia Politrópica nominal	$M/\rho^2$ Nominal (por etapa)	$Q/P$ Máximo
28M	750 - 7,500	10	750	11,500	.78	$7.5 \times 10^{-5}$	0.68
38M	8,000 - 22,000	9	825	7,725	.77	$1.82 \times 10^{-4}$	2.88
48M	18,000 - 34,000	9	825	6,300	.77	$2.28 \times 10^{-4}$	5.40
68M	28,000 - 58,000	8	325	4,700	.77	$3.85 \times 10^{-4}$	12.34
78M	50,000 - 84,000	8	325	4,200	.78	$5.67 \times 10^{-4}$	20
88M	70,000 - 138,000	8	325	3,180	.78	$9.1 \times 10^{-4}$	42.7
108M	110,000 - 180,000	8	45	2,800	.78	$11.6 \times 10^{-4}$	57.1
110M	140,000 - 180,000	8	45	2,600	.78	$13.4 \times 10^{-4}$	73.1
138MB	200 - 2,350	12	10,000	15,300	.78	$3.6 \times 10^{-5}$	0.183
20MB	325 - 3,800	12	10,000	12,400	.78	$6.2 \times 10^{-5}$	0.29
28MB	500 - 5,500	12	10,000	10,000	.78	$9.5 \times 10^{-5}$	0.55
38MB	2.00 - 8,000	10	10,000	8,300	.77	$1.38 \times 10^{-4}$	0.86
58MB	6,000 - 22,000	9	1,500	7,725	.77	$1.82 \times 10^{-4}$	2.85
68MB	18,000 - 34,000	9	1,200	6,300	.77	$2.28 \times 10^{-4}$	5.40
88MB	28,000 - 58,000	8	800	4,700	.77	$3.85 \times 10^{-4}$	12.34
78MB	50,000 - 84,000	8	900	4,200	.78	$5.67 \times 10^{-4}$	20

FIG. 4.32 PERDIDAS EN SELLOS



Para los tipos 15 MB y ZOMB tomar como pérdidas el valor de 40 Hp.

Ref: United Technologies Elliot (14)

Ref: United Technologies Elliot (14)

