



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"CUAUTITLAN"

**DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR
DE CALOR DE TUBOS Y CORAZA
PARA LABORATORIO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A
G I S E L A M O N T E R O A L P I R E Z

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.

1985

DIRECTOR DE LA TESIS: ING. HECTOR CAMPBELL RAMIREZ



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

		Pág.
	INTRODUCCION	1
	OBJETIVOS	4
I	CONTENIDO	5
II	FUNDAMENTOS TEORICOS	9
II.1	Mecanismos de Transferencia de calor	9
II.2	Evaluación del coeficiente de película	16
II.3	Breve descripción de las partes del Intercambiador de calor	20
III	DISCUSION DE LAS BASES DE DISEÑO	30
IV	BASES DE DISEÑO	34
V	DISEÑO TERMICO	42
V.a	Fluido sin cambio de fase	42
V.b	Fluido con cambio de fase	47
V.c	Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor	54
V.d	Evaluación de la caída de presión para el lado tubos	56
V.e	Evaluación de la caída de presión para el lado coraza	59
A.V	Memoria de cálculo del Capítulo V	63
VI	DISEÑO MECANICO	83
VI.a	Cálculo del espesor de la envolvente por presión interna	83

	Pág.
VI.a.a Cálculo del espesor de los tubos por presión Interna	85
VI.b Cálculo del espesor de la coraza por presión externa	87
VI.b.b Cálculo del espesor de los tubos por presión externa	89
VI.c Diseño mecánico de bridas	92
VI.d Dimensionamiento de la caja de empaques y el prensaestopas	110
VI.e Dimensionamiento de la plantilla de círculos	112
VI.f Espesor del espejo estacionario del Cabezal A	115
VI.g Espesor del espejo del cabezal flotante P	119
VI.h Dimensionamiento del anillo dividido del Cabezal P	122
VI.i Espesor de la brida del Cabezal P	124
VI.j Espesor de las tapas	126
VI.k Cálculo y selección del diámetro de las boquillas de entrada de vapor	130
A.VI Memoria de cálculo del Capítulo VI	134
VII DIMENSIONAMIENTO	177
VII.a Dimensionamiento del Cabezal de entrada	177
VII.b Dimensionamiento de la envolvente	183

	Pág.
VII.c Dimensionamiento del cabezal flotante	193
A.VII Memoria de cálculo del Capítulo VII	197
VIII DIAGRAMAS	212
VIII.1 Diagrama de tubería e Instrumentos	212
VIII.2 Diagrama isométrico	213
VIII.3 Diagrama de flujo	214
IX LISTAS DE ACCESORIOS E INSTRUMENTOS	215
IX.1 Lista de Accesorios	215
IX.2 Lista de instrumentos y equipo auxiliar	218
X EVALUACION ECONOMICA	220
X.1 Costo del intercambiador de calor	220
X.2 Costo de accesorios	222
X.3 Costo de Instrumentos y equipo auxiliar	224
X.4 Costo total del equipo	225
XI SECUENCIA DE ARRANQUE, PARO Y OPERACION	227
XII EJEMPLO DE UN PROYECTO EXPERIMENTAL	230
XIII CONCLUSIONES	259
XIV BIBLIOGRAFIA	263

I N T R O D U C C I O N

Durante la etapa de formación del Ingeniero Químico, el estudio de los procesos que involucran Transferencia de Calor, constituye una fase básica. La vinculación entre los conocimientos relacionados con ellos y el estudiante, se logra mediante dos vías:

- 1) La teórica, en la que se asimilan las bases necesarias para comprender y resolver los problemas relativos a la transferencia de calor , y
- 2) La práctica, donde el estudiante, sirviéndose de la parte anterior, es capaz de simular, experimentalmente hablando, cualesquiera de los fenómenos mencionados, empleando para ello equipo diseñado especialmente para facilitar su desarrollo.

El alcance de este trabajo es efectuar el diseño térmico y mecánico de un equipo de intercambio de calor que ofrezca múltiples opciones de operación, de tal modo que el estudiante tenga a su alcance, la comprobación experimental de los efectos provocados al variar los parámetros que rigen el comportamiento de las operaciones de transmisión de calor.

El sistema aquí diseñado, tiene la finalidad de formar parte del material didáctico del laboratorio, por lo cual el desarrollo de este trabajo está basado en las condiciones existentes en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM.

La simulación experimental de los fenómenos estudiados puede efectuarse siguiendo una descripción previamente establecida y que de hecho propiciará mayor rapidez en el desarrollo del experimento a cambio de deficiencia en la adquisición de conocimientos como consecuencia de la mecanización del procedimiento.

Esta deficiencia en la búsqueda y logro de conocimientos afecta gradualmente la formación del universitario, haciendo que se ajuste a patrones pre-establecidos en lugar de ejercitar su creatividad e ingenio que deben caracterizarlo en su vida como profesional.

Por otro lado, el modelo planteado por el método científico quizá se lleve a la práctica para la obtención de conocimientos a través de la experimentación, pero tal empleo será oscuro porque todo paso del mismo se obtendrá mecánicamente a raíz de que la información requerida, se proporciona completamente, eliminando, de hecho, todo interés por parte del estudiante para investigar sobre el fenómeno analizado.

El desarrollo del presente trabajo tiene como objetivo proponer el diseño de un equipo que, por su estructura, erradique en su mayoría las limitaciones contenidas en la experimentación tradicional.

Tales limitaciones se abocan, generalmente, a la incapacidad del equipo para ser útil bajo diferentes condiciones a las que usualmente trabaja y/o al proceso enseñanza-aprendizaje involucrado.

Por ejemplo, la transferencia de calor implica en su estudio, la comprensión de los efectos que provoca sobre la misma, el número de pasos de cada lado del intercambiador de calor o la rotación de los flúidos que circulan a través del mismo. Estos estudios deberán efectuarse en un sistema operativamente versátil, capaz de modificarse estructuralmente para adecuarse a las necesidades experimentales que el estudio de la transferencia de calor requiera.

Las posibilidades de combinación del equipo AEP aquí diseñado son:

Sentido de los flúidos: Contracorriente o Paralelo

Lado	Número de Pasos
a) coraza	1
tubos	2
b) coraza	1
tubos	4

Independientemente del carácter estructural del equipo, el proceso enseñanza-aprendizaje empleado constituye una parte medular en el logro de conocimientos. Al final de esta tesis se ejemplifica el proceso empleado actualmente en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y que se conoce como Proyecto Experimental.

Así, la intención de este trabajo es plantear un equipo que junto con el desarrollo de Proyectos Experimentales sirva de apoyo a la experimentación.

OBJETIVOS

Este trabajo ha sido realizado con el fin de proporcionar el diseño de un equipo de transferencia de calor que, por su estructura, permita que los alumnos de manera práctica, reconozcan cada una de las partes que constituyen un intercambiador de calor, dado que sus características hacen posible que pueda ser desarmado casi completamente.

Es necesario comentar que el valor de masa de vapor saturado es elevado en relación con las capacidades de los generadores que se encontraron funcionando actualmente en el laboratorio, por ello su operación a las condiciones que se emplearon aquí para diseñarlo originaría escasez, propiamente hablando, de flujo de vapor, por ello se recomienda su empleo a flujos menores que de ninguna manera van a dañar el equipo.

Dentro de la parte de Diseño Mecánico de este sistema se tiene que para la especificación de las bridas pudo elegirse la opción de seleccionarlas de inmediato a partir de valores estándar. La razón por la que se optó por el diseño se debe a que se pretende que, de alguna manera, este trabajo sirva como guía, aunque sea mínima, para quien en nuestra Facultad se inicia en el Diseño Mecánico de estos componentes.

CONTENIDO

Fundamentos teóricos

Planteamiento escueto de las ecuaciones involucradas en el diseño térmico de los intercambiadores de calor.

Breve descripción de las partes del intercambiador de calor.

Se explica de manera sencilla la función y forma de cada una de las partes componentes del equipo diseñado, empleando figuras que hacen mejor la comprensión de lo expuesto.

Discusión de las bases de diseño.

Se exponen, de manera simplificada, las razones bajo las cuales se eligieron las bases de diseño.

Bases de diseño.

Este capítulo contiene la información suficiente y necesaria para el diseño termodinámico del intercambiador, dando además las limitaciones y recomendaciones para la elección y/o cálculo mecánico de los elementos que conforman el equipo.

Diseño térmico.

Paso a paso se desarrolla el cálculo térmico del equipo, dando un esquema general de diseño mediante las ecuaciones planteadas.

Se anexa una memoria de cálculo que se comprende fácilmente mediante el esquema anteriormente expuesto.

Diseño mecánico.

Contiene una estructura similar al capítulo anterior, primero se generaliza el diseño mecánico de este tipo de intercambiadores y posteriormente se realiza el cálculo con los valores manejados en nuestro caso específico.

Dimensionamiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diseños térmico y mecánico se dimensionan detalladamente, el cabezal de entrada, la envolvente y el cabezal de retorno. Asimismo, se reúne la información en figuras dimensionadas de cada sección.

Diagramas.

Diagrama de tubería e instrumentos.- Es un esquema del sistema, indicando líneas de alimentación, instrumentos, accesorios y partes necesarias para el montaje del intercambiador de calor.

Diagrama isométrico.- Representa el sistema con las características

similares a las contenidas en el diagrama anterior, pero en isométrico, para ubicar físicamente las posiciones de cada línea accesorio e instrumento del sistema.

Diagrama de flujo.- Gráficamente se indican las posibilidades bajo las cuales puede trabajar el equipo.

Lista de accesorios e instrumentos.

Lista de accesorios.- Se totalizan las necesidades de codos, niples, tubería, reducciones, etc., de acuerdo al diagrama de tubería e instrumentos.

Lista de instrumentos y equipo auxiliar.- Contiene descripción y cantidad cada uno de los instrumentos requeridos para la operación del sistema.

Evaluación económica.

Costo del intercambiador de calor.- De manera sencilla y empleando ecuaciones recientemente publicadas, se calcula el costo del intercambiador de calor (Ref. 1.1).

Costo de accesorios.- Esta tabla contiene descripción simplificada, cantidad, costo unitario y costo por partidas de accesorios, así como el costo total de los mismos.

Costo de instrumentos y equipo auxiliar.- Tabla que de manera simi-

lar, contiene descripción, cantidad, costo unitario y costo por partidas de instrumentos.

Secuencia de arranque, paro y operación

Plantea la secuencia para prueba, arranque y puesta en operación del sistema diseñado, dando a cada accesorio e instrumento la identificación estipulada en el diagrama de tubería-instrumentos del Capítulo VIII.

Ejemplo de un proyecto experimental.

Se desarrolla de manera sencilla la metodología empleada para llevar a cabo un proyecto experimental.

Conclusiones.

Resumen de puntos que resultó de interés comentar como efecto de este trabajo de tesis.

11. FUNDAMENTOS TEORICOS.

11.1 Mecanismos de transferencia de calor

Se ha definido el calor como la energía transferida debido a una diferencia de temperaturas. Esta transferencia se efectúa por medio de los siguientes mecanismos que se presentan en forma individual o combinada:

a) Conducción.

Es el calor transferido entre dos partes de un cuerpo o entre dos cuerpos, en contacto físico, a diferentes temperaturas.

Se ha encontrado que el flujo de calor a través de un sólido plano, homogéneo e isotrópico es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre las superficies e inversamente proporcional a su espesor. Lo anterior puede escribirse como:

$$\frac{Q}{A} \propto \frac{T_1 - T_2}{X_0 - X_1} \quad (1)$$

donde la constante de proporcionalidad es la conductividad térmica, por lo que

$$\frac{Q}{A} = k \frac{T_1 - T_0}{X_0 - X_1} \quad (2)$$

donde Q = calor transferido, (Btu/hr)

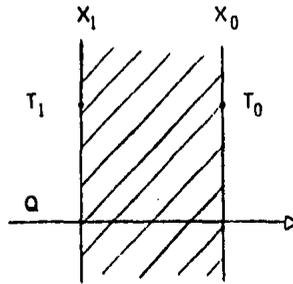
A = área de transferencia, (ft²)

T₁ - T₀ = diferencia de temperatura, (°F)

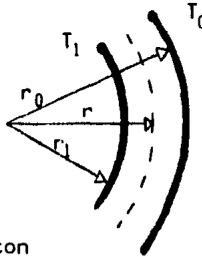
X₀ - X₁ = espesor de la pared, (ft)

k = conductividad térmica, (Btu/hr-ft-°F)

a continuación se da el diagrama de una pared plana conductora de calor



Para el flujo de calor a través de una pared cilíndrica como la que se muestra a continuación



Puede tomarse la semejanza con

$$X_0 - X_1 = r_0 - r_1 = \Delta r$$

$$T_1 - T_0 = \Delta t$$

dado que conforme el radio se incrementa se tiene menor temperatura, y tomando gradientes, se puede escribir en forma diferencial como:

$$\frac{Q}{A} = -k \frac{dt}{dr} \quad (3)$$

Si $A = 2\pi rL$, se tiene entonces

$$\frac{Q}{2\pi rL} = -k \frac{dt}{dr} \quad (4)$$

$$\frac{-Q}{2\pi Lk} \int_{r_1}^{r_0} \frac{dr}{r} = \int_{T_1}^{T_0} dt \quad (5)$$

$$\frac{-Q}{2\pi Lk} \ln \frac{r_0}{r_1} = T_0 - T_1$$

$$Q = 2\pi Lk \frac{T_1 - T_0}{\ln \frac{r_0}{r_1}} \quad (6)$$

donde $\frac{\ln \left(\frac{r_0}{r_1} \right)}{2\pi Lk} = \text{resistencia} \quad (7)$

$(T_1 - T_0) = \text{fuerza impulsora}$

Si se define $A_m = \frac{A_0 - A_1}{\ln \frac{A_0}{A_1}} \quad (8)$

donde $A = \text{área total de transferencia, (ft}^2\text{/ft)}$

Haciendo semejanza con $A = 2\pi rL$

$$A_m = \frac{2\pi L (r_0 - r_1)}{\ln \left(\frac{r_0}{r_1} \right)} \quad (9)$$

$$\frac{2\pi L}{\ln \left(\frac{r_0}{r_1} \right)} = \frac{A_m}{r_0 - r_1} \quad (10)$$

Sustituyendo (10) en (7)

$$\text{resistencia} = \frac{r_0 - r_1}{Amk} = \frac{\text{espesor}}{Amk} \quad (11)$$

b) Convección.

Transmisión de calor de un punto a otro de un fluido debido a la mezcla provocada por la diferencia de densidades o por factores externos como agitación o turbulencia de flujo.

Puede definirse el flujo de calor por convección, para un fluido que se desliza por una superficie de calentamiento como

$$\frac{Q}{A} \propto (T_f - T_s) \quad (12)$$

donde T_f y T_s representan las temperaturas de la pared y del fluido respectivamente. Definiendo una constante de proporcionalidad tenemos

$$\frac{Q}{A} = h (T_f - T_s) \quad (13)$$

donde h = coeficiente de película.

Tal coeficiente es función de la geometría y propiedades del sistema.

En este caso puede hacerse la siguiente similitud

$$T_f - T_s = \text{Fuerza impulsora}$$

$$\frac{1}{hA} = \text{Resistencia} \quad (14)$$

c) Radiación.

Es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo en virtud de su temperatura.

De acuerdo a la Ley de Steffan Boltzman, puede expresarse como:

$$Q = A \sigma \epsilon (T_1^4 - T_2^4) \quad (15)$$

donde ϵ = emisividad

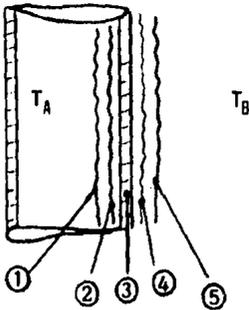
σ = constante de la Ley de Steffan Boltzman

$\sigma = 0.173 \times 10^{-8}$ (Btu/hr-ft²-°R)

A = Area de transferencia, (ft²)

T = Temperatura del emisor o receptor, (°R)

Es común que estos mecanismos mencionados se presenten, no de manera individual, sino combinada; cuando se presenta tal caso es útil hablar de un coeficiente global de transferencia de calor. Sean fluidos y sólidos como se muestra enseguida



donde 1 = película del fluido A

2 = incrustación provocada por el fluido A.

3 = espesor de la pared del tubo.

4 = incrustación provocada por el fluido B.

5 = película del fluido B.

Todos los puntos mencionados se traducen en resistencias que operan en serie.

Anteriormente se mencionó que el transporte de calor a través de las películas es de tipo convectivo, su evaluación se mencionará posteriormente.

En el caso de incrustación se está hablando de un proceso, predominantemente conductivo, aunque para fines prácticos se dan valores típicos para las resistencias que tal incrustación provoca en función del tiempo de operación; tales valores son conocidos generalmente como factores de ensuciamiento o de incrustación.

Conductivo también es el proceso de transmisión de calor a través de la pared del tubo; y su manejo ya se ha explicado anteriormente.

Para el caso del tubo anterior y en base a las ecuaciones ya mencionadas, puede establecerse:

$$Q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_i}{A_i} + \frac{e}{k A_m} + \frac{R_o}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad (16)$$

Tomando una área de referencia, A_o

$$Q = \frac{A_o (T_A - T_B)}{\frac{A_o}{h_i A_i} + \frac{R_i A_o}{A_i} + \frac{e A_o}{k A_m} + R_o + \frac{1}{h_o}} \quad (17)$$

donde los subíndices i , o indican interior y exterior respectivamente.

Así entonces puede representarse la ecuación (17) como:

$$Q = U A_o (T_A - T_B) \quad (18)$$

donde U se define como el coeficiente global de transferencia de calor referido al área externa del tubo.

11.2 Evaluación del Coeficiente de Película

En el presente trabajo los coeficientes de película manejados corresponden a un fluido sin cambio de fase y a otro que experimenta tal cambio.

El modelo que emplearemos para predecir el valor del coeficiente de película del primer fluido mencionado, es el planteado por Colburn:

$$\frac{h_o D_e}{k} = 0.027 \left(\frac{DG_s}{\mu} \right)^{0.8} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (19)$$

Esta ecuación es útil para evaluar coeficientes de película de fluidos sin cambio de fase que varían entre valores de Reynolds desde 2100 en adelante.

Para nuestro problema en particular, tal coeficiente se evalúa empleando una gráfica (Figura 5), que da los valores de los coeficientes de película para agua en función de su masa velocidad (lb/hr-ft^2) y temperatura promedio.

En el caso del fluido que viaja por la coraza, se está hablando de lo que se conoce como condensación, es decir, el cambio de fase que sufre un vapor al pasar al estado líquido. Tal cambio puede darse en forma de gota o de película.

Un vapor puro saturado que entra en contacto con un tubo a una temperatura menor, se condensa y forma gotitas en la superficie de éste, de tal modo que las gotitas pueden, por falta de afinidad

con la superficie del tubo, desprenderse de él en lugar de cubrirlo, dejando así el metal al descubierto. En esta superficie libre pueden formarse sucesivas gotitas de condensado; se está hablando entonces, de condensación en forma de gota. Sin embargo, es común que aparezca una película que irá cubriendo el tubo a medida que el vapor se condensa; a este fenómeno se le denomina condensación en forma de película.

Dada la dificultad para efectuar y controlar la condensación en forma de gota, la mayoría de los procesos de condensación se efectúan en forma de película.

En la condensación por película, la diferencia de presiones de saturación que se establece entre el vapor y el condensado en contacto con la superficie fría, proporciona la fuerza impulsora necesaria para dar mayor velocidad al cambio de fase.

Nusselt y McAdams propusieron, en a base a investigaciones las siguientes ecuaciones para describir el comportamiento de la condensación por fuera de bancos de tubos horizontales:

$$h_o \left(\frac{\mu_f^2}{k_f^3 \rho_f g} \right)^{1/3} = 1.5 \left(\frac{4G''}{\mu_f} \right)^{-1/3}$$

$$\text{donde } G'' = \frac{W}{L N t^{2/3}}$$

G'' = carga de condensado, (lb/hr-ft)

g = aceleración de la gravedad, (ft/hr^2)

h_o = coeficiente de la película condensante, ($\text{Btu}/\text{hr-ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$)

k_f = conductividad térmica de la película de condensado, ($\text{Btu}/\text{hr-ft-F}$)

μ_f = viscosidad de la película de condensado, ($\text{lb}/\text{hr-ft}$)

ρ_f = densidad de la película de condensado, (lb/ft^3)

Estas ecuaciones contemplan los siguientes aspectos:

- a) La película de condensado se desplaza en régimen laminar a un número de Reynolds promedio de 1800 a 2100.
- b) La carga de condensado G'' para condensación por fuera de tubos horizontales está corregida por el término $Ni^{2/3}$ debido a la disminución de área que se va presentando conforme los tubos superiores gotean sobre las hileras inferiores.
- c) El calor desprendido por el vapor es únicamente latente.
- d) El grueso de la película en cualquier punto es función de la velocidad media de flujo y de la cantidad de condensado que pasa por ese punto.
- e) La velocidad de las capas individuales de la película es una función de la relación entre las fuerzas de corte friccional y el peso de la película
- f) La cantidad de condensado es proporcional a la cantidad de calor transferido que a su vez está relacionado al espesor de la película

la y a la diferencia de temperatura entre el vapor y la superficie.

- g) La película de condensado es tan delgada que permite un gradiente lineal en la temperatura.
- h) Las propiedades se toman a la temperatura media de la película.
- i) Se supone que la superficie está relativamente lisa y limpia.
- j) La temperatura en la superficie del sólido es constante.

II.3 BREVE DESCRIPCION DE LAS PARTES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

CORAZA

Envolvente cilíndrica cuyo interior alberga un haz de tubos y en sus extremos se conecta a dos cabezales: uno de admisión o distribución y otro de retorno o salida.

El fluido que baña a los tubos entra a la coraza por medio de boquillas según el número de veces que el fluido recorre la envolvente.

La figura III.1 muestra la envolvente que se diseñará en este trabajo.

cabezal		cabezal
de		de
admisión		retorno
tipo "A"	envolvente	tipo "P"
	tipo "E"	

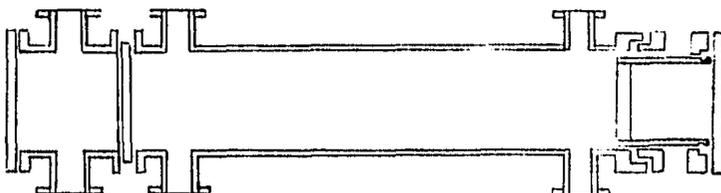


FIGURA III.1

Aun cuando la posición de las boquillas haga pensar en una envolvente tipo H, lo cierto es que se trata de un cuerpo tipo E, según la clasificación que hace TEMA (Tubular Exchanger Manufacturer Association), con opción para que el fluido de la coraza trabaje en una u otra dirección. En la figura III.2 se ilustran los posibles arreglos del equipo.

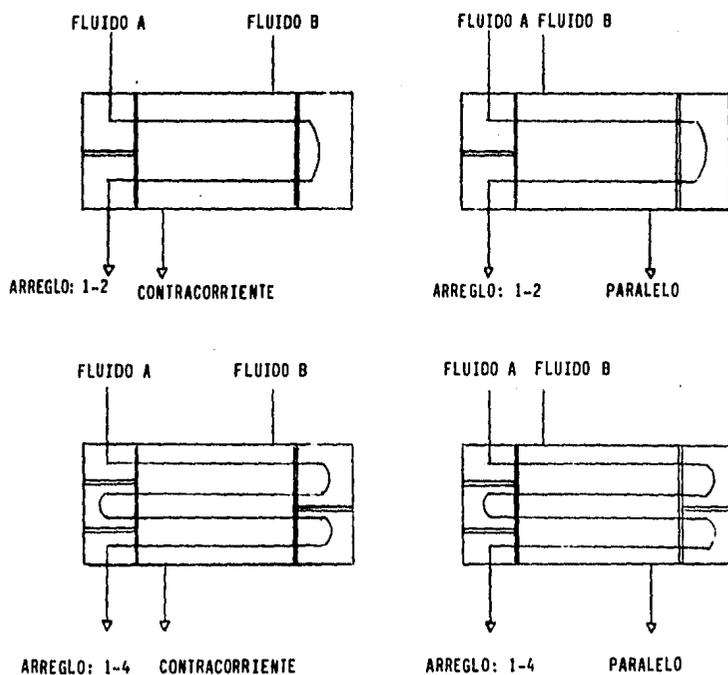
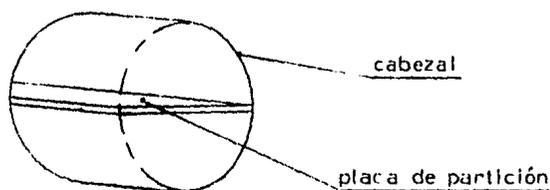


FIGURA III.2

PLACAS DE PARTICION

De forma plana, se emplean para clasificar la alimentación del fluido que circula por los tubos, de acuerdo al número de pasos deseado.

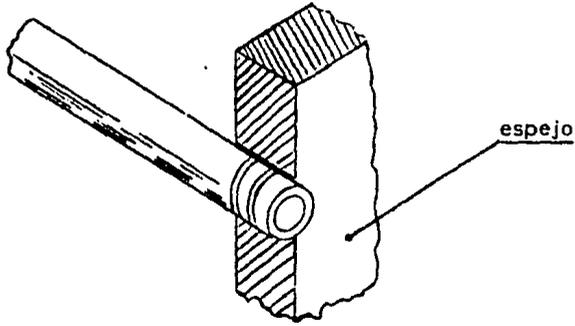


ESPEJOS

Se les denomina así a los elementos estructurales que van colocados en los extremos del banco de tubos y en los cuales van soportados los tubos de transferencia. Estos elementos evitan la mezcla y soportan las presiones ejercidas por ambos fluidos: el que viaja por la coraza y el que lo hace por los tubos.

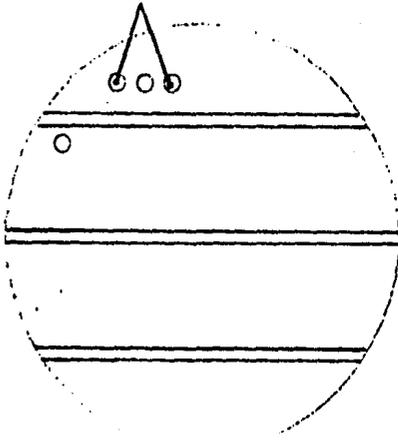
Para lograr una junta hermética entre tubo y espejo, se practican unas ranuras en éste, se inserta el tubo y posteriormente, se expande. En la figura III.3 se aprecian claramente las ranuras mencionadas. También se muestran los espejos con las secciones ranuradas para colocar las placas de partición según el número de pasos que se desean por tubos.

No debe olvidarse que los espejos estarán en contacto con un fluido diferente por cada uno de los lados, por lo que es importante una



a) tubo rolando

agujeros para
los tubos



b) vista frontal del espejo

ranuras para
placas de partición

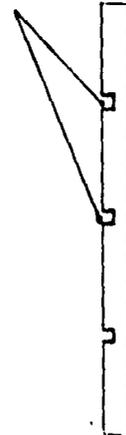
c) vista lateral del
espejo

FIGURA III.3 Espejo

adecuada selección del material.

MAMPARAS

Se sabe que en convección forzada, el valor del coeficiente de transferencia es una función directa del número de Reynolds; incrementarlo requiere el empleo de elementos transversales al flujo que provocan la turbulencia deseada.

Las mamparas, como se denominan tales elementos, evitan la flexión y vibración de los tubos. El tipo de mampara empleado, será de corte vertical.

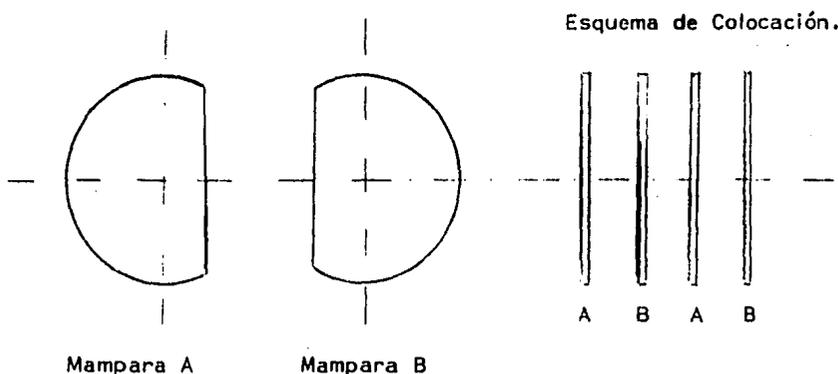


Figura III.4 Mampara de corte vertical.

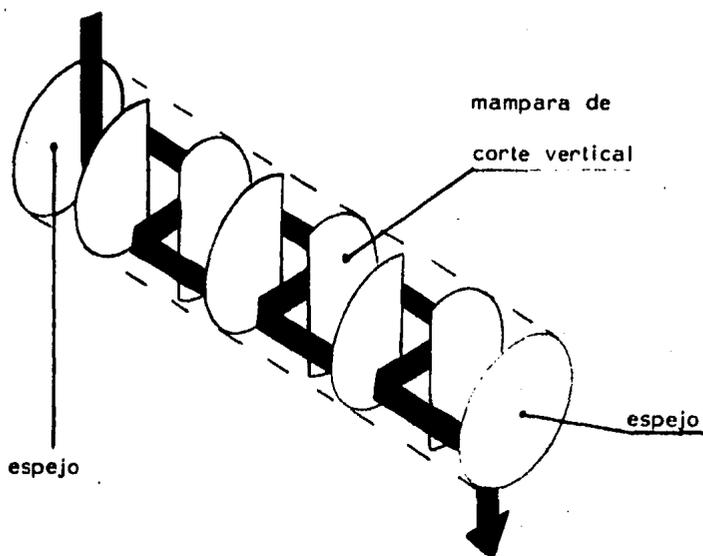


Figura III.5 Trayectoria de flujo en un equipo con mamparas de corte vertical.

El tipo de mamparas se eligió tratando de evitar la acumulación de condensado en la coraza.

VARILLAS TENSORAS Y ESPACIADORES

Para impedir el desplazamiento de las mamparas y dar mayor rigidez al equipo, se emplean las varillas tensoras y los separadores tal como se muestra en la figura III.6.

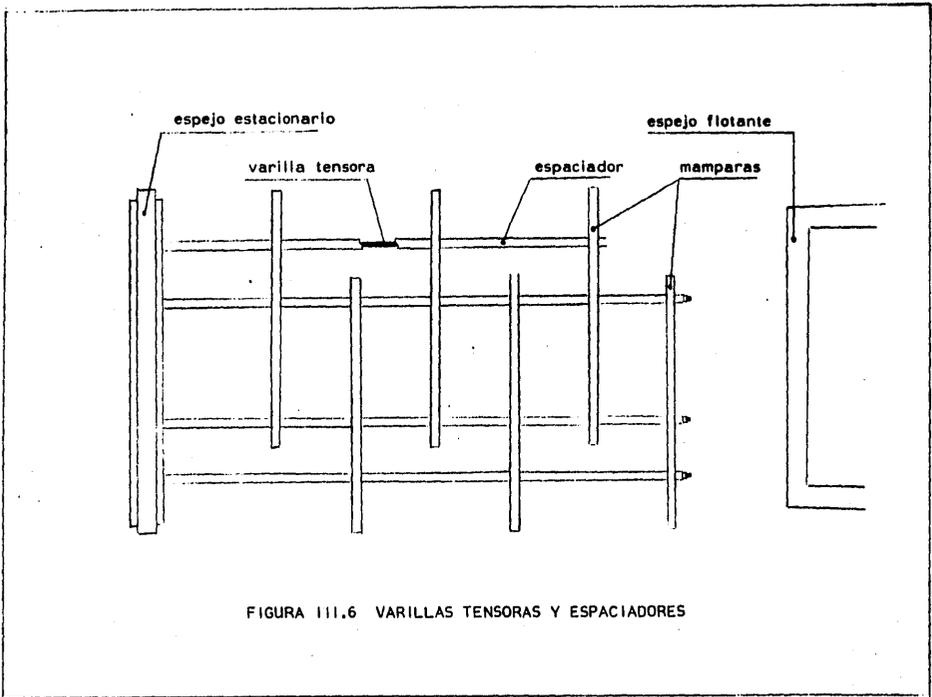


FIGURA III.6 VARILLAS TENSORAS Y ESPACIADORES

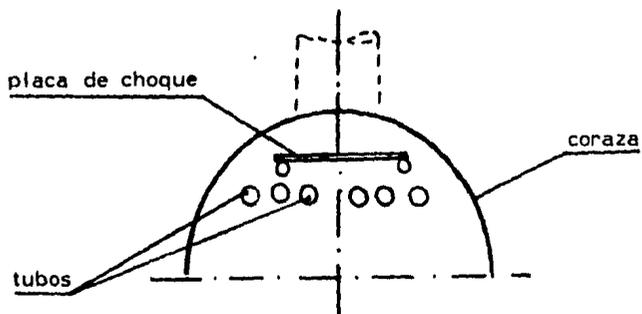
PLACA DE CHOQUE

El fluido que se maneja por la coraza entra a una velocidad y temperatura tales que daña los tubos que se encuentran localizados frente a las boquillas de alimentación, en ocasiones es posible reemplazarlos; lo más usual es colocar una placa frente a la boquilla, de tal manera que, cuando se alimente el fluido a la coraza, choque con ésta y pierda velocidad, evitando así que se dañen los tubos.

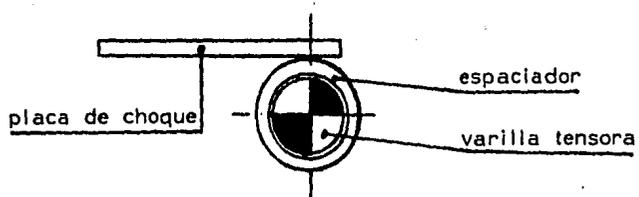
El soporte de esta placa puede hacerse mediante varillas tensoras. En la figura III.7.a, se ilustra su colocación.