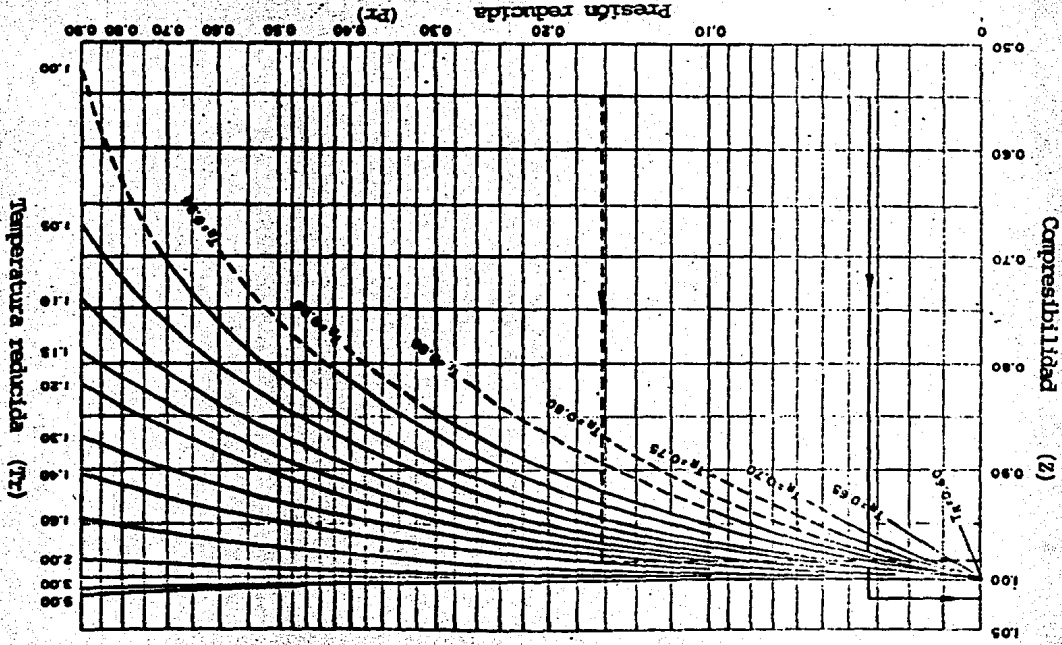
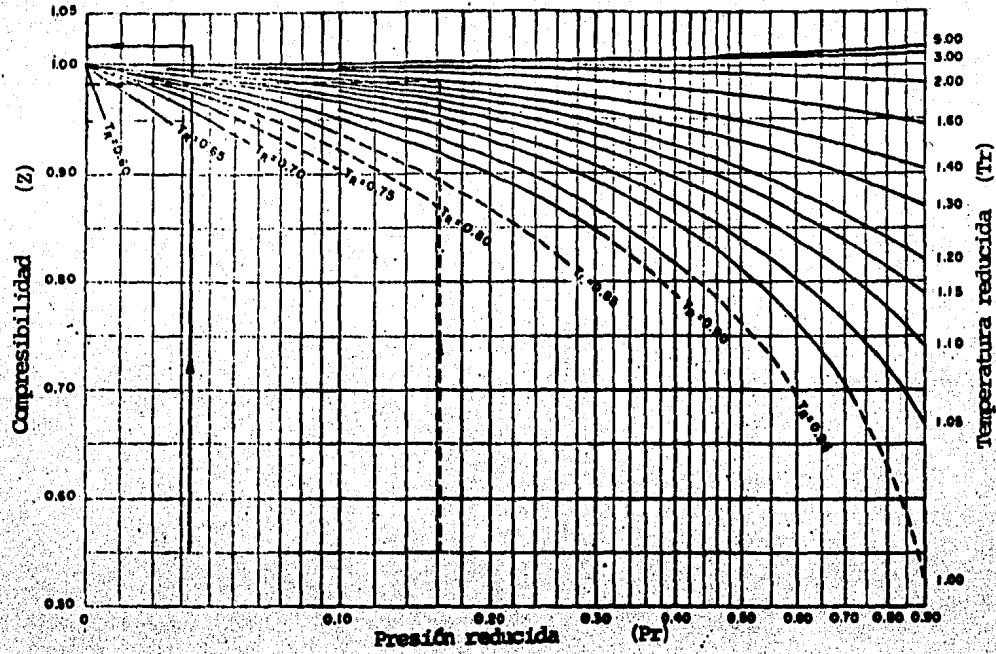


FIG. 4-33 COMPRESIBILIDAD

FIG. 4.33 COMPRESIBILIDAD



Ref: United Technologies Elliot (14)