FAJAS DE SELLO

De acuerdo a la posición de los elementos estructurales, es inevitable que existan espacios entre los tubos y la envolvente, en los cuales se generen corrientes parásitas que disminuyen la velocidad de intercambio de calor. Las fajas de sello hacen que el fluido choque contra ellas, eliminando así, tales problemas. La figura III.7.b, muestra con claridad su colocación en las mamparas.



a) placa de choque



b) corte para fajas de sello

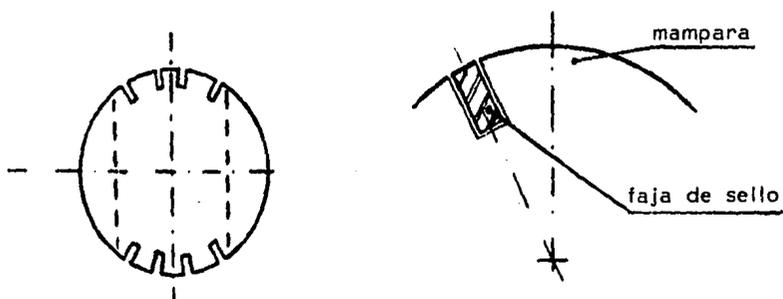


FIGURA 111.7

NOMENCLATURA DE LOS COMPONENTES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Cabezal estacionario A. | 14. faldón del espejo del cabezal |
| 2. Bñida del cabezal estacionario | flotante P |
| A | 15. Caja de empaques |
| 3. Tapa del cabezal estacionario A | 16. Empaque |
| 4. Boquilla del cabezal estacionario | 17. Prensaestopas |
| nario | 18. Varillas tensoras y espaciadores |
| 5. Espejo estacionario | 19. Mamparas transversales |
| 6. Tubos | 20. Placa de choque |
| 7. Coraza E | 21. Placa de partici3n |
| 8. Brida de la coraza | 22. Conexi3n para venteo |
| 9. Boquilla de la coraza | 23. Conexi3n para drene |
| 10. Espejo flotante | 24. Conexi3n para instrumento |
| 11. Anillo del cabezal flotante | 25. Silleta |
| 12. Brida deslizable | 26. Oreja |
| 13. Tapa del cabezal flotante | |

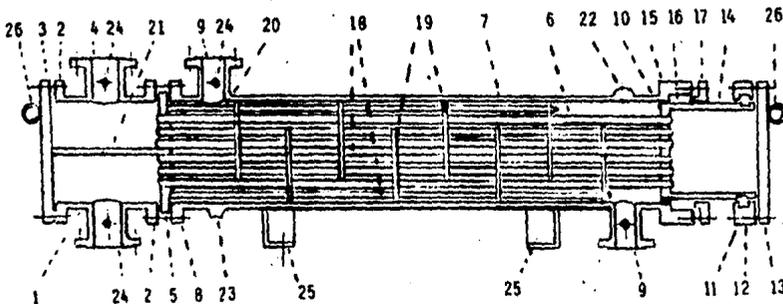


FIGURA III.8

III. DISCUSION DE LAS BASES DE DISEÑO

FLUIDOS DE DISEÑO (agua, vapor)

Selección limitada por los servicios existentes en Laboratorio de Ingeniería Química, así como por la facilidad de manejar a nivel experimental y teórico cada uno de estos fluidos.

TEMPERATURA DE DISEÑO (176.7°C; 350°F)

Se eligió un valor de temperatura que garantizase el manejo del equipo, a nivel experimental, en rangos amplios sin correr el riesgo de que el usuario o el equipo mismo se dañasen.

Una temperatura de 121°C; 250°F equivale, térmicamente hablando, a un vapor saturado de 2.1 kg/cm²; 30 lb/in² abs., cantidad que en caso de descuido en el montaje u operación de las partes provocaría fugas fácilmente controlables y de baja peligrosidad.

PRESION INTERNA DE DISEÑO (5.27 kg/cm²; 75 lb/in²)

Valor que da opción a que el equipo pueda manejarse de varias formas y valores de presión, es decir que sus fluidos puedan intercambiarse tanto de lado como de sentido.

TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA (17.8°C; 64°F)

Valor que corresponde a la temperatura ambiente del Laboratorio.

TEMPERATURA DE SALIDA (37.8°C; 100°F)

Establecida tomando en cuenta que a valores cercanos a 49°C; 120°F disminuye la solubilidad de las sales disueltas en el agua con la consiguiente precipitación e incrustación de las mismas en el equipo.

FLUJO VOLUMETRICO (150 gal/min; 16.708 ft³/min)

Tomando en cuenta las limitaciones de servicios y las pérdidas que origina cada experimentación se eligió tal valor del flujo.

FLUJO MASICO DE AGUA, CARGA TÉRMICA, FLUJO MASICO DE VAPOR

Estos valores se calcularon a partir de los balances térmicos para cada lado, suponiendo que la cedencia de calor por parte del vapor es únicamente latente y se aprovecha de manera total.

TIPO DE EQUIPO (AEP)

La selección del tipo de equipo obedeció a necesidades de tipo absolutamente didáctico.

CORROSION (0.15875 cm; 0.0625 in)

Valor propuesto por TEMA "C" y que resulta adecuado para las con-

diciones poco rigurosas de servicio que se manejan en el Laboratorio de Ingeniería Química.

TUBOS (1.905 cm; 0.75 in; 16 BWG)

Se recomendó emplear este diámetro con la finalidad de lograr mayor área de transferencia por unidad de flujo sin sacrificar demasiada caída de presión.

El indicador BWG corresponde al propuesto por TEMA "C" para este diámetro.

MATERIALES

La selección de materiales para cada una de las partes del intercambiador se hizo tomando en cuenta las condiciones a que se someterá cada una de ellas así como la facilidad para obtener los materiales en el mercado.

En el caso de los empaques se aceptó la recomendación que da TEMA "C", en función de la presión de trabajo, y la selección se hizo a partir de la tabla que propone ASME.

CAIDA DE PRESION

Para el lado de los tubos el valor propuesto es de 0.703 kg/cm^2 ; 10 lb/in^2). Para el manejo de vapor por la coraza se recomienda

que no se exceda una caída de presión de 0.21 kg/cm^2 ; 3 lb/in^2 .

Ambos valores son de los más comúnmente empleados en la práctica del diseño de intercambiadores de calor.

SOBREDISEÑO

Por el carácter didáctico del equipo deberá en consecuencia ser flexible en su funcionamiento. Considerando esto, se aceptará un valor de sobrediseño mayor al utilizado para un intercambiador de calor tradicional.

IV BASES DE DISEÑO

Todas las especificaciones de diseño se han elegido tomando en cuenta las restricciones de espacio y acceso a servicios con que cuenta el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

IV.1 CONDICIONES DE DISEÑO

Temperatura de diseño, 176.7 (°C); 350, (°F)

Presión de diseño, 5.28 (Kg/cm²); 75, (lb/in²)

Carga térmica, 8 936 571.4, (cal/hr); 2 252 016, (Btu/hr)

Flujo volumétrico, 125 (GPM); 16.708, (ft³/min)

PROPIEDAD	FLUIDO	AGUA	VAPOR
Temperatura de entrada,	(°C/°F)	17.8/64	121/250
Temperatura de salida,	(°C/°F)	37.8/100	121/250
Flujo másico,	(Kg/hr/lb/hr)	137623/62556	5240.4/2382
Capacidad calorífica a presión constante,	(cal/g°C/Btu/lb°F)	1.0/1.0	0.46/0.46
Viscosidad,	(centipoises/ft/hr-lb)	0.9/2.178	0.013/0.03146
Conductividad térmica,	(kcal/hr-°C-m/Btu/hr-°F-ft)	0.5334/0.358	0.0227/0.02525
Densidad,	(Kg/lb/ft ³)	1.0/62.4	0.0116/0.0727

IV.2 TIPO DE EQUIPO

Tubos y coraza

Tipo AEP de acuerdo a TEMA 1978.

IV.3 CODIGOS Y ESTANDARES

ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)

Sección VIII División I

TEMA (Asociación de Fabricantes de Intercambiadores Tubulares) Clase "C" Edición 1978

IV.4 CORROSION

Todas las partes serán diseñadas tomando en cuenta una corrosión permisible de 0.15875 cm; 1/16 in

IV.5 TUBOS

Se recomienda emplear tubos rectos de Admiralty (SB-III) con diámetro de 1.905 cm; 3/4 in y 16 BWG (ver VI.a.a y VI.b.b).

IV.6 CORAZA

Tubo sin costura, material SA-53, con espesor igual al que resulte mayor de los calculados de acuerdo con el ASME para recipientes sometidos a presión interna y externa y el recomen-

dado por TEMA "C" para el diámetro correspondiente.

IV.7 TAPAS

Material SA-515 Grado 70, tipo placa plana de espesor en ningún caso menor al de la coraza. La tapa del cabezal A tendrá 3 ranuras de 0.635 cm; 1/4 in de ancho por 0.476 cm; 3/16 in de profundidad. La tapa del cabezal P tendrá sólo una ranura central de iguales dimensiones.

IV.8 MAMPARAS

Con corte vertical de 25% y un claro mínimo entre las mamparas y la coraza de 0.254 cm; 0.1 in. El espesor y el espaciamiento de las mamparas deberá cumplir con los requerimientos del TEMA "C" para el diámetro nominal de la coraza. Material SA-515 Grado 70.

IV.9 BOQUILLAS

Serán de un tamaño tal que no produzcan un valor de masa velocidad (ρv^2) mayor de 19 563.6 kg/m² seg; 4000 lb/ft² seg, considerando para evaluarla la posible existencia de una placa de choque. Se recomienda emplear tubo sin costura de material SA-53 cédula 80.

IV.10 PLACA DE CHOQUE

Se colocará frente a las boquillas de entrada del vapor saturado. Material SA-515-Grado 70

IV.11 VARILLAS TENSORAS Y ESPACIADORES

De acuerdo al diámetro de la coraza, se tendrá un número mínimo de varillas tensoras recomendado por TEMA "C".

Como espaciadores pueden emplearse tramos de tubos de intercambiador o de tubos cédula 80.

IV.12 PLACAS DE PARTICION

Se fabricarán, de acuerdo a las necesidades funcionales del equipo, 4 placas con espesor mínimo de 0.635 cm; 1/4 in. Material SA-515 Grado 70

IV.13 EMPAQUES

Se recomienda emplear empaques de asbesto, con ancho mínimo de 0.9525 cm; 3/8 in en la periferia. En la posición de las placas de partición, los empaques no deberán ser menores de 0.635 cm; 1/4 in.

IV.14 ESPEJOS

El material del espejo del cabezal "A" será SA-515 Grado 70 y el del cabezal "P" SA-181 Clase 70.

El espesor de los espejos será el valor que resulte mayor de los calculados según las ecuaciones del ASME y el propuesto por TEMA "C".

Las tolerancias para los barrenos de los tubos no deberán excederse de 0.001 cm; 0.0004 in.

Los barrenos tendrán 2 ranuras, para expandir el tubo, con dimensiones aproximadas de 0.3175 cm; 1/8 in de ancho y 0.04 cm; 1/64 in de profundidad.

El espejo estacionario tendrá 3 ranuras dimensionalmente iguales a las de las tapas, en tanto que el espejo flotante contendrá solo una.

IV.15 CABEZAL A

Bajo ninguna circunstancia su espesor será menor que el mínimo recomendado para la coraza según TEMA "C".

Material SA-515 Grado 70

IV.16 CABEZAL P

De material forjado SA-181 Clase 70 y espesor que cumpla con las especificaciones del TEMA "C" según el diámetro de la coraza.

IV.17 BRIDAS Y PERNOS

Las bridas serán tipo anillo, de material SA-105 y se dimensionarán según las ecuaciones que indica ASME.

El diámetro mínimo de pernos será de 1.27 cm; 1/2 in, con espaciado entre ellos de acuerdo al indicado en TEMA "C".

El número de pernos estará sujeto a las cargas a que esté sometida cada brida.

IV.18 FAJAS DE SELLO

Se recomienda emplear solera de 0.9525 cm; 1/2 in de profundidad y una longitud igual a la distancia entre la primera y última mampara.

La posición y número de ellas deberá mostrarse claramente en la plantilla de círculos.

IV.19 FACTORES DE ENSUCIAMIENTO

$$rdi = 0.00067, (\text{hr-m}^2\text{-}^\circ\text{C/kcal}) = 0.001, (\text{hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu})$$

$$rdo = 0.002, (\text{hr-m}^2\text{-}^\circ\text{C/kcal}) = 0.003, (\text{hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu})$$

IV.20 CARACTERISTICAS DE LA ZONA

Lugar: Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán - UNAM.

Localización: Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, Km 37 de

la Autopista México - Querétaro

Altitud: 2252 m; 7388.8 ft sobre el nivel del mar

Temperatura media: 16°C; 60.8°F

máxima absoluta: 32.2°C; 90°F

mínima absoluta: 0.6°C; 33.08°F

Presión atmosférica media: 596 mm Hg; 0.784 atm

Precipitación pluvial total: 723.4 mm; 28.48 in

cada 24 horas: 44.4 mm; 1.748 in

Evaporación: 1531.5 mm; 60.3 in

Humedad del ambiente: 0.008 kg H₂O/kg aire; 0.008 lb H₂O/lb aire

IV.21 LOCALIZACION DEL EQUIPO

Area "H" del Laboratorio, su instalación puede lograrse fácilmente empleando cualesquiera de las líneas de servicios que se encuentran disponibles.

IV.22 SERVICIOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO

Aire comprimido a 2265 lt/min; 80 ft³/min

Agua a temperatura ambiente, (18°C; 64°F)

Vapor a una presión menor o igual a 6 kg/cm²; 85.3 lb/in².

IV.23 CAIDA DE PRESION

Lado de los tubos: 0.703 kg/cm^2 ; 10 lb/in^2

Lado de la coraza: 0.21 kg/cm^2 ; 3 lb/in^2

IV.24 SOBREDISEÑO

Se tomará un valor de 20% como máximo.

V. DISEÑO TERMICO.

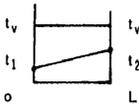
SECUENCIA A.

FLUIDO SIN CAMBIO DE FASE: AGUA (Ref. v.1)

LADO: TUBOS

ECUACION	VARIABLES	NOTAS
V.a.1. Balance de calor		
$Q = Ww Cpw (t_2 - t_1)$	Q = calor transferido, (Btu/hr)	
	Cpw = calor específico a presión constante medido a \bar{t} , (Btu/lb°F)	(f.1)
		$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2}{2}$
	t ₁ = temperatura de entrada, (°F)	
	t ₂ = temperatura de salida, (°F)	
	Ww = flujo másico de agua, (lb/hr)	(IV.2)

V.a.2 Diferencia media logarítmica de temperaturas



$$\Delta t_1 = t_v - t_1$$

$$\Delta t_2 = t_v - t_2$$

LMTD = diferencia media logarítmica de temperaturas, (°F)

L = longitud de equipo, (ft)

t₁ = temperatura de entrada, (°F)

t₂ = temperatura de salida, (°F)

(1.4)

s

5

$$LMTD = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

t_v = temperatura del vapor saturado,
(°F)

V.a.3 Velocidad recomendada

$$v = v' \times 60$$

v = velocidad recomendada, (ft/min)

v' = velocidad recomendada, (ft/seg) (t.5)

V.a.4 Area de flujo necesaria

$$a = \frac{W_w}{v \rho_w}$$

a = área de flujo necesaria, (ft²)

v = velocidad recomendada, (ft/min)

W_w = flujo másico de agua, (lb/hr)

ρ_w = densidad del agua a t_1 , (lb/ft³)

V.a.5 Diámetro y espesor de los tubos

d_t

d_t = diámetro nominal de tubos (t.7)

BWG

BWG = calibre de tubos (t.7)

V.a.6 Arreglo, número de pasos y espaciamento de tubos

arreglo	arreglo geométrico de los tubos	(t.9)
Pt	Pt = espaciamento entre centros de tubos, (in)	(t.9)
Np	Np = número de pasos	(t.9)

V.a.7 Número de tubos por paso

$Nt'' = \frac{144 a}{at'}$	Nt'' = número de tubos requerido por paso	
	a = área de flujo necesaria, (ft ²)	
	a _{t'} = área de flujo por tubo, (in ²)	(t.7)
Nt' ≈ Nt''	Nt' = número de tubos requerido por paso, comercial	(t.9)

V.a.8 Número total de tubos

Nt = Nt' x Np	Nt = número total de tubos	
	Np = número de pasos	
	Nt' = número de tubos requerido por paso	

V.a.9 Area de flujo real por paso

$$a_t = \frac{a_{t'} \times N_{t'}}{144}$$

a_t = área real de flujo por paso, (ft²)

$a_{t'}$ = área de flujo por tubo, (in²)

$N_{t'}$ = número de tubos por paso

V.a.10 Velocidad real

$$v = \frac{W_{w'}}{a_t (60)}$$

v = velocidad real del agua, (ft/seg)

a_t = área de flujo por paso, (ft²)

$W_{w'}$ = flujo volumétrico de agua,
(ft³/min)

V.a.11 Coeficiente de película

$$h_i = f(v, \bar{T})$$

h_i = coeficiente de película referido
a la superficie interna del tubo,
(Btu/hr-ft²-°F)

con \bar{T} y v
leer h_i de
(f.5)

\bar{T} = temperatura promedio del agua, (°F)

v = velocidad del agua, (ft/seg)

V.a.12 Coeficiente de película referido a la superficie externa

$$h_{ie} = h_i \times \frac{d_i}{d_o}$$

h_{ie} = coeficiente de película referido a la superficie externa,
(Btu/hr-ft²-°F)

d_i = diámetro interno de los tubos,
(in)

leer d_o/d_i
en (t.7) con

d_o = diámetro externo de los tubos,
(in)

d_i (v.a.5)

SECUENCIA B

FLUIDO CON CAMBIO DE FASE: VAPOR SATURADO (Ref. V.2)

LADO: CORAZA

V.b.1. Flujo másico de vapor

$$W_v = \frac{Q}{\lambda_v}$$

W_v = flujo másico de vapor, (lb/hr)

λ_v = calor latente de vaporización,
(Btu/hr)

con P_v leer

(1.4)

Q = calor transferido, (Btu/hr)

V.b.2 Coeficiente global de transferencia de calor supuesto

U_s

U_s = coeficiente global de transferencia de calor supuesto,
(Btu/hr-ft²-°F)

(1.11)

V.b.3 Area de transferencia

$$A_{T1} = \frac{Q}{U_s \text{ LMTD}}$$

A_{T1} = área de transferencia requerida, (ft²)

LMTD = diferencia media logarítmica de temperaturas, (°F) (V.a.2)

Q = calor transferido, (Btu/hr)

Us = coeficiente global supuesto, (Btu/hr-ft²-°F)

V.b.4 Longitud de los tubos de transferencia

$$L_t' = \frac{A_t'}{a_{tt} N_t}$$

L_t' = longitud de tubos, (ft)