US DLLs/3HP

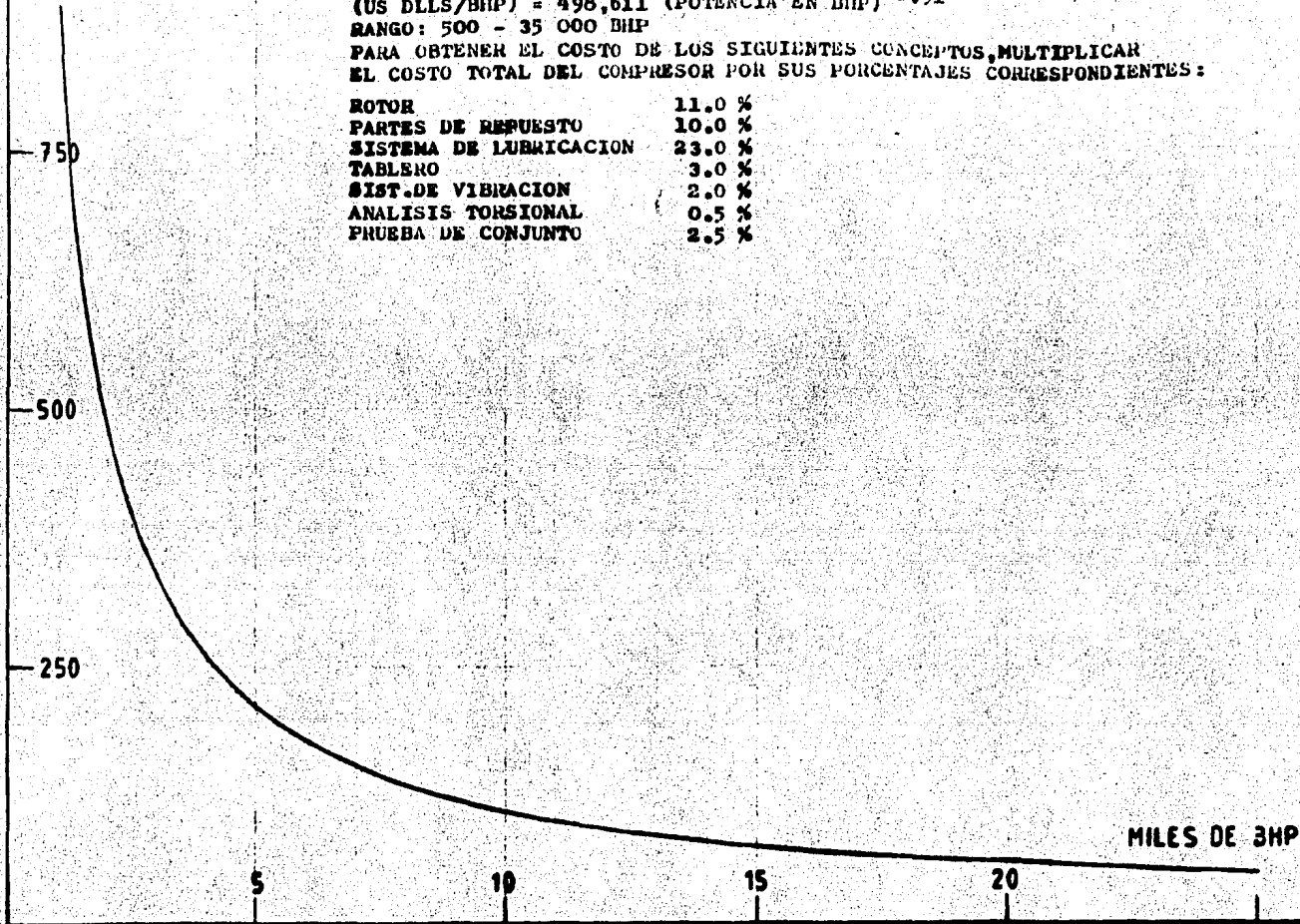
**COMPRESORES CENTRIFUGOS.**

(US DLLS/BHP) = 498,611 (POTENCIA EN BHP)<sup>-0.91</sup>

RANGO: 500 - 35 000 BHP

PARA OBTENER EL COSTO DE LOS SIGUIENTES CONCEPTOS, MULTIPLICAR EL COSTO TOTAL DEL COMPRESOR POR SUS PORCENTAJES CORRESPONDIENTES:

ROTOR	11.0 %
PARTES DE REPUESTO	10.0 %
SISTEMA DE LUBRICACION	23.0 %
TABLERO	3.0 %
SIST.DE VIBRACION	2.0 %
ANALISIS TORSIONAL	0.5 %
PRUEBA DE CONJUNTO	2.5 %



GRAFICA 7

COSTO  
US Dlls/HP

TURBINAS DE VAPOR TIPO CONDENSACION  
(US Dlls/HP) = 216,597 (POTENCIA)<sup>-0.82</sup>  
RANGO: 500 - 15,000 HP

PARA OBTENER EL COSTO DE LOS SIGUIENTES CONCEPTOS,  
MULTIPLICAR EL COSTO TOTAL DEL COMPRESOR POR SUS  
PORCENTAJES CORRESPONDIENTES.

CONDENSADOR/SIST. VACIO	23.57 %
ROTOR	17.87 %
PARTES DE REPUESTO	9.50 %
SISTEMA DE VIBRACION	0.85 %
TABLERO	1.18 %

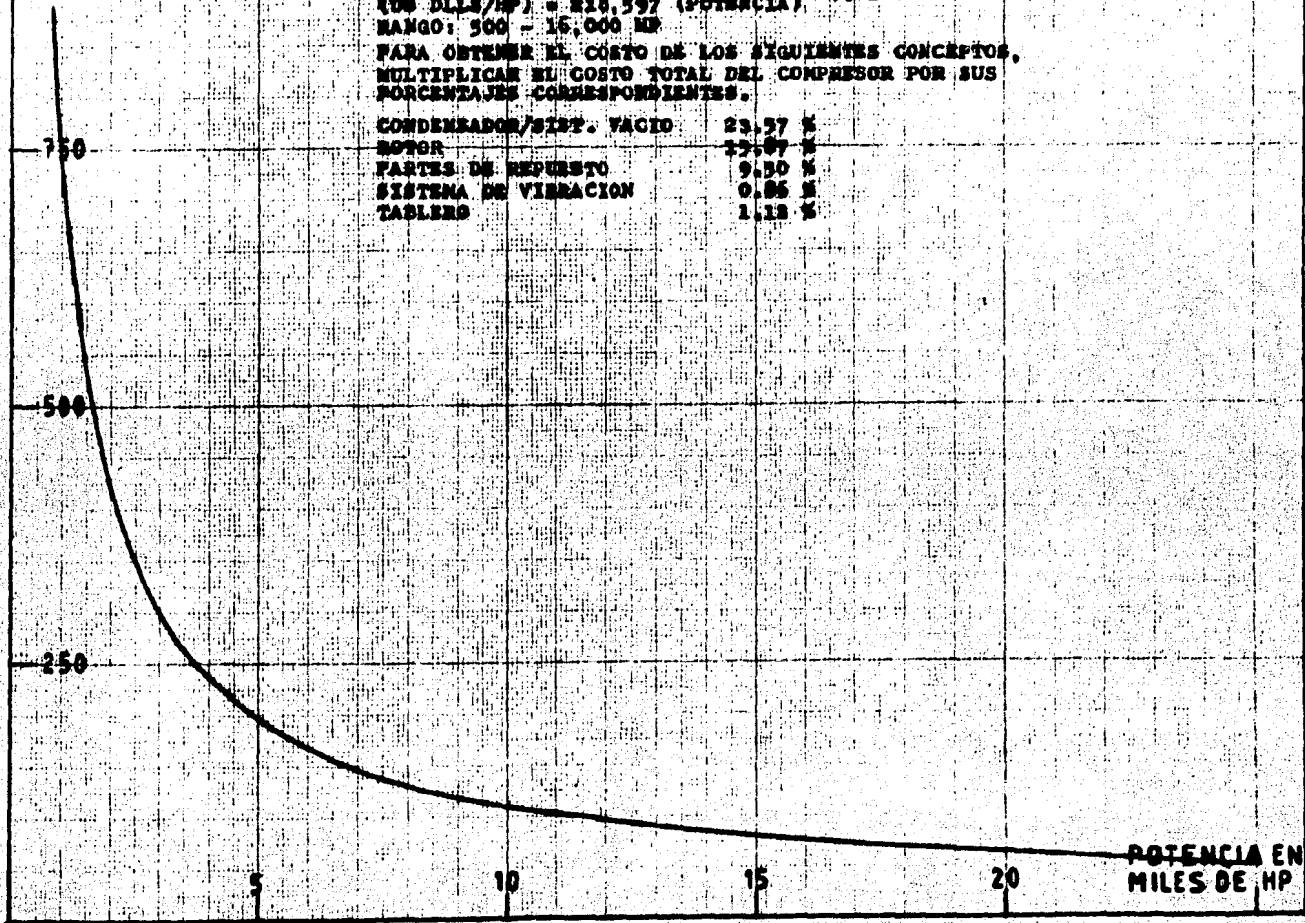


TABLA No. 4.31 CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS ESTIMADOS Y REALES PARA EQUIPO DE PROCESO.