A_t' = área de transferencia requerida, (ft²)

a_{tt} = área de transferencia por tubo, (ft²/ft) (t.7)

N_t = número de tubos

L_t = longitud comercial de los tubos de transferencia, (ft) (V.a.8)

$$L_t = L_t'$$

V.b.5 Area de transferencia disponible

$$A_t = N_t L_t a_{tt}$$

A_t = área de transferencia disponible, (ft²)

a_{tt} = área de transferencia por tu-

$b_o, (ft^2/ft)$

$L_t =$ longitud de los tubos, (ft)

V.b.6 Diámetro de la coraza

D_N

$D_N =$ diámetro nominal de la coraza, (in) con N_t, N_p

D_s

$D_s =$ diámetro interior de la coraza, (in) ver (t.9)

V.b.7 Distancia entre mamparas

$$\frac{D_N}{5} \leq B_B \leq D_N$$

$B_B =$ distancia entre mamparas recomendada, (in)

$D_N =$ diámetro nominal de la coraza, (in)

$$B = f(B_B)$$

$B =$ distancia entre mamparas seleccionada, (in)

V.b.8 Número de mamparas

$$N_B' = \frac{12L_t}{B} - 1$$

$N_B' =$ número de mamparas calculado

$B =$ distancia entre mamparas, (in)

$$N_b = f(N_b')$$

Lt = longitud de tubos, (ft)

N_b = número de mamparas seleccionado

V.b.9 Espaciamiento entre paredes de tubos.

$$C' = Pt - d_o$$

C' = espaciamiento entre paredes
de tubos, (in)

d_o = diámetro externo del tubo, (in) (v.a.12)

Pt = espaciamiento entre centros de
tubos, (in) (v.a.6)

V.b.10 Area de flujo en la coraza

$$a_s = \frac{D_s C' B}{144 P_t}$$

a_s = área de flujo en la coraza, (ft²)

B = distancia entre mamparas, (in)

C' = espaciamiento entre paredes
de tubos, (in)

D_s = diámetro interior de la coraza, (in) (v.b.6)

Pt = espaciamento entre centros de tubos, (ln)

V.b.11 Carga de condensado

$$G' = \frac{W_v}{L t N t^{2/3}}$$

G' = carga de condensado, (lb/hr-ft lineal)

Lt = longitud de tubos, (ft) (v.b.4)

Nt = número total de tubos (v.a.8)

Wv = flujo másico de vapor, (lb/hr)

V.b.12 Temperatura de pared

$$t_w = \bar{t} + \frac{h_o'}{h_{i0} + h_o'} (t_v - \bar{t})$$

t_w = temperatura de pared, (°F)

h_o' = coeficiente de película lado coraza, (Btu/hr-ft²-°F) supuesto

h_{i0} = coeficiente de película lado tubos, (Btu/hr-ft²-°F) (v.a.12)

t_v = temperatura del vapor saturado, (°F) con Pv leer t_v en (t.3)

$$\bar{t} = \text{temperatura promedio del agua, (}^\circ\text{F)} \quad (\text{v.a.1})$$

V.b.13 Temperatura de película

$$t_f = \frac{t_w + t_v}{2}$$

t_f = temperatura de película, ($^\circ\text{F}$)

t_v = temperatura de vapor saturado,
($^\circ\text{F}$)

t_w = temperatura de pared, ($^\circ\text{F}$)

V.b.14 Propiedades de la película de condensado evaluadas a la temperatura de película

k_f

k_f = conductividad, (Btu/hr-ft- $^\circ\text{F}$)

$$\mu_f = 2.42 \mu_{f'}$$

μ_f = viscosidad, (lb/hr-ft)

$$\phi_f = \frac{1}{\bar{V}_f}$$

$\mu_{f'}$ = viscosidad, (centipoises)

\bar{V}_f = volúmen molar, (ft^3/lb)

V.b.15 Coeficiente de condensación

$$h_o = 1.5 \left[\frac{4 \mu_f G''}{k_f 3 \phi_f 2 g} \right]^{-1/3}$$

h_o = coeficiente de película lado co-
raza calculado, (Btu/hr-ft²-°F)

G'' = carga de condensado, (lb/hr-ft)

g = constante de la aceleración de
la gravedad, (ft/hr²)

k_f, ρ_f, μ_f = propiedades de la pelícu-
la de condensado

V.b.16 Comprobación de la temperatura de película

- Calcular t_w según la ecuación del punto v.b.12 con el nuevo h_o
- Calcular t_f empleando el nuevo valor de t_w y compararlo con el valor anterior
- Si los valores de t_f difieren más de 10°F es necesario suponer otro valor de h_o y regresar al punto v.b.12

SECUENCIA C

CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

V.c.1 Coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{io}} + \frac{R_i}{A_i} \frac{A_o}{k} + \frac{12e}{A_m} \frac{A_o}{k} + R_o + \frac{1}{h_o}}$$

A_o = área externa del tubo por pie lineal, (ft²/ft lineal) (t.7)

A_i = área interna del tubo por pie lineal, (ft²/ft lineal) (t.7)

A_m = área promedio de transferencia, (ft²/ft lineal)

$$= \frac{2 \sqrt{A_o A_i}}{\ln \frac{A_o}{A_i}}$$

e = espesor de la pared de tubo, (in) (t.7)

k = conductividad térmica de la pared del tubo, (Btu/hr-ft-°F) (t.3)

h_{io} = coeficiente de película de fluido dentro de tubos, referido a la superficie externa, (Btu/hr-ft²-°F) (v.a.12)

h_o = coeficiente de condensación, (Btu/hr-ft²-°F)

R_i = factor de ensuciamiento del fluido de interior de tubo, (agua) (t.14)

R_o = factor de ensuciamiento del fluido por fuera de tubos, (vapor) (t.12)

V.c.2 Area de transferencia de calor necesaria

$$A_H = \frac{Q}{U \text{LMTD}}$$

A_H = área de transferencia de calor necesaria, (ft^2)

LMTD = diferencia media logarítmica de temperaturas, ($^{\circ}\text{F}$) (v.a.2)

Q = carga térmica, (Btu/hr) (v.a.2)

U = coeficiente global de transferencia de calor ($\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$)

V.c.3 Sobrediseño

$$SD = \frac{A_I - A_H}{A} \times 100$$

SD = sobrediseño

A_H = área de transferencia necesaria, (ft^2)

A_I = área de transferencia disponible, (ft^2) (v.b.5)

SECUENCIA D

EVALUACION DE LA CAIDA DE PRESION

LADO TUBOS: AGUA

V.d.1 . Masa velocidad

$$G_t = \frac{W_w}{a_t}$$

G_t = masa velocidad del agua,
(lb/hr-ft²)

a_t = área de flujo por paso, (ft²)

(v.a.9)

W_w = flujo másico de agua (lb/hr)

(v.a.1)

V.d.2 Número de Reynolds

$$Re = \frac{d_i G_t}{12 (2.42) \mu_w}$$

Re = número de Reynolds

d_i = diámetro interior del tubo, (in)

(v.a.12)

μ_w = viscosidad del agua evaluada a

(f.3)

\bar{T} , (centipoises)

V.d.3 Factor de fricción

$$f = f(\text{Re})$$

f = factor de fricción para el lado de tubos, (ft^2/in^2) (f.7)

Re = número de Reynolds

V.d.4 Caída de presión tramos rectos

$$P_t = \frac{f (Gt)^2 L_t N_p}{5.22 \times 10^{10} d_i \phi t S}$$

P_t = caída de presión, (lb/in^2)

d_i = diámetro interior de los tubos, (ft) (v.a.12)

f = factor de fricción lado tubos, (ft^2/in^2)

Gt = masa velocidad del agua, ($\text{lb}/\text{hr}\text{-ft}^2$)

L_t = longitud de tubos, (ft) (v.b.4)

N_p = número de pasos (v.b.6)

S = densidad relativa del agua (t.15)

ϕt = factor de corrección de viscosidades por cambio de temperaturas

V.d.5 Caída de presión en retornos

$$P_r = \frac{4 \cdot N_p}{S} \left(\frac{v^2}{2g'} \right)$$

P_r = caída de presión en retornos,
(lb/in²)

$\frac{v^2}{2g'}$ = cabeza velocidad, (lb/in²)

con G_t ver
(f.9)

N_p = número de pasos en los tubos

(v.a.6)

S = densidad relativa del agua

V.d.6 Caída de presión total

$$P_T = P_r + P_t$$

P_T = caída de presión total,
(lb/in²)

P_r = caída de presión en tramos
rectos, (lb/in²)

P_t = caída de presión en retornos,
(lb/in²)

SECUENCIA E

EVALUACION DE LA CAIDA DE PRESION

LADO CORAZA: VAPOR DE AGUA SATURADO

V.e.1 Masa velocidad del vapor saturado

$$G_s = \frac{W_v}{a_s}$$

G_s = masa velocidad del vapor saturado, (lb/hr-ft²)

a_s = área de flujo en la coraza, (ft²) (v.b.10)

W_v = flujo másico de vapor saturado, (lb/hr) (v.b.1)

V.e.2 Número de Reynolds para evaluar caída de presión

$$Re = \frac{De G_s}{12(2.42) \mu_v}$$

Re = número de Reynolds

De = diámetro equivalente, (in) (f.6)

G_s = masa velocidad del vapor saturado, (lb/hr-ft²)

μ_v = viscosidad del vapor saturado, (centipoises) (f.8)

V.e.3 Factor de fricción

$$f = f(\text{Re})$$

$$f = \text{factor de fricción lado coraza, (lb/in}^2\text{)} \quad (\text{f.8})$$

Re = número de Reynolds

V.e.4 Caída de presión lado coraza

$$P_s = \frac{f(G_s)^2 D_s (NR + 1)}{2g D_e \phi s}$$

P_s = caída de presión lado coraza,
(lb/in²)

D_e = diámetro equivalente del arreglo de tubos, (ft) (f.6)

D_s = diámetro interior de la coraza, (ft)

f = factor de fricción lado coraza, (ft²/in²)

G_s = masa velocidad del vapor saturado, (lb/hr-ft²)

g = constante de la aceleración de la gravedad, (ft/hr²)

N_B = número de mámparas (v.b.8)

ϕ_s = factor de corrección de viscosidades por cambio de temperaturas.

ρ_v = densidad del vapor, (lb/ft³)

Referencia

- V.1 Kern, J.D.
Procesos de Transferencia de Calor
Editorial CECSA
México, D.F., 1978
Capítulo 7
Págs. 159 - 212
- V.2 Ibidem
Capítulo 12
Págs. 301 - 368

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO TERMICO

SECUENCIA A. CALCULO DEL COEFICIENTE DE PELICULA

LADO TUBOS: AGUA

A.V.a.1 Balance de calor

ECUACION	SUSTITUCION
$Q = W_w C_{pw} (t_2 - t_1)$	$Q = 62\ 556(1.00)(100-64)$
DATOS	
$C_{pw} = 1.00, (\text{Btu}/\text{lb}^\circ\text{F})$	
$t_1 = 64, (\text{°F})$	
$t_2 = 100, (\text{°F})$	
$\bar{t} = 82, (\text{°F})$	RESULTADO
$W_w = 62\ 556, (\text{lb}/\text{hr})$	$Q = 2\ 252\ 016, (\text{Btu}/\text{hr})$

A.V.a.2 Diferencia media logarítmica de temperaturas

ECUACION	SUSTITUCION
$\Delta t_1 = t_v - t_1$	$\Delta t_1 = 250-64$
$\Delta t_2 = t_v - t_2$	$\Delta t_2 = 250-100$
$LMTD = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$	$LMTD = \frac{186 - 150}{\ln \frac{186}{150}}$

DATOS

$$t_v = 250, (\text{°F})$$

$$t_1 = 64, (\text{°F})$$

$$t_2 = 100, (\text{°F})$$

RESULTADO

$$\text{LMTD} = 167.3, (\text{°F})$$

A.V.a.3 Velocidad recomendada

ECUACION

$$V = V' \times 60$$

SUSTITUCION

$$V = 7 (60)$$

DATOS

$$V' = 7, (\text{ft/seg})$$

RESULTADO

$$V = 420, (\text{ft/min})$$

A.V.a.4 Area de flujo necesaria

ECUACION

$$a = \frac{W_w}{v \rho_w}$$

SUSTITUCION

$$a = \frac{62\ 556}{420 (62.4)}$$

DATOS

$$v = 420, (\text{ft/min})$$

$$W_w = 62\ 556, (\text{lb/hr})$$

$$\rho_w = 62.4, (\text{lb/ft}^3)$$

RESULTADO

$$a = 0.03978, (\text{ft}^2)$$

A.V.a.5 Diámetro y espesor de los tubos

$$dt = 3/4, (\text{in})$$

BWG = 16

A.V.a.6 Arreglo, número de pasos y espaciamento de tubos

Arreglo triangular normal

$P_t = 1$, (in)

$N_p = 4$

A.V.a.7 Número de tubos por paso

ECUACION

$$N_{t''} = \frac{144 a}{a_{t'}}$$

DATOS

$$a = 0.03978, (\text{ft}^2)$$

$$a_{t'} = 0.302, (\text{in}^2)$$

SUSTITUCION

$$N_{t''} = \frac{144 (0.03978)}{0.302}$$

RESULTADO

$$N_{t''} = 18,968 (\text{tubos})$$

$$N_{t'} = 19, (\text{tubos/paso})$$

A.V.a.8 Número total de tubos

ECUACION

$$N_t = N_{t'} \times N_p$$

DATOS

$$N_p = 4$$

$$N_{t'} = 19, (\text{tubos/paso})$$

SUSTITUCION

$$N_t = 4 (19)$$

RESULTADO

$$N_t = 76, (\text{tubos})$$

A.V.a.9 Area de flujo real por paso

ECUACION

$$a_t = \frac{a_t' \times N_t'}{144}$$

SUSTITUCION

$$a_t = \frac{(0.302) 19}{144}$$

DATOS

$$a_t' = 0.302, (\text{in}^2)$$

$$N_t' = 19, (\text{tubos/paso})$$

RESULTADO

$$a_t = 0.03984, (\text{ft}^2)$$

A.V.a.10 Velocidad real

ECUACION

$$v = \frac{Ww'}{60 (a_t)}$$

SUSTITUCION

$$v = \frac{16.708}{60 (0.03984)}$$

DATOS

$$a_t = 0.03984, (\text{ft}^2)$$

$$Ww' = 16.708, (\text{ft}^3/\text{min})$$

RESULTADO

$$v = 6.98, (\text{ft}/\text{seg})$$

A.V.a.11 Coeficiente de película

ECUACION

$$h_i = f (v, \bar{t})$$

DATOS

$$\bar{t} = 82, (^\circ\text{F})$$

$$v = 6.98, \text{ (ft/seg)}$$

RESULTADO

$$h_i = 1450, \text{ (Btu/hr-ft}^2 \text{ -}^\circ\text{F)}$$

A.V.a.12 Coeficiente de película referido a la superficie externa

ECUACION

$$h_{i0} = h_i \times \frac{d_i}{d_o}$$

SUSTITUCION

$$h_{i0} = 1450 \frac{0.62}{0.75}$$

DATOS

$$d_i = 0.62, \text{ (in)}$$

$$d_o = 0.75, \text{ (in)}$$

$$h_i = 1450, \text{ (Btu/hr-ft}^2 \text{ -}^\circ\text{F)}$$

RESULTADO

$$h_{i0} = 1198.6, \text{ (Btu/hr-ft}^2 \text{ -}^\circ\text{F)}$$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO TERMICO

SECUENCIA B. CALCULO DEL COEFICIENTE DE CONDENSACION

FLUIDO: VAPOR DE AGUA SATURADO

A.V.b.1 Flujo másico de vapor

ECUACION

$$W_v = \frac{Q}{\lambda_v}$$

SUSTITUCION

$$W = \frac{2\,252\,016}{945.3}$$

DATOS

$$Q = 2\,252\,016, \text{ (Btu/hr)}$$

RESULTADO

$$\lambda_v = 945.3, \text{ (Btu/lb)}$$

$$W_v = 2382, \text{ (lb/hr)}$$

A.V.b.2 Coeficiente global de transferencia de calor supuesto

$$U_s = 150, \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

A.V.b.3 Area de transferencia

ECUACION

$$A_{T'} = \frac{Q}{U_s \text{ LMTD}}$$

SUSTITUCION

$$A_{T'} = \frac{2\,252\,016}{150 (167.3)}$$

DATOS

$$\text{LMTD} = 167.3, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

$$Q = 2\,252\,016, \text{ (Btu/hr)}$$

RESULTADO

$$U_s = 150, \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

$$AT' = 89.74, \text{ (ft}^2\text{)}$$

A.V.b.4 Longitud de los tubos de transferencia

ECUACION

$$Lt' = \frac{AT'}{a_{tt} Nt}$$

SUSTITUCION

$$Lt' = \frac{89.74}{0.1963 (76)}$$

DATOS

$$AT' = 89.74, \text{ (ft}^2\text{)}$$

RESULTADO

$$a_{tt} = 0.1963, \text{ (ft}^2\text{/ft)}$$

$$Lt' = 6.0125, \text{ (ft)}$$

$$Nt = 76, \text{ (tubos)}$$

$$Lt = 6, \text{ (ft)}$$

A.V.b.5 Area de transferencia disponible

ECUACION

$$AT = Nt Lt a_{tt}$$

SUSTITUCION

$$AT = 76 (6) 0.1963$$

DATOS

$$a_{tt} = 0.1963, \text{ (ft}^2\text{/ft)}$$

$$Lt = 6, \text{ (ft)}$$

RESULTADO

$$Nt = 76, \text{ (tubos)}$$

$$AT = 89.5, \text{ (ft}^2\text{)}$$

A.V.b.6 .Diámetro de la coraza

$$DN = 12, \text{ (in)}$$

$$Ds = 12, \text{ (in)}$$

NOTA: Para facilitar el cálculo en el diseño térmico se empleará $Ds = DN$, el valor correcto será el calculado en el Diseño Mecánico.

A.V.b.7 Distancia entre mamparas

ECUACION	SUSTITUCION
$\frac{DN}{S} \leq B_B < DN$	$\frac{12}{5} \leq B_B \leq 12$
DATOS	$2.4 \leq B_B < 12$
DN = 12, (in)	RESULTADO
	B = 7, (in)

A.V.b.8 Número de mamparas

ECUACION	SUSTITUCION
$N_{B'} = \frac{12L_t}{B} - 1$	$N_{B'} = \frac{12(6)}{7} - 1$
DATOS	RESULTADO
B = 5, (in)	$N_{B'} = 9.3, \text{ (mamparas)}$
L _t = 6, (ft)	$N_B = 8, \text{ (mamparas)}$

A.V.b.9 Espaciamiento entre diámetros externos de tubos

ECUACION	SUSTITUCION
----------	-------------

$$C' = Pt - d_0$$

$$C' = 1 - 0.75$$

DATOS

$$d_0 = 0.75, (\text{in})$$

RESULTADO

$$Pt = 1, (\text{in})$$

$$C' = 0.25, (\text{in})$$

A.V.b.10 Area de flujo en la coraza

ECUACION

SUSTITUCION

$$a_s = \frac{D_s C' B}{144 Pt}$$

$$a_s = \frac{12 (0.25) 7}{144 (1)}$$

DATOS

$$B = 7, (\text{in})$$

$$C' = 0.25, (\text{in})$$

$$D_s = 12, (\text{in})$$

RESULTADO

$$Pt = 1, (\text{in})$$

$$a_s = 0.1458, (\text{ft}^2)$$

A.V.b.11 Carga de condensado

ECUACION

SUSTITUCION

$$G'' = \frac{W_v}{L_t N_t^{2/3}}$$

$$G'' = \frac{2382}{6 (76)^{2/3}}$$

DATOS

$$L_t = 6, (\text{ft})$$

$$N_t = 76, (\text{tubos})$$

$$W_v = 2382, (\text{lb/hr})$$

RESULTADO

$$G'' = 22.12, (\text{lb/hr-ft})$$

A.V.b.12 Temperatura de pared

ECUACION

$$t_w' = \bar{t} + \frac{h_o'}{h_{io} + h_o'} (t_v - \bar{t})$$

SUSTITUCION

$$t_w = 82 + \frac{1800}{1198.6+1800} (250-82)$$

DATOS

$$h_{io} = 1198.6, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$h_o' = 1800, (\text{btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$\bar{t} = 82, (^\circ\text{F})$$

$$t_v = 250, (^\circ\text{F})$$

RESULTADO

$$t_w = 185.125, (^\circ\text{F})$$

A.V.b.13 Temperatura de película

ECUACION

$$t_f' = \frac{t_w' + t_v}{2}$$

SUSTITUCION

$$t_f = \frac{185 + 250}{2}$$

DATOS

$$t_v = 250, (^\circ\text{F})$$

$$t_w' = 185, (^\circ\text{F})$$

RESULTADO

$$t_f = 217.5, (^\circ\text{F})$$

A.V.b.14 Propiedades de la película de condensado evaluadas a la temperatura de película

DATOS

$$t_f = 217.5$$

$$k = 0.4166, \text{ (Btu/hr-ft-}^\circ\text{F)}$$

$$\mu_f' = 0.25, \text{ (centipoises)}$$

$$\mu_f = 2.42 \mu_f'$$

$$= 0.605, \text{ (lb/hr-ft)}$$

$$\bar{V}_f = 0.01675, \text{ (ft}^3\text{/lb)}$$

$$\rho_f = \frac{1}{\bar{V}_f}$$

$$= 59.7, \text{ (lb/ft}^3\text{)}$$

A.V.b.15 Coeficiente de condensación

ECUACION

$$h_o = 1.5 \left[\frac{4 \mu_f G''}{k_f^3 \rho_f^2 g} \right]^{-1/3}$$

SUSTITUCION

$$h_o = 1.5 \left[\frac{4(0.605) 22.12}{(0.4166)^3 (59.7)^2 (4.17 \times 10^8)} \right]^{-1/3}$$

DATOS

$$g = 4.17 \times 10^8, \text{ (ft/hr}^2\text{)}$$

$$G'' = 22.12, \text{ (lb/hr-ft)}$$

$$k_f = 0.4166, \text{ (Btu/hr-ft-}^\circ\text{F)}$$

$$\mu_f = 0.605, \text{ (lb/hr-ft)}$$

$$\rho_f = 59.7 \text{ (lb/ft}^3\text{)}$$

$$= 1.5 (4.98 \times 10^{-10})^{-1/3}$$

$$= 1.5 (1261.48)$$

RESULTADO

$$h_o = 1892, \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

A.V.b.16 Comprobación de la temperatura de película

ECUACION

SUSTITUCION

$$t_w = \bar{t} + \frac{h_o}{h_{i0} + h_o} (t_v - \bar{t}) \qquad t_w = 82 + \frac{1892}{1198.6 + 1892} (250 - 82)$$

DATOS

$$h_{i0} = 1198.6, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$h_o = 1892, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$\bar{t} = 82, (^\circ\text{F})$$

$$t_v = 250, (^\circ\text{F})$$

ECUACION

$$t_f = \frac{t_w + t_v}{2}$$

RESULTADO

$$t_w = 184.8, (^\circ\text{F})$$

SUSTITUCION

$$t_f = \frac{184.8 + 250}{2}$$

DATOS

$$t_v = 250, (^\circ\text{F})$$

$$t_w = 184.8, (^\circ\text{F})$$

ECUACION

$$\Delta t = t_{f1} - t_f$$

RESULTADO

$$t_f = 217.4, (^\circ\text{F})$$

SUSTITUCION

$$\Delta t = 217.5 - 217.4$$

DATOS

$$t_{f1} = 217.5, (^\circ\text{F})$$

$$t_f = 217.4, (^\circ\text{F})$$

RESULTADO

$$\Delta t = 0.1, (^\circ\text{F})$$

NOTA: Las propiedades no cambiarán con el nuevo valor de t_f por lo cual se acepta el valor de h_o .

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO TERMICO

SECUENCIA C. CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA
DE CALOR

A.V.c.1 Coeficiente global de transferencia de calor

ECUACION

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{io}} + R_i \frac{A_o}{A_i} + \frac{e}{12k} \frac{A_o}{A_m} + R_o + \frac{1}{h_o}}$$

DATOS

$$A_i = 0.1623, (\text{ft}^2/\text{ft})$$

$$A_o = 0.1963, (\text{ft}^2/\text{ft})$$

$$A_m = \frac{2 \pi (A_o - A_i)}{\ln \frac{A_o}{A_i}}$$

$$e = 0.0625, (\text{in})$$

$$k = 26, (\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}\text{-}^\circ\text{F})$$

$$L = 6, (\text{ft})$$

$$h_{io} = 1198.6 (\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$h_o = 1892, (\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$R_i = 0.001, (\text{hr}\text{-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}/\text{Btu})$$

$$R_o = .003, (\text{hr}\text{-ft}\text{-}^\circ\text{F}/\text{Btu})$$

SUSTITUCION

$$A_m = \frac{2 \pi (0.1963 - 0.1623)}{\ln \frac{0.1963}{0.1623}} = 1.123, \text{ (ft}^2\text{/ft lineal)}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1198.6} + \frac{0.001(0.1963)}{0.1623} + \frac{0.0625(0.1963)}{12(26) 1.123} + 0.003 + \frac{1}{1892}}$$

$$U = \frac{1}{0.000834 + 0.0012 + 0.000035 + 0.003 + 0.00053}$$

$$U = \frac{1}{0.0056}$$

RESULTADO

$$U = 178.6 \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

A.V.c.2 Area de transferencia de calor necesaria

ECUACION

$$A_N = \frac{Q}{U \text{LMTD}}$$

SUSTITUCION

$$A_N = \frac{2252 \ 016}{(178.6) 167.3}$$

DATOS

$$\text{LMTD} = 167.3, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

$$Q = 2 \ 252 \ 016, \text{ (Btu/hr)}$$

$$U = 178.6, \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

RESULTADO

$$A_N = 75.37, \text{ (ft}^2\text{)}$$

A.V.c.3 Sobrediseño

ECUACION

$$S_D = \frac{A_T - A_M}{T} \times 100$$

SUSTITUCION

$$S_D = \frac{89.5 - 75.37}{89.5} \times 100$$

DATOS

$$A_M = 75.37, (\text{ft}^2)$$

$$A_T = 89.5, (\text{ft}^2)$$

RESULTADO

$$S_D = 15.78 \%$$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO TERMICO

SECUENCIA D. EVALUACION DE LA CAIDA DE PRESION

LADO TUBOS: AGUA

A.V.d.1 Masa velocidad

ECUACION

$$G_t = \frac{W_w}{a_t}$$

SUSTITUCION

$$G_t = \frac{62\ 556}{0.03984}$$

DATOS

$$a_t = 0.03984, (\text{ft}^2)$$

$$W_w = 62\ 556, (\text{lb/hr})$$

RESULTADO

$$G_t = 1\ 570\ 181, (\text{lb/hr-ft}^2)$$

A.V.d.2 Número de Reynolds

ECUACION

$$Re = \frac{d_i G_t}{12 (2.42) \mu_w}$$

SUSTITUCION

$$Re = \frac{0.62 (1\ 570\ 181)}{12 (2.42) 0.9}$$

DATOS

$$d_i = 0.62, (\text{in})$$

$$G_t = 1\ 570\ 181, (\text{lb/hr-ft}^2)$$

$$\mu_w = 0.9, (\text{centipoises})$$

RESULTADO

$$Re = 37\ 248$$

A.V.d.3 Factor de fricción

DATOS	RESULTADO
Re = 37 248	f = 0.00019, (ft ² /in ²)

A.V.d.4 Caída de presión tramos rectos

ECUACION	SUSTITUCION
$\Delta P_t = \frac{f(Gt)^2 L_t N_p}{5.22 \times 10^{10} d_i \phi_t S}$	$\Delta P_t = \frac{0.00019 (1570181)^2 6 (4) 12}{5.22 \times 10^{10} (0.62)}$

DATOS
d _i = 0.62/12, (ft)
f = 0.00019, (ft ² /in ²)
Gt = 1 570 181, (lb/hr-ft ²)
L _t = 6, (ft)
N _p = 4
S = 1.0
φ _t = 1.0

RESULTADO
ΔP _t = 4.168

A.V.d.5 Caída de presión en retornos

ECUACION	SUSTITUCION
$\Delta P_r = \frac{4N_p}{S} \frac{v^2}{2g'}$	$\Delta P_r = \frac{4(4)}{1} (0.33)$

DATOS

$$\frac{v^2}{2g'} = 0.33$$

$$N_p = 4$$

$$S = 1.0$$

RESULTADO

$$P_t = 5.28, (\text{lb/in}^2)$$

MEMORIA DE CALCULO

SECUENCIA E. EVALUACION DE LA CAIDA DE PRESION

LADO CORAZA: VAPOR DE AGUA SATURADO

A.V.e.1 Masa velocidad del vapor saturado

$$\begin{array}{l} \text{ECUACION} \\ G_s = \frac{W_v}{a_s} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{SUSTITUCION} \\ G_s = \frac{2382}{0.1458} \end{array}$$

DATOS

$$\begin{array}{l} a_s = 0.1458, (\text{ft}^2) \\ W_v = 2382, (\text{lb/hr}) \end{array}$$

RESULTADO

$$G_s = 16\,337.4, (\text{lb/hr-ft}^2)$$

A.V.e.2 Número de Reynolds para evaluar caída de presión

$$\begin{array}{l} \text{ECUACION} \\ Re = \frac{De \cdot G_s}{12(2.42)\mu_v} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{SUSTITUCION} \\ Re = \frac{0.62(16\,337.4)}{12(2.42)0.013} \end{array}$$

DATOS

$$\begin{array}{l} De = 0.62, (\text{in}) \\ G_s = 16\,337.4, (\text{lb/hr-ft}^2) \\ \mu_v = 0.013, (\text{cp}) \end{array}$$

RESULTADO

$$Re = 26\,830$$

A.V.e.3 Factor de fricción

DATOS
 $Re = 26\ 830$

RESULTADO
 $f = 0.00175, (ft^2/in^2)$

A.V.e.4 Caída de presión lado coraza

ECUACION

$$\Delta P_s = \frac{f (G_s)^2 D_s (N_B + 1)}{2g \varphi D_e \phi_s}$$

SUSTITUCION

$$\Delta P_s = \frac{0.00175 (16\ 337.4)^2 1 (9) 12}{2 (4.17 \times 10^8) 0.62 (1.0) 0.0727}$$

DATOS
 $D_e = 0.62/12, (ft)$
 $D_s = 1, (ft)$
 $f = 0.00175, (ft^2/in^2)$
 $G_s = 16\ 337.4, (lb/hr-ft^2)$
 $g = 4.17 \times 10^8, (ft/hr^2)$
 $N_B = 8$
 $\varphi = 0.0727, (lb/ft^3)$
 $\phi = 1.0$

RESULTADO
 $\Delta P_s = 1.34, (lb/in^2)$

VI DISEÑO MECANICO

SECUENCIA A

CALCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE POR PRESION INTERNA.

VI.a.1. Espesor de la coraza sometida a esfuerzos circunferenciales

ECUACION	VARIABLES	NOTAS
$t' = \frac{PR}{SE - 0.6P}$	t' = espesor del recipiente en condiciones corroídas, (in)	
rango de aplicación: $t' < R/2$ ó $P \leq 0.385(SE)$	E = eficiencia de la unión P = presión de diseño, (lb/in ²) R = radio interno de la coraza en condiciones corroídas, (in) S = esfuerzo máximo permisible del material a temperatura de diseño, (lb/in ²)	(IV.1) (IV.6) (IV.6) (IV.1) (t.20)

VI.a.2. Espesor de la coraza sometida a esfuerzos longitudinales

$t' = \frac{PR}{2SE + 0.4P}$	t' = espesor del recipiente en condiciones corroídas, (in)
rango de aplicación:	E = eficiencia de la unión

$$t' < R/2$$

ó

$$P \leq 1.25(SE)$$

P = presión de diseño, (IV.1)
(lb/in²)

R = radio interno de la coraza en condiciones corroídas, (in)

VI.a.3 Espesor incluyendo corrosión

$$t_c = t' + c_o$$

t_c = espesor mínimo del recipiente, (in)

t' = espesor del recipiente en condiciones corroídas, (in)

Se elegirá el que resulte mayor (IV.4)

VI.a.4 Espesor comercial

$$t \geq t_c$$

$t = f(D, \text{No. Cédula})$

t = espesor comercial, (in) (t.8)

t_c = espesor mínimo necesario para la presión de diseño, (in)

SECUENCIA AA

CALCULO DEL ESPESOR DE LOS TUBOS POR PRESION INTERNA

VI.a.a.1 Espesor de los tubos sometidos a esfuerzos circunferenciales.

ECUACION	VARIABLES	NOTAS
$t' = \frac{PR_o}{SE+0.4P}$	<p>t' = espesor del tubo, (in)</p> <p>E = eficiencia de la Unión</p> <p>P = Presión de diseño, (lb/in²)</p> <p>R_o = radio externo del tubo, (in)</p> <p>S = esfuerzo máximo permisible del material a la temperatura de diseño, (lb/in²)</p>	<p>(IV.1)</p> <p>(IV.6)</p> <p>(IV.1) y (t.20)</p>

VI.a.a.2 Espesor de los tubos sometidos a esfuerzos longitudinales

$t' = \frac{PR_o}{2SE + 1.4P}$	t' = espesor del tubo, (in)
--------------------------------	-------------------------------

E = eficiencia de la unión	
P = presión de diseño, (lb/in ²)	
Ro = radio externo del tubo, (in)	(IV.6)
S = esfuerzo permisible material a la tempe_ y natura de diseño, (lb/in ²)	(IV.1) (I.20)

VI.a.a.3 Espesor recomendado por TEMA

t' = f(do, BWG)	do = diámetro exterior del tubo, (in)	(V.a.5) y (t.7)
	BWG = calibre del tubo	
	t' = espesor recomendado por TEMA, (in)	(t.33)

VI.a.a.4 Espesor final de los tubos

t ≥ t'	t = espesor comercial, (in)
	t' = espesor mínimo necesario para la presión de diseño, (in)
t' = el espesor que resulte mayor	

SECUENCIA B

CALCULO DEL ESPESOR DE LA CORAZA POR PRESION EXTERNA.