EQUIPO INTERNO DE TORRE DA-1101	ESTIMADO MAGNITUD > + 30 %	ESTIMADO MAGNITUD ± 30 %	ESTIMADO PRELIMINAR ± 20 %	COSTO ESTIMADO ± 10 %	PROVEEDORES INVITADOS					
					KOCH ENG.	NUTTER ENG.	GLITC SH MONT.	GLITC SH INC.	NORTON INC.	YORK EXPORT
PLATOS FRACCIONADORES			13,682,709	7,913,442	8,357,600	7,182,497	9,906,399	8,582,200		
ELIMINADOR DE NIEBLA			967,242	1,363,663	1,357,523		8,836,950		2,623,673	1,305,310
EMPAQUE Y ACCESORIOS			26,343,373	26,343,373			41,806,933		30,294,879	32,506,674
ENTREGA					12 SEMANAS	9 SEMANAS	16 SEMANAS	12 SEMANAS	8 SEMANAS	8 SEMANAS
L. A. B.					HOUSTON, TEX.	TULSA, OKLAHOMA	MONTERREY, N.L.	LAREDO, TEX.	HOUSTON, TEX.	LAREDO, TEX.
PAGO					30 DIAS NETO	30 DIAS NETO	50% CON C.I. 50% DE ENTREGA	30 DIAS NETO	30 DIAS NETO	30 DIAS NETO
PROVEEDOR SELECCIONADO						PLATOS, CUMPLE TECNICAMENTE. OFRECE MEJOR PRECIO Y MENOR TIEMPO DE EN- TREGA.			MALLA, EMPAQUE Y ACCESORIOS. CUMPLE TECNICA- MENTE. OFRECE MEJOR PRECIO TOTAL Y MENOR TIEMPO DE ENTREGA.	
NOTAS:										
					METALVER	MEKANO, S.A.	SWECOMEX	ECOLOGIA	LA SIERRITA	
EA-1101	1,328,399	1,566,689	2,354,994	3,858,938	3,323,809	4,144,612	3,564,569	4,058,638	4,409,764	
ENTREGA					48 SEMANAS	50 SEMANAS	35 SEMANAS	30 - 32 SEM	36 SEMANAS	
L. A. B.					TAJERIA, VER.	SN. NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.	GUADALAJARA, JAL.	TLALNEPANTLA, EDO. DE MEX.	CD. FRONTERA, COAHUILA.	
CONDICIONES DE PAGO					15, 35 Y 50%	15, 35 Y 50 %	NETO 90 DIAS	15,35 Y 50%	15,35 Y 50%	
PROVEEDOR SELECCIONADO							CUMPLE TECNICA- MENTE, COSTO Y TIEMPO DE ENTRE- BA ACCEPTABLE.			



TABLA No. 4.31 CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS ESTIMADOS Y REALES PARA EQUIPO DE PROCESO (CONTINUACION)