VI.b.1. Relación diámetro-espesor

$$R_1 = \frac{D_o}{t}$$

R_1 = relación diámetro a espesor de la coraza

D_o = diámetro de la coraza, (in). (IV.6)

t = espesor de la coraza, (in) (VI.a.3)

VI.b.2 Relación longitud-diámetro

$$R_2 = \frac{L}{D_o}$$

R_2 = relación longitud-diámetro

D_o = diámetro de la coraza, (in)

L = longitud del cambiador, (in)

VI.b.3 Factor A

$$FA = f(R_1, R_2)$$

FA = factor A

(f.10)

VI.b.4 Factor B

$$FB = f(FA, T, E_f)$$

FB = factor para determinar la

(f.11)

presión admisible

FA = factor para determinar
espesores

E_f = esfuerzo de fluencia del material, (lb/in²) (t.19)

T = temperatura de diseño, (°F) (IV.1)

VI.b.5 Presión admisible

$$P_a = \frac{4(FB)}{3 R_1}$$

P_a = presión admisible, (lb/in²)

FA = factor para determinar es-
pesores

Si FA está fuera
de rango

FB = factor para determinar la
la presión admisible

$$P_a = \frac{2(FA)E}{3 R_1}$$

E = módulo de elasticidad, (t.23)
(lb/in²)

VI.b.6 Comparación entre la presión admisible y la presión externa

$P_a : P_e$

P_a = presión admisible según el
espesor supuesto, (lb/in²)

Si

P_e = presión externa, (lb/in²)

$P_a \geq P_e$ entonces

- el espesor supuesto es suficiente

$P_a < P_e$

- suponer un espesor mayor o co-
locar cinturones de refuerzo

SECUENCIA BB

CALCULO DEL ESPESOR DE LOS TUBOS POR PRESION EXTERNA

VI.b.b.1 Relación diámetro - espesor

ECUACION

VARIABLES

$$R_1 = \frac{d_o}{t}$$

R_1 = relación diámetro
espesor

d_o = diámetro externo (V.a.5) y
del tubo, (ln) (t.7)

t = espesor del tubo (VI.a.a.4)
(ln)

VI.b.b.2 Relación longitud - diámetro

$$R_2 = \frac{L}{d_o}$$

R_2 = relación longitud
diámetro

$$\text{Si } \frac{L}{d_o} \leq 50$$

d_o = diámetro del tubo, (ln)

$$R_2 = 50$$

L = longitud del tubo, (ln) (V.b.4)

$$\text{Si } \frac{L}{d_o} > 50$$

$$R_2 = 0.05$$

VI.b.b.3 Factor A

$$FA = f(R_1, R_2) \quad FA = \text{factor A} \quad (f.10)$$

VI.b.b.4 Factor B

$$FB = f(FA, T, Ef) \quad FB = \text{factor para deter-} \quad (f.12)$$

minar la presión
admisible

FA = esfuerzo de fluencia (t.
del material de los tu-
bos a la temperatura
de diseño, (lb/in²))

T = temperatura de di- (IV.1)
seño, (°F)

VI.b.b.5 Presión admisible

$$Pa = \frac{4 FB}{3 R_1} \quad Pa = \text{presión admisible,} \\ (\text{lb/in}^2)$$

Si FA está fuera
de rango

$$Pa = \frac{2 (FA) E}{3 R_1} \quad FA = \text{factor A} \\ FB = \text{factor para deter-} \\ \text{minar la presión} \\ \text{admisible, (lb/in}^2)$$

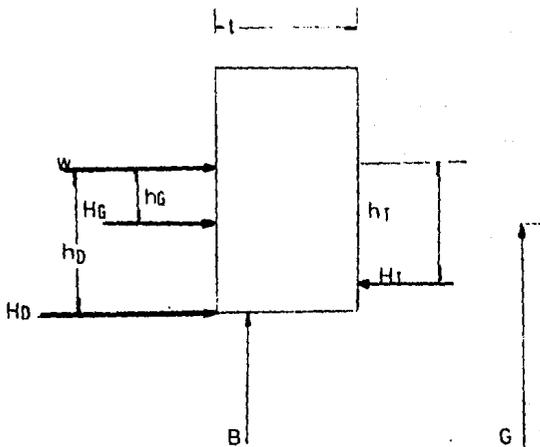
E = módulo de elasticidad
del material de los tubos
a la temperatura de dise-
ño, (lb/in²)

SECUENCIA C

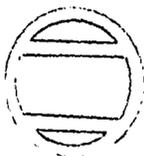
DISEÑO MECANICO DE BRIDAS

(LAS BRIDAS DISEÑADAS EN ESTA SECUENCIA CORRESPONDEN A LAS INDICADAS EN LA FIGURA VI.)

VI.c.1 Diagrama de fuerzas actuantes sobre la brida



VI.c.2 Detalle del empaque



4 pasos



2 pasos

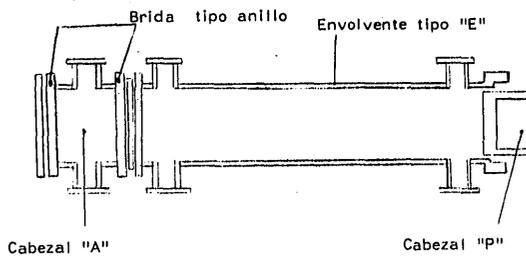


FIGURA VI.1 Bredas diseñadas en esta secuencia

VI.c.3 Características del empaque

N	N = ancho mínimo del empaque,	
$bo = \frac{N}{2}$	(in)	
	bo = ancho efectivo del empaque	(1.a)(t.24)
b = bo (bo \leq 1/4")	b = ancho de asentamiento	(1.a)(t.24)
tipo de empaque	del empaque, (in)	
y	y = factor de asentamiento por	(t.25)
	unidad de superficie de	
	contacto del empaque, (lb/in ²)	
m	m = factor del empaque	(t.25)

VI.c.4 Diámetro interno del empaque

	DIE = diámetro interno del em-	
	paque, (in)	
DIE = B+2 co	B = diámetro interior de la	B = Di
	brida, (in)	(IV.2)
	co = corrosión permisible	(IV.4)

VI.c.5 Diámetro externo del empaque

DEE = DIE + 2N	DEE = diámetro externo del em-	
	paque, (in)	
	DIE = diámetro interno del em-	
	paque, (in)	

N = ancho mínimo del empaque

VI.c.6 Esfuerzos permisibles según ASME

BRIDA	Temperatura de diseño, °F	(IV.1)
	(T =) Sfo = , (lb/in ²)	
	Temperatura ambiente, °F	(t.22)
	(Ta =) Sta = , (lb/in ²)	
PERNOS	Temperatura de diseño, °F	(IV.1)
	Sbo = , (lb/in ²)	
	Temperatura ambiente, °F	(t.18)
	Sba' = , (lb/in ²)	

VI.c.7 Diámetro efectivo del empaque

G = DEE - 2b G = diámetro efectivo del empaque, (in)

b = ancho de asentamiento del empaque, (in)

DEE = diámetro externo del empaque, (in)

VI.c.8 Fuerza requerida para mantener el empaque asentado

$Wm_2 = \pi bG y$ Wm_2 = fuerza requerida para mantener el empaque asentado, (lb)

b = ancho de asentamiento, (in)

G = diámetro medio del empaque, (in)

$\pi = 3.1416$

y = factor de asentamiento por unidad de superficie de contacto del empaque, (lb/in²)

VI.c.9 Carga de presión hidrostática

$$H = \frac{\pi G^2 P}{4}$$

H = carga de presión hidrostática total actuando en el diámetro efectivo del empaque, (lb)

G = diámetro efectivo del empaque, (in)

P = presión de diseño, (lb/in²) (IV.1)

$\pi = 3.1416$

VI.c.10 Reacción del empaque

$$H_p = 2 \pi G m P$$

H_p = reacción del empaque actuando sobre una área anular cuyo diámetro

efectivo es G , (lb)

m = factor del empaque (t.25)

P = presión de diseño (lb/in²) (IV.1)

π = 3.1416

VI.c.11 Carga para mantener la junta hermética

$$Wm_1 = H + Hp$$

Wm_1 = carga de pernos mínima requerida para mantener la junta hermética bajo condiciones de operación, (lb)

H = carga de presión hidrostática total, (lb)

Hp = reacción del empaque, (lb)

VI.c.12 Area de pernos requerida

Am la mayor de

Am = área de pernos requerida, (in²)

$\frac{Wm_1}{Sbo}$

Sbo

ó

$\frac{Wm_2}{Sbo}$

Sbo

Sbo = esfuerzo permisible del (VI.c.6)

material de los pernos a

la temperatura de dise-

ño, (lb/in²)

Wm_1 = carga de pernos, (lb)

Wm_2 = fuerza requerida para
mantener el empaque asen
tado, (lb)

VI.c.13 Selección de pernos

dp dp = diámetro de pernos, (in) (IV.1)

h = número de hilos por pu
gada (t.27)

ap ap = área transversal del per
no, (in^2) (t.27)

VI.c.14 Número requerido de pernos

$Nb' = \frac{Am}{ap}$ Nb' = número mínimo de pernos

Am = área de pernos requeri-
da, (in^2)

ap = área transversal del per
no, (in^2)

$Nb \geq Nb'$ Nb = número de pernos múlti-
ple de 4

VI.c.15 Area total de pernos

$Ab = Nb \times ap$ Ab = área total de pernos, (in^2)

a_p = área transversal del perno, (in²)

N_b = número de pernos

VI.c.16. Diámetro del círculo de pernos, (in)

$$c = 2 (h_s + R + t) + B \quad c = \text{diámetro del círculo de pernos, (in)} \quad (\text{VI.c.31})$$

B = diámetro interior de la brida, (in)

h_s = altura de la soldadura

R = distancia radial desde el círculo de pernos al punto exterior de la soldadura, (in) (t.27)

t = espesor de la coraza, (in) (VI.a.4)

VI.c.17 Espaciamiento entre pernos

$$E_{\text{real}} = \frac{\pi C}{N_b}$$

E_{real} = espaciamento real entre pernos, (in)

C = diámetro del círculo de pernos, (in)

N_b = número de pernos

$$\pi = 3.1416$$

E_{min}

E_{min} = espaciamento mínimo (t.27)

entre pernos (in)

VI.c.18 Carga de diseño de los pernos

$$W = Ab \times Sbo$$

W = carga de diseño de pernos de la brida, (lb)

Ab = área total de pernos (in²)

Sbo = esfuerzo permisible a tem (VI.c.6)
temperatura de diseño,
(lb/in²)

VI.c.19 Ancho mínimo requerido del empaque

$$N \text{ min} = \frac{W}{2 \pi G y}$$

N min = ancho mínimo del empaque (in)

G = diámetro efectivo del empaque

π = 3.1416

y = factor de asentamiento por unidad de superficie de contacto del empaque, (lb/in²) (t.25)

VI.c.20 Comparación entre valores reales y supuestos

$E_{real} > E_{min}$	} continuar con la secuencia de cálculo
$N_{min} > N_{min}'$	
$E_{real} < E_{min}$	regresar al punto VI.c.14 y suponer N_b y/o d_p menores
$N_{min} < N_{min}'$	regresar al punto VI.c.3 y suponer N mayor o modificar m y el factor γ

Cargas por operación

VI.c.21 Fuerza hidrostática sobre el área interior de la brida

$$H_D = \frac{\pi B^2 P}{4}$$

H_D = fuerza hidrostática sobre el área interior de la brida, (lb)

B = diámetro interior de la brida, (in)

P = presión de diseño, (lb/in²) (11.1)

π = 3.1416

VI.c.22 Fuerza sobre el empaque

$$H_G = W - H$$

H_G = fuerza actuando sobre el empaque, (lb)

H = carga de presión hidrostática, (VI.c.9) tica, (lb)

W = carga de diseño de los pernos, (lb) (VI.c.18)

VI.c.23 Diferencia entre fuerzas hidrostáticas

$H_T = H - H_D$ H_T = diferencia entre fuerzas hidrostáticas, (lb)

H = carga de presión hidrostática, (lb) (VI.c.9)

H_D = fuerza de presión hidrostática sobre el área interior de la brida, (lb)

Brazos de palanca

VI.c.24 Brazo de palanca de la fuerza H

$h_D = 0.5(C - B)$ h_D = distancia radial desde el círculo de pernos al círculo sobre el cual actúa H_D , (in)

B = diámetro interior de la brida, (in)

C = diámetro del círculo de pernos, (in)

VI.c.25 Brazo de palanca de la fuerza H_G

$h_G = 0.5(C - G)$ h_G = distancia radial desde la
reacción de la carga del em
paque al círculo de pernos,
(in)

C = diámetro del círculo de per
nos, (in)

G = diámetro efectivo del empa
que, (in)

VI.c.26 Brazo de palanca de la fuerza H_T

$h_T = 0.5(h_D + h_G)$ h_T = distancia radial desde el
círculo de pernos al círcu-
lo sobre el cual actúa H_T ,
(in)

h_D = brazo de palanca de la fuer
za H_D , (in)

h_G = brazo de palanca de la fuer
za H_G , (in)

Momentos por operaciónVI.c.27 Componente M_D

$M_D = H_D h_D$ M_D = componente del momento de-

$$H_D = \text{fuerza sobre el \u00e1rea interior de la brida, (lb)} \quad (VI.c.21)$$

$$h_D = \text{brazo de palanca de la fuerza } H_D, \text{ (in)}$$

VI.c.28 Componente M_G

$$M_G = H_G h_G \quad M_G = \text{componente del momento debido a la fuerza } H_G, \text{ (lb-in)} \quad (VI.c.22)$$

$$H_G = \text{fuerza que act\u00faa sobre el empaque, (lb)}$$

$$h_G = \text{brazo de palanca de la fuerza } H_G, \text{ (in)}$$

VI.c.29 Componente M_I

$$M_I = H_I h_I \quad M_I = \text{componente del momento debido a la fuerza } H_I, \text{ (lb-in)}$$

$$H_I = \text{diferencia entre fuerzas hidrost\u00e1ticas, (lb)} \quad (VI.c.23)$$

$$h_I = \text{brazo de palanca de la fuerza, } H_I, \text{ (in)}$$

VI.c.30 Momento total por operaci\u00f3n

bido a la fuerza H_0 , (lb-in)
 H_0 = fuerza sobre el área interior de la brida, (lb)
 h_0 = brazo de palanca de la fuerza H_0 , (in)

(VI.c.21)

VI.c.28 Componente M_G

$M_G = H_G h_G$ M_G = componente del momento debido a la fuerza H_G , (lb-in) (VI.c.22)

H_G = fuerza que actúa sobre el empaque, (lb)

h_G = brazo de palanca de la fuerza H_G , (in)

VI.c.29 Componente M_I

$M_I = H_I h_I$ M_I = componente del momento debido a la fuerza H_I , (lb-in)

H_I = diferencia entre fuerzas hidrostáticas, (lb) (VI.c.23)

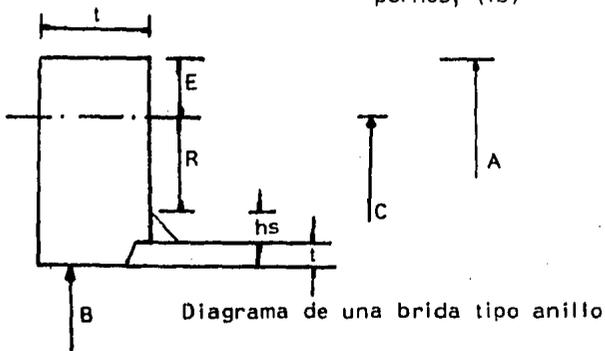
h_I = brazo de palanca de la fuerza, H_I , (in)

VI.c.30 Momento total por operación

- $M_o = M_D + M_G + M_I$ M_o = momento total sobre la brida bajo condiciones de operación, (lb-in)
- M_D = componente debida a la fuerza H_D , (lb-in)
- M_G = componente debida a la fuerza H_G , (lb-in)
- M_I = componente debida a la fuerza H_I , (lb-in)

VI.c.31 Momento por asentamiento del empaque

- $M_A = W h_G$ M_A = momento debido al asentamiento del empaque (lb-in)
- h_G = brazo de la palanca de la fuerza H_G , (in)
- W = carga de diseño de los pernos, (lb) (VI.c.18)



Cálculo de las constantes de forma

VI.c.32 Diámetro externo de la brida

$$A = C + E$$

A = Diámetro externo de la brida, (in)

C = diámetro del círculo de pernos, (in) (VI.c.16)

E = tolerancia por diámetro del perno, (in) (1.27)

VI.c.33 Relación de diámetros de la brida

$$K = \frac{A}{B}$$

K = relación de diámetros de la brida

A = diámetro externo de la brida, (in)

B = diámetro interno de la brida, (in)

VI.c.34 Carga para operación

$$M = \frac{M_o}{B}$$

M = carga para operación, (lb)

B = diámetro interno de la brida, (in)

M_o = momento total bajo condicioo

condiciones de operación (lb-in)

VI.c.35 Carga por asentamiento del empaque

$$M' = \frac{MA}{B}$$

M' = carga por asentamiento del empaque, (lb)

B = diámetro interno de la brida, (in)

MA = momento por asentamiento del empaque, (lb-in)

VI.c.36 Espesor requerido bajo condiciones de operación

$$t_f' = \left(\frac{MY}{Sfo} \right)^{\frac{1}{2}}$$

t_f' = espesor requerido de acuerdo a condiciones de operación, (in)

M = carga para operación, (lb)

Sfo = esfuerzo permisible a las condiciones de diseño, (lb/in²) (VI.c.6)

Y = factor (t.28)

VI.c.37 Espesor requerido por asentamiento del empaque

$$t_f'' = \left[\frac{M'Y}{Sfo} \right]^{\frac{1}{2}}$$

t_f'' = espesor requerido por asentamiento

tamiento del empaque, (in)

M' = carga por asentamiento
del empaque, (lb)

S_{fo} = esfuerzo permisible a con- (VI.c.6)
diciones de diseño, (lb/in²)

Y = factor (t.28)

VI.c.38 Espesor comercial

$$t_f^* = \begin{cases} t_f^I \\ t_f^{II} \end{cases}$$

el que resulte
mayor

$$t_f \geq t_f^*$$

t_f^* = espesor mínimo requerido
de la brida, (in)

t_f^I = espesor mínimo por opera-
ción, (in)

t_f^{II} = espesor mínimo por asenta-
miento del empaque, (in)

t_f = espesor comercial de la (t.29)
brida, (in)

t_f^* = espesor mínimo requerido,
(in)

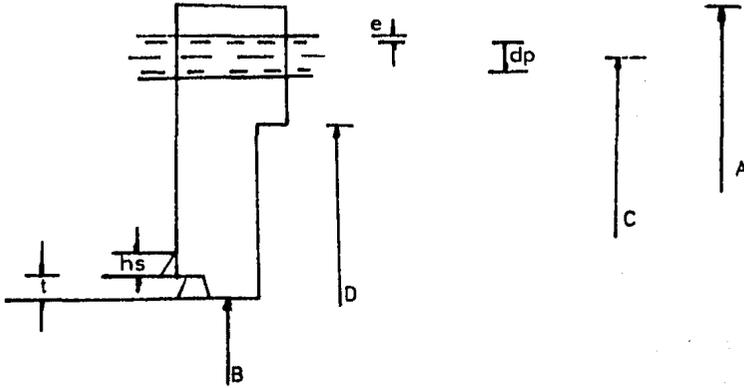
VI.c.39 Selección de la brida. Dimensiones

P P = presión de diseño, (lb/in²) (IV.1)

T T = temperatura de diseño, (°F)

Tipo de brida

(t.29)



$A_b = \text{área total de pernos, (in}^2\text{)} = a_p N_p$

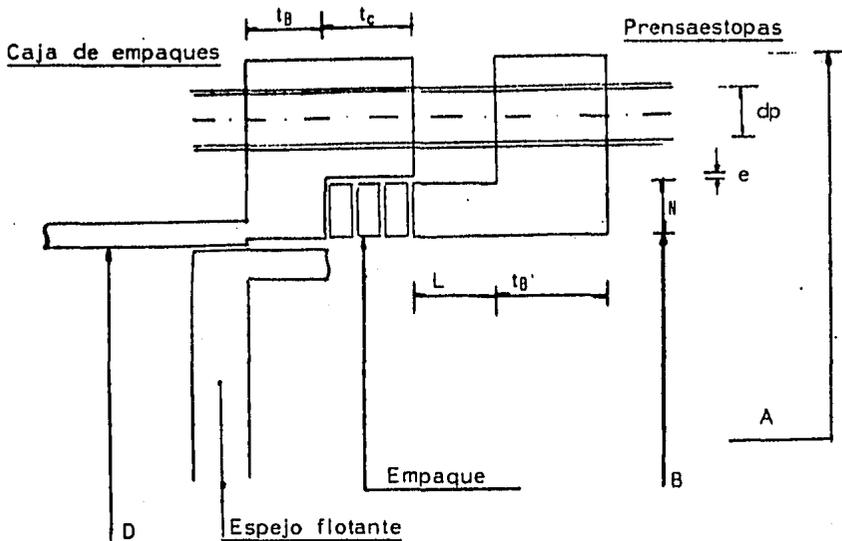
$a_p = \text{área transversal del perno, (in}^2\text{)}$ (t.27)

$N_p = \text{número total de pernos}$ (t.30)

SECUENCIA D

DIMENSIONAMIENTO DE LA CAJA DE EMPAQUES Y EL PRESNAESTOPAS

VI.d.1 Diagrama



VI.d.2 Dimensionamiento de la caja de empaques

Se tomará el espesor t_B igual al calculado en el punto VI.c.38. El valor de t_c , así como el número y tamaño de los empaques será de acuerdo a la tabla (t.31).

VI.d.3 Dimensionamiento del prensaestopas

En función de los valores seleccionados en el punto anterior, se fijarán las dimensiones del prensaestopas

VI.d.4 Número y tamaño de pernos

Se ajustará el número de pernos al valor comercial dado en la tabla (t.3); sin que por ningún motivo sea éste un número de pernos tal que, no satisfaga el área requerida calculada según el punto (VI.c.12)

SECUENCIA E

DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTILLA DE CIRCULOS

- VI.e.1 Diámetro interior de la coraza, D
(V.b.6) y (t.8)
- VI.e.2 Número total de tubos, Nt
(v.a.8)
- VI.e.3 Diámetro nominal de tubos, d_t
(v.a.5)
- VI.e.4 Diámetro exterior de tubos, d_o
(v.a.12)
- VI.e.5 Espaciamiento entre centros de tubos, ft
(v.a.6)
- VI.e.6 Diámetro de varillas tensoras, d_v
(IV.11)
- VI.e.7 Diámetro nominal de espaciadores, d_e
(IV.11)

VI.e.8 Número y dimensiones de ranuras para fajas de sello
(IV.8)

VI.e.9 Número y dimensiones de ranuras para placas de partición
(IV.7) y (IV.14)

VI.e.10 Diámetro del círculo formado por los centros de tubos, D_c

Se graficarán cada uno de los elementos mencionados, N_t , P_t , fajas de sello, etc., para evaluar D_c a partir de tal figura.

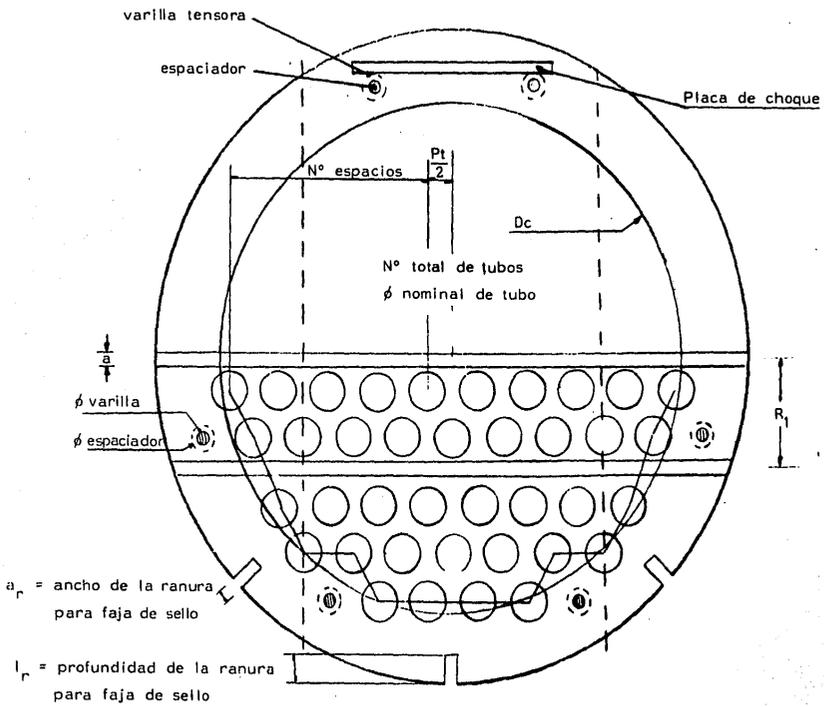


Figura VI.e.1

SECUENCIA F

ESPESOR DEL ESPEJO ESTACIONARIO DEL CABEZAL A

VI.f.1 Espesor requerido por flexión

$$t_{e'} = \frac{FG}{2} \left(\frac{P}{S} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$t_{e'}$ = espesor mínimo del
espejo, (in)

F = factor que es función
de la forma de los
tubos, (1 para tubos
rectos)

G = diámetro efectivo del
empaquete, (in) (VI.c.7)

P = presión de diseño que
resulte mayor (para
tubos y coraza), (lb/in²)

S = esfuerzo permisible a (IV.1)
la tensión para el ma y
terial del espejo a la (t.20)
temperatura de diseño,
(lb/in²)

VI.f.2 Espesor requerido por cortante

$$t_{e''} = \frac{0.31D_c}{\left[1 - \frac{d_o}{P_t}\right]} \left(\frac{P}{S}\right)$$

no influye si

$$\frac{P}{S} < 1.6 \left[1 - \frac{d_o}{P_t}\right]^2$$

$t_{e''}$ = espesor mínimo del espejo, (in)

D_c = diámetro formado por los centros de tubos, (in) (VI.e.1)

d_o = diámetro exterior de los tubos, (in)

P = presión de diseño que resulte mayor

P_t = distancia centro a centro de tubos, (in)

S = esfuerzo permisible a la tensión para el material del espejo a temperatura de diseño, (lb/in²) (IV.1) y (t.20)

VI.f.3 Espesor requerido según TEMA "C" y espesor comercial

$t_{e'''}$

t_{e^*} el mayor de

$t_{e'}$, $t_{e''}$, $t_{e'''}$

t_{e^*} = espesor mínimo requerido del espejo, (in)

$t_{e'}$ = espesor mínimo por flexión, (in)

t_e'' = espesor mínimo por
cortante, (in)

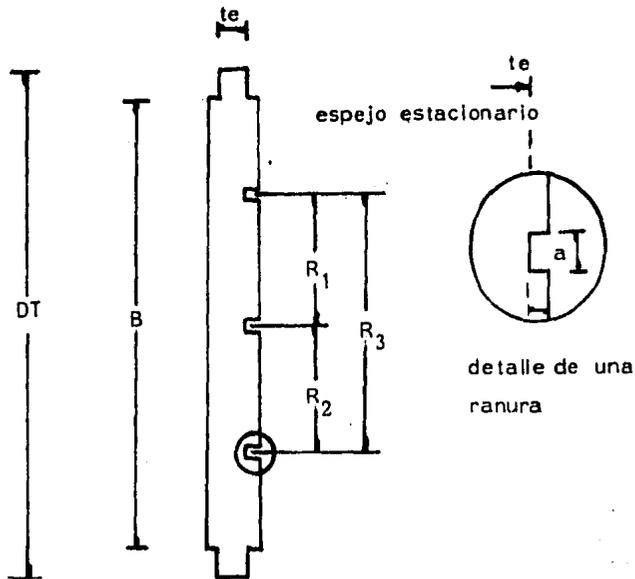
t_e''' = espesor según TEMA (IV.14)

$$t_e \geq t_e'' + 2C_o$$

t_e = espesor comercial

C_o = espesor comercial, (in)

VI.f.4 Diagrama



a = ancho de la ranura, (in)

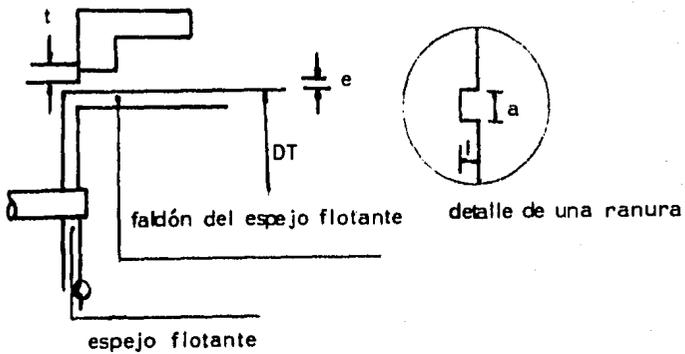
(IV.14)

- l = profundidad de la ranura, (in) (IV.14)
 R_1 = distancia radial entre ranuras superior y central, (in) (f.VI.e.1)
 R_2 = distancia radial entre ranuras central e inferior, (in) (f.VI.e.1)
 $R_3 = R_1 + R_2$
 B = diámetro interior de la brida, (in) (VI.c.4)
 DT = diámetro del espejo, (in) (VI.c.39)
 $DT = D - 2e$ (VI.c.39)
 D = cara interna de la brida
 e = tolerancia entre las caras de la brida y el espejo
 t_e = espesor del espejo, (in)

SECUENCIA G

ESPESOR DEL ESPEJO DEL CABEZAL FLOTANTE "P"

VI.g.1 Diagrama



VI.g.2 Diámetro del espejo

$$DT = B - 2e$$

DT = diámetro del espejo, (in)

B = diámetro interno de la coraza, (in) (VI.c.4)

e = espaciado entre diámetro intermedio de la coraza y diámetro del espejo, (in) (t.31)

VI.g.3 Presión de diseño por flexión

$$P_d = P_1 + P_2 \left[\frac{1.25 (DT - D_c) (DT - D_c)}{DT (FG)^2} \right]$$

P_d = presión de diseño del espejo, (lb/in^2)

D_c = diámetro formado por los centros de tubos, (in)

DT = diámetro del espejo, (in)

F = factor que es función del tipo de empaque (1.0 para empaque externo) (VI.C.7)

G = diámetro efectivo del empaque del cabezal estacionario, (in) (VI.C.7)

P_1 = presión de diseño lado tubos, (lb/in^2) (IV.1)

P_2 = presión de diseño lado coraza, (lb/in^2) (IV.1)

VI.g.4 Espesor requerido por flexión

$$t_{e'} = \frac{FG}{2} \left[\frac{P}{S} \right] \quad t_{e'} = \text{espesor mínimo del espejo, (in)}$$

- F = constante que es función del empaque (1 para empaque exterior)
- G = diámetro efectivo del espejo estacionario, (in) (VI.C.7)
- P = presión de diseño del espejo, (lb/in²)
- S = esfuerzo permisible a la tensión para el material y del espejo a la temperatura de diseño, (lb/in²) (IV.1) (t.20)

VI.g.5 Espesor requerido por cortante

$$t_e'' = \frac{0.31 D_c P_c}{\left(1 - \frac{d_o}{P_t}\right) S}$$

t_e'' = espesor mínimo del espejo, (in)

D_c = diámetro del círculo formado por los centros de tubos, (in)

d_o = diámetro externo de tubos, (in)

P_c = presión de diseño por cortante, (lb/in²)

P_1 = presión de diseño lado tu (IV.1)
bos, (lb/in²)

P_2 = presión de diseño lado co (IV.1)
raza, (lb/in²)

S = esfuerzo permisible a la (IV.1)
tensión para el material y
del espejo a la temperatu (t.20)
ra de diseño, (lb/in²)

No aplica si

$$\frac{P_c}{S} < 1.6 \left(1 - \frac{d_o}{P_t} \right)$$

$$P_c = P_1 + P_2 \left(\frac{DT^2 - D_c^2}{D_c^2} \right)$$

DT = diámetro del espejo, (in)

VI.g.6 Espesor requerido según TEMA "C" y espesor comercial

t_e^* el mayor

t_e^* = espesor mínimo del espe
jo, (in)

de t_e' , t_e'' , t_e'''

t_e' = espesor mínimo por fle-
xión, (in)

t_e'' = espesor mínimo por cor-
tante, (in)

t_e''' = espesor según TEMA (IV.14)

$t_e \geq t_e^* + 2c_o$

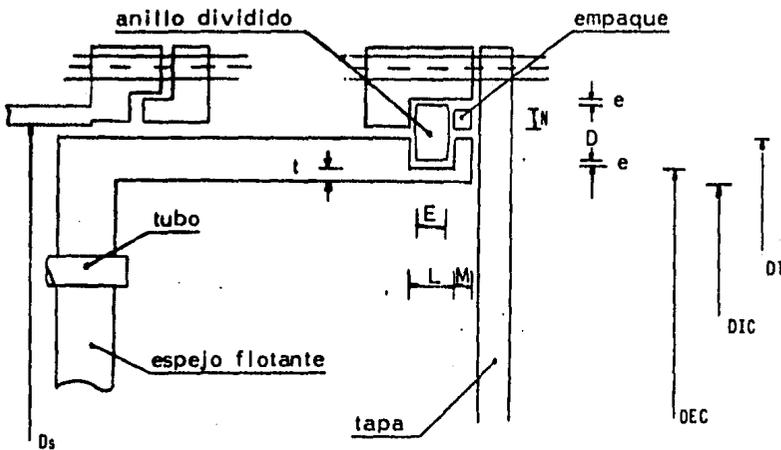
t_e = espesor comercial, (in)

c_o = corrosión permisible

SECUENCIA H

DIMENSIONAMIENTO DEL ANILLO DIVIDIDO DEL CABEZAL P

VI.h.1



VI.h.2 Dimensiones del anillo dividido

D = cara vertical del anillo, (in)

E = cara horizontal del anillo, (in)

P = presión de diseño, (lb/in^2)

La selección se hará empleando la tabla (t.30)

VI.h.3 Diámetro exterior de la sección ranurada

$DEC = DT - 2e$

DEC = diámetro exterior de la
sección ranurada, (in)

D = cara vertical del anillo,
(in)

DT = diámetro del espejo flo
tante, (in)

e = tolerancias

VI.h.4 Diámetro interior de la sección ranurada

$$DIC' = DEC - 2 t_c$$

DIC' = diámetro interior de la
sección ranurada, (in)

DEC = diámetro exterior de la
sección ranurada, (in)

t_c = espesor mínimo requere- (VI.a.3)
do incluyendo corro-
sión, (in)

DIC \gg DIC'

DIC = diámetro interior co-
mercial de la sección
ranurada, (in)

VI.h.5 Espesor disponible

$$t = \frac{DEC - DIC}{2}$$

t = espesor, (in)

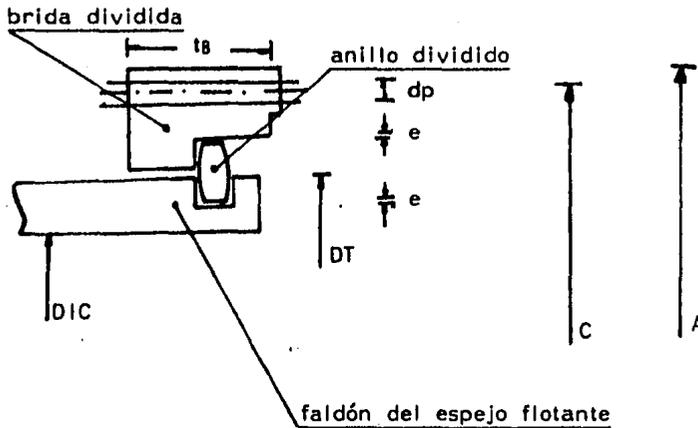
DEC = diámetro exterior de la
sección ranurada, (in)

DIC = diámetro interior de la
sección ranurada.