EQUIPO	ESTIMADO MAGNITUD $\geq \pm 30\%$	ESTIMADO MAGNITUD $\pm 30\%$	ESTIMADO PRELIMINAR $\pm 20\%$	COSTO ESTIMADO $\pm 10\%$	PROVEEDORES INVITADOS					
					BYRON JACKSON	PACIFIC P.	UNITED P.	POMPES G.		
GA-1101	33,129,463	8,985,393	14,189,976	25,211,632	29,907,046	42,264,780	28,176,520	22,186,236		
ENTREGA					44 SEMANAS	52 SEMANAS	42 SEMANAS	36 SEMANAS		
L.A.B.					STA. CLARA EDO. MEX.	HUNTINGTON PARK CA.	SAN JOSE, CAL.	MARSELLA		
CONDICIONES DE PAGO.					90 DIAS	15,35 Y 50 %	30 DIAS	90 DIAS		
PROVEEDOR SELECCIONADO								CUMPLE TECNICAMENTE, OFRECE EL MEJOR COSTO Y EL MENOR TIEMPO DE ENTREGA.		
NOTA:										
					DELAVAL	NUOVO PIGNONE	FRANCO TOSI	ELLIOT	HANESMANN DEMAG.	CREUSOT LOIRE.
GB-1101	618,840,395	589,877,929	575,550,394	568,520,553	840,291,136	551,292,768	452,683,050	582,182,383	511,455,152	463,100,684
ENTREGA					14 MESES	14 - 16 MESES	14 - 16 MESES	14 - 16 MESES	14 - 16 MESES	14 MESES
L.A.B.					TRENTON A. JERSEY					
CONDICIONES DE PAGO					30 DIAS CON DOCUMENTOS DE EMBARQUE.	100% CON DOCUMENTOS DE EMBARQUE.	60 DIAS CON DOCUMENTOS DE EMBARQUE.	25% CON PEDIDO, 75% CON DOC. DE EMBARQUE.	30 DIAS CON DOCUMENTOS DE EMBARQUE.	10% CON PEDIDO, 10% CON DINERO JUNTO, LA POTENCIA DE TURBINA NO CUBRE LA DEL COMPRESOR.
PROVEEDOR SELECCIONADO								CUMPLE TECNICAMENTE COSTOS Y TIEMPO DE ENTREGA ACEPTABLE.		
NOTAS:					INSTRUMENTACION INCOMPLETA, NO PROPORCIONA SENSOR DE FASE.	NO CUMPLE CON EL 10% DE SOBREPONER DISEÑO INST. INC.	INST. INCOMPLETA, NO PROPORCIONA SENSOR DE FASE.	INST. INCOMPLETA NO PROPORCIONA SENSOR DE FASE.	NO ESPECIFICA No. DE SENSOSES.	INST. INCOMPLETA NO COTIZA PRUEBA DE CONJUNTO, LA POTENCIA DE TURBINA NO CUBRE LA DEL COMPRESOR.

## C O N C L U S I O N E S

El rango de aproximación para un estimado de costo, depende de la -- cantidad y calidad de la información de que se dispone, para la realización del mismo. Aunque existe una homogeneidad de criterios en cuanto a los diferentes tipos de estimados y sus rangos de aproximación, cada grupo de especialistas en costos, puede definir los tipos de estimados según considere conveniente, así como determinar en base a la información disponible, los -- rangos de aproximación de los mismos.

Con el objeto de disponer de una fuente de datos abundante y confia-- ble, es necesario llevar un control de costos el cual permita clasificar -- la información para de esta manera poder hacer uso de la misma de una forma rápida y ordenada.

De acuerdo a lo expuesto en los capítulos anteriores se hace notoria la necesidad que tiene en algunos casos, el ingeniero de costos de conocer el equipo a estimar, así como poder calcular en un momento dado, los pará-- metros necesarios para la evaluación del costo del mismo; por lo que se recomienda el uso de manuales y procedimientos, mediante los cuales sea posi-- ble obtener o calcular de una manera rápida y confiable los datos técnicos mínimos necesarios para la realización del estimado de costo.

El presente trabajo proporciona al ingeniero de costos la información necesaria para la evaluación del costo de equipo de proceso, mediante correlaciones, costos unitarios y factores por tipo de equipo y materiales, sirviendo como manual o guía principalmente a aquellas personas encargadas de realizar estimados de costos de equipo, ya sea para efectuar un estimado de inversión o para la adquisición de equipo. El equipo tratado en este trabajo, es aquel que resulta más crítico al elaborar un estimado de inversión para una Planta de Refinación o Petroquímica. Se considera que el encargado de realizar el estimado de costo total de una planta, conoce ya los diferentes métodos para la evaluación del mismo.

Las principales limitaciones que presenta este trabajo son las siguientes :

- Considera solamente el equipo de proceso para plantas de refinación y petroquímica, no considera equipo de manejo de sólidos, servicios auxiliares y almacenamiento.
- Aunque las ecuaciones de costo no tienen un gran número de términos y el cálculo para el predimensionamiento de los equipos son mediante métodos cortos, el efectuar el estimado de costo para un número considerable de equipos requiere un tiempo relativamente grande.

En base a lo anterior lo que se recomienda a fin de mejorar el método expuesto es lo siguiente:

- Mecanizar la agrupación de los equipos en familias con características similares, creando archivos los cuales contengan los principales parámetros de costo a fin de reducir el trabajo y el tiempo en la clasificación, ordenado y escalación de los costos unitarios para la elaboración de las correlaciones de costo.
  
- Mecanizar el estimado de costo de equipo mediante programas que -- evalúen tanto las características técnicas como económicas de una manera más rápida y precisa. Esto se puede llevar a cabo con la - información contenida en este trabajo.



B I B L I O G R A F I A

- 1.- Process Plant Estimating Standars, The Richardson Rapid Sistem, ---  
U.S.A. (1984).
- 2.- P. Rehrig, Selectin Centrifugal Compressor Materials For Harsh ----  
Environments, Hidrocarbon Processing, U.S.A., October (1981), Pag. -  
137-139.
- 3.- Rase y Barrow, Ingenieria de Proyectos para Plantas de Proceso, Ed.  
C.E.C.S.A., México, D.F.; (1973), pag. 64-427.
- 4.- Spiegel Murray R., Estadfstica, Ed. Mc. Graw-Hill, México, D.F.; --  
(1970), 217-2169.
- 5.- Donald Q. Karen, Procesos de Transferencia de Calor, Ed. C.E.C.S.A.,  
México, D.F.; (1978), pag. 159-997.
- 6.- Flow Of Fluid, Crane Co., U.S.A., (1969), pag. B9 - B11.
- 7.- Robert H. Perry and Cecil H. Chilton, Chemical Engineers' Handbook,  
Ed. Mc. Graw-Hill, U.S.A., 5a. edición, pag. 1037-1043.
- 8.- Chemical Engineering Progress, Vol. 59. No. 5, pag. 80.

- 9.- Bartomeu Sigales, Cambiadores de Calor de Envolvente y Tubos: su Diseño Mecánico, Ingeniería Química, México, D.F.; Enero (1978), pag. 105-113.
- 10.- Standards Of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Sección 1, 3, 8.
- 11.- Puroghit, G.P. Estimating Costs Of Shell-and-Tube Heat Exchangers, Chemical Engineering, Aug. 22, (1983), pag. 56-67.
- 12.- Normas para Proyectos de Obras, Bombas Centrífugas, Norma 2.614.11, PEMEX, (1974).
- 13.- Instituto Mexicano del Petróleo, Especificaciones Generales para - Motores Eléctricos, Especificación No. 202, Marzo (1974), pag. 5.
- 14.- United Technologies Elliot, Elliot Multistage Centrifugal ----- Compressors, Bulletin P-25B.
- 15.- Elliot Compressors Refresher, U.S.A., Sección, 4-66.
- 16.- Norton Chemical Process Products, Packed Tower Internals, U.S.A., - Bulletin TA-80R.
- 17.- M. Lucini, Turbomáquinas de Vapor y de Gas, su Cálculo y Construcción, Ed. Dossat S.A., Madrid 4a. Edición, (1978).

- 18.- Creusot-Loire, Compresores Centrífugos.
- 19.- Antonio Mulet y colaboradores, Estimate Costs Of Pressure Vessels Via Correlations, Chemical Engineering, October 5, (1981), pag. - 145-150.
- 20.- Ing. Juan Manuel Juárez L., Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión, Instituto Mexicano del Petróleo (1982).
- 21.- Alan S. Foust y colaboradores, Principales Of Unit Operations, -- John Wiley and Sons, Inc. U.S.A., (1960), pag. 223-447.