SECUENCIA I

ESPESOR DE LA BRIDA DEL CABEZAL P

VI.1.1 Diagrama



VI.1.2 Espesor de la brida

$$t_{B'} = \frac{N a_p f_y}{D_T f_s}$$

$t_{B'}$ = espesor requerido, (in)

a_p = área transversal del perno, (in^2) (t.29) y (t.27)

D_T = diámetro del espejo, (in) (VI.g.2)

f_y = esfuerzo de fluencia del material de la brida, (IV.17) y (t.21)

(lb/in^2)

f_s = esfuerzo al corte del material de la brida,
 (lb/in^2)

N = número de pernos (t.29)

VI.i.3 Espesor comercial

$t_B \geq t_B'$ t_B = espesor comercial, (in)

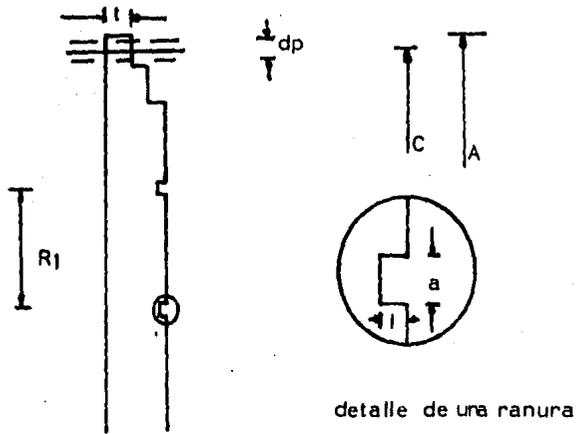
VI.i.4 Diámetro exterior de la brida

Las dimensiones se tomarán de la tabla (t.31)

SECUENCIA J

ESPESOR DE LAS TAPAS

VI.j.1 Diagrama



VI.j.2 Dimensiones de las ranuras

a = ancho de la ranura, (in) (II.14) N_R cabezal A (IV.7)

l = profundidad de la ranura, (in) (II.14) N_R cabezal P (IV.7)

VI.j.3 Localización de las ranuras

R_1 = distancia radial entre ranuras superior y central, (in)
(f.VI.e.1)

R_2 = distancia radial entre ranuras central e inferior, (in) (f.VI.e.1)

$$R_3 = R_1 + R_2, \text{ (in)}$$

VI.J.4 Espesor de la tapa según Código TEMA "C"

$$t_t' = 5.7 \left[P \left(\frac{G}{100} \right)^4 + 2.0 \frac{h_g A_b}{(d_p)^{0.5}} \left(\frac{G}{100} \right) \right]^{1/3}$$

t_t' = espesor mínimo de la tapa
según Código TEMA "C", (in)

A_b = área total de pernos, (in²) (VI.c.39)

d_p = diámetro de pernos, (in) (VI.c.39)

h_g = brazo de palanca de la fuerza
 H_g , (in) (VI.c.25)

$h_g = 0.5 (c - G)$

c = círculo de barrenos, (in) (VI.c.39)

G = diámetro efectivo del empa-
que, (in) (VI.c.7)

P = presión de diseño lado tubos, (IV.1)
(lb/in²)

VI.J.5 Espesor de la tapa según Código ASME Div. I Sección VIII

$$t_t'' = G \left[\frac{C_f P}{SE} + \frac{1.9 W h_g}{E S G^3} \right]^{1/2}$$

- t_t'' = espesor mínimo de la tapa según Código ASME, (in)
- C_f = factor que depende del tipo de unión de la tapa (f.32)
- E = eficiencia de la junta soldada
- G = diámetro efectivo del empaque, (in) (VI.c.7)
- h_G = brazo de la palanca de la fuerza H_G , (in) (VI.J.4)
- P = presión de diseño lado tubos, (lb/in²) (IV.1)
- S = esfuerzo permisible a la tensión del material de la tapa a la temperatura de diseño, (lb/in²) (IV.1) y (t.20)
- W = la que resulte mayor de
- a) W_{m1} = carga de pernos en condiciones de operación, (lb) (VI.c.11)
- b) $W_{m2} = \frac{A_b + A_m}{2} S_{bo}$

A_b = área total de pernos, (in^2) (VI.c.39)

A_m = área requerida de pernos,
(in^2) (VI.c.14)

S_{bo} = esfuerzo permisible del ma-
terial de los pernos a la
temperatura de diseño,
(lb/in^2) (VI.c.6)

VI.j.6 Espesor comercial

t_t^* el mayor de t_t^* = espesor mínimo requere-
 t' , t'' , t_t'' rido, (in)

t_t' = espesor requerido se-
gún TEMA "C", (in)

t_t'' = espesor requerido se-
gún ASME, (in)

t_t''' = espesor según Bases (IV.7) y
de Diseño, (in) (VI.a.4)

$t_t \geq (t^* + c_o)$ t_t = espesor comercial, (in)
 c_o = corrosión permisible, (in) (IV.4)

VI.j.7 Diámetro de la tapa

A = diámetro de la tapa, (in) (VI.c.39)

SECUENCIA K

CALCULO Y SELECCION DEL DIAMETRO DE LAS BOQUILLAS DE ENTRADA DE VAPOR.

VI.k.1 Flujo volumétrico de vapor

$$W_v' = \frac{W_v \bar{v}}{3600}$$

W_v' = flujo volumétrico de vapor a la entrada al intercambiador de calor, (ft³/seg)

\bar{v} = volúmen específico del vapor a la entrada, (ft³/lb) (IV.1)

W_v = flujo másico de vapor, (lb/hr) (IV.1)

VI.k.2 Velocidad del vapor recomendada

$$V_v = \frac{V_v'}{60}$$

V_v = velocidad del vapor recomendada, (ft/seg) (t.6)

V_v' = velocidad del vapor recomendada, (ft/min)

VI.k.3 Area transversal de la boquilla

$$A = \frac{Wv'}{v_v}$$

A = área transversal de la boquilla, (ft²)

v_v = velocidad del vapor recomendada, (ft/seg)

Wv' = flujo volumétrico de vapor a la entrada, (ft³/seg)

VI.k.4 Diámetro de la boquilla

$$Db' = 12 \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Db' = diámetro interior de la boquilla, (in)

A = área transversal de la boquilla, (ft²)

$$\pi = 3.1416$$

VI.k.5 Diámetro comercial de la boquilla

$$Db'' \approx Db'$$

Db' = diámetro interior de la boquilla, calculado, (in)

Db'' = diámetro interior comercial, (in) (t.9)

Db = diámetro nominal, (in) (t.9)

Nc	Nc = número de cédula	(t.9)
Dbe	Dbe = diámetro exterior de la pared de la boquilla,	(t.9)
	(in)	

VI.k.6 Selección de las bridas para las boquillas de la envolvente

$D_{F2} = f(D_b)$	D_{F2} = diámetro nominal de la brida,	(t.29)
	(in)	
	D_b = diámetro nominal de las boquillas de la envolvente,	(in)
$DB = f(D_{F2})$	DB = diámetro exterior de la boquilla bridada,	(t.29)
	(in)	

VI.k.7 Selección del diámetro de las boquillas del cabezal de entrada.

DNI	DNI = diámetro nominal de las boquillas del ca bezal de entrada,	(in)
dBI	dBI = diámetro interior de las boquillas del cabezal de entrada,	(t.9)
	(in)	

N_c $N_c =$ número de cédula (t.9)

VI.k.8 Selección de la brida para las boquillas del cabezal de entrada

$D_{F1} = f(D_{N1})$

$D_{F1} =$ diámetro nominal de las bridas de las boquillas del cabezal de entrada, (in)

$D_{N1} =$ diámetro nominal de las boquillas del cabezal de entrada, (in)

$O_{B1} = f(D_{F1})$

$O_{B1} =$ diámetro exterior de la boquilla bridada, (in)

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA A

CALCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE POR PRESION INTERNA

A.VI.a.1 Espesor de la coraza sometida a esfuerzos circunferenciales

ECUACION

$$t' = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

aplica si

$$P \leq 0.385(SE)$$

DATOS

$$E = 1.0 \text{ (tubo sin costura)}$$

$$P = 75, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

$$R = 6, \text{ (in)}$$

$$S = 15000, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

SUSTITUCION

$$0.385(SE) = 0.385(15000)1.0$$

$$P \leq 5775$$

$$t' = \frac{75(6)}{15000(1.0) - 0.6(75)}$$

RESULTADO

$$t' = 0.03, \text{ (in)}$$

A.VI.a.2 Espesor de la coraza sometida a esfuerzos longitudinales

ECUACION

$$t' = \frac{PR}{2SE + 0.4P}$$

aplica si

SUSTITUCION

$$1.25(SE) = 1.25(15000)1.0$$

$$P \leq 18750$$

$$P \leq 1.25 \text{ (SE)}$$

$$t' = \frac{75(6)}{2(15000)1.0 + 0.4(75)}$$

DATOS

$$E = 1.0$$

$$P = 75, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

$$R = 6, \text{ (in)}$$

$$S = 15000, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

RESULTADO

$$t' = 0.015, \text{ (in)}$$

A.VI.a.3 Espesor incluyendo corrosión

ECUACION

$$t_c = t' + c_o$$

SUSTITUCION

$$t_c = 0.03 + 0.0625$$

DATOS

$$t' = 0.03, \text{ (in)}$$

$$c_o = 0.0625, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$t_c = 0.0925, \text{ (in)}$$

A.VI.a.4 Espesor comercial

$$t = \text{No. Cédula}$$

$$t = 0.330 \text{ (cédula 30)}$$

$$\text{ó } t = 0.406 \text{ (cédula 40)}$$

Se elegirá el más comercial

$$t = 0.406, \text{ (in)}$$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA AA. CALCULO DEL ESPESOR DE LOS TUBOS POR PRESION INTERNA.

A.VI.a.a.1 Espesor de los tubos sometidos a esfuerzos circunferenciales.

ECUACION

$$t' = \frac{PR_o}{SE + 0.4P}$$

DATOS

$$E = 1.0$$

$$P = 75, (\text{lb/in}^2)$$

$$R_o = 0.375, (\text{in})$$

$$S = 9800, (\text{lb/in}^2)$$

SUSTITUCION

$$t' = \frac{75(0.375)}{9800(1.0) + 0.4(75)}$$

RESULTADO

$$t' = 0.0029, (\text{in})$$

A.VI.a.a.2 Espesor de los tubos sometidos a esfuerzos longitudinales.

ECUACION

$$t' = \frac{PR_o}{2SE + 1.4P}$$

DATOS

$$E = 1.0$$

SUSTITUCION

$$t' = \frac{75(0.375)}{2(9800) + 1.4(75)}$$

$$P = 75, (\text{lb/in}^2)$$

$$R_o = 0.375, (\text{in})$$

$$S = 900, (\text{lb/in}^2)$$

RESULTADO

$$t' = 0.0014, (\text{in})$$

A.VI.a.a.3 Espesor recomendado por TEMA

$$t' = f(\text{do}, \text{BWG})$$

$$\text{do} = 0.75, (\text{in})$$

$$\text{BWG} = 16$$

$$t' = 0.065, (\text{in})$$

A.VI.a.a.4 Espesor final de los tubos

$$t \geq t'$$

$$t' = 0.065, (\text{in})$$

$$t = 0.065, (\text{in})$$

SECUENCIA B

DISEÑO MECANICO DE LA ENVOLVENTE POR PRESION EXTERNA

A.VI.b.1 Relación diámetro-espesor

ECUACION

$$R_1 = \frac{D_o}{t}$$

SUSTITUCION

$$R_1 = \frac{12}{0.406}$$

DATOS

$$D_o = 12, \text{ (in)}$$

$$t = 0.406, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$R_1 = 29.55$$

A.VI.b.2 Relación longitud-diámetro

ECUACION

$$R_2 = \frac{L}{D_o}$$

SUSTITUCION

$$R_2 = \frac{72}{12}$$

DATOS

$$D_o = 12, \text{ (in)}$$

$$L = 72, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$R_2 = 6$$

A.VI.b.3 Factor A

DATOS

$$R_1 = 29.55$$

$$R_2 = 6$$

RESULTADO

$$FA = 0.0015$$

A.VI.b.4 Factor B

DATOS

$$FA = 0.0015$$

$$E_f = 30000, (\text{lb/in}^2)$$

$$T = 350, (^\circ\text{F})$$

RESULTADO

$$FB = 13\ 800$$

A.VI.b.5 Presión admisible

ECUACION

$$Pa = \frac{4\ FB}{3\ R_1}$$

SUSTITUCION

$$Pa = \frac{4\ (13\ 000)}{29.55}$$

DATOS

$$FB = 13\ 000$$

$$R_1 = 29.55$$

RESULTADO

$$Pa = 1759.7, (\text{lb/in}^2)$$

A.VI.b.6 Comparación de la presión admisible y la presión externa

$$Pa : Pe$$

$$Pa = 1759.7 (\text{lb/in}^2)$$

$$Pe = 14.7, (\text{lb/in}^2)$$

$$Pa \gg Pe$$

EL ESPESOR SUPUESTO ES
SUFICIENTE

MEMORIA DE CALCULO, DISEÑO MECANICO

SECUENCIA BB. CALCULO DEL ESPESOR DE LOS TUBOS POR PRESION EXTERNA.

A.VI.b.b.1 Relación diámetro-espesor

ECUACION

$$R_1 = \frac{d_o}{t}$$

DATOS

$$d_o = 0.75, (\text{in})$$

$$t = 0.065, (\text{in})$$

SUBSTITUCION

$$R_1 = \frac{0.75}{0.065}$$

RESULTADO

$$R_1 = 11.54$$

A.VI.b.b.2 Relación longitud-diámetro

ECUACION

$$R_2 = \frac{d_o}{t}$$

DATOS

$$d_o = 0.75, (\text{in})$$

$$L = 72, (\text{in})$$

SUBSTITUCION

$$R_2 = \frac{72}{0.75}$$

$$R_2 = 96$$

RESULTADO

$$R_2 = 50$$

A.VI.b.b.3 Factor A

DATOS

$$R_1 = 11.54$$

$$R_2 = 50$$

RESULTADO

$$FA = 0.01$$

A.VI.b.b.4 Factor B

DATOS

$$FA = 0.01$$

$$E_f = 14.1 \times 10^6, (\text{lb/in}^2)$$

$$T = 350, (^\circ\text{F})$$

RESULTADO

$$FB = 3500$$

A.VI.b.b.5 Presión admisible

ECUACION

$$P_a = \frac{4 FB}{3 R_1}$$

DATOS

$$FB = 3500$$

$$R_1 = 11.54$$

SUBSTITUCION

$$P_a = \frac{4(3500)}{3(11.54)}$$

RESULTADO

$$P_a = 404.4, (\text{lb/in}^2)$$

A.VI.b.b.6 Comparación entre la presión admisible y la presión externa

$$P_a : P_e$$

$$P_a = 404.4, (\text{lb/in}^2)$$

$$P_e = 75, (\text{lb/in}^2)$$

$$\therefore P_a > P_e$$

EL ESPESOR SUPUESTO ES
SUFICIENTE

MEMORIA DE CALCULO DE DISEÑO MECANICO

SECUENCIA C

DISEÑO MECANICO DE BRIDAS

A.VI.c.1 Diagrama de fuerzas actuantes sobre la brida

Ver figura VI.1 (VI.c.1)

A.VI.c.2 Detalle del empaque

Ver punto VI.c.2

A.VI.c.3 Características del empaque

$$N = 0.375, (\text{in})$$

$$b_0 = \frac{N}{2} = \frac{0.375}{2} = 0.1875, (\text{in})$$

$$b = b_0$$

$$b = 0.1875, (\text{in})$$

Tipo de empaque: asbesto

$$y = 1600, (\text{lb/in}^2)$$

$$m = 2.0$$

A.VI.c.4 Diámetro interno del empaque

ECUACION

$$\text{DIE} = B + 2c_0$$

SUSTITUCION

$$\text{DIE} = 12 + 2(0.0625)$$

DATOS

$$B = 12, (\text{in})$$

$$c_o = 0.0625, (\text{in})$$

RESULTADO

$$DIE = 12.125, (\text{in})$$

A.VI.c.5 Diámetro externo del empaque

ECUACION

$$DEE = DIE + 2N$$

SUSTITUCION

$$DEE = 12.125 + 2(0.375)$$

DATOS

$$DIE = 12.125, (\text{in})$$

$$N = 0.375, (\text{in})$$

RESULTADO

$$DEE = 12.875, (\text{in})$$

A.VI.c.6 Esfuerzos permisibles según ASME

$$\text{BRIDA } T = 350, (^\circ\text{F}) \quad s_{fo} = 17500, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

$$T_a = 64, (^\circ\text{F}) \quad s_{fa} = 17500, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

$$\text{PERNOS } T = 350, (^\circ\text{F}) \quad s_{bo} = 23000, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

$$T_a = 64, (^\circ\text{F}) \quad s_{ba} = 23000, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

A.VI.c.7 Diámetro efectivo del empaque

ECUACION

$$G = DEE - 2b$$

SUSTITUCION

$$G = 12.875 - 2(0.1875)$$

DATOS

$$b = 0.1875, (\text{in})$$

RESULTADO

$$\text{DEE} = 12.875, (\text{in})$$

$$G = 12.5, (\text{in})$$

A.VI.c.8 Fuerza requerida para mantener el empaque asentado

ECUACION

SUSTITUCION

$$Wm_2 = \pi b G y$$

$$Wm_2 = 3.1416(0.1875)12.5(1600)$$

DATOS

$$b = 0.1875, (\text{in})$$

$$G = 12.5, (\text{in})$$

$$\pi = 3.1416$$

$$y = 1600, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

RESULTADO

$$Wm_2 = 11781, (\text{lb})$$

A.VI.c.9 Carga de presión hidrostática

ECUACION

SUSTITUCION

$$H = \frac{\pi G^2 P}{4}$$

$$H = \frac{3.1416(12.5)^2 75}{4}$$

DATOS

$$G = 12.5, (\text{in})$$

$$P = 75, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

$$\pi = 3.1416$$

RESULTADO

$$H = 9204, (\text{lb})$$

A.VI.c.10 Reacción del empaque

ECUACION	SUSTITUCION
$H_p = 2 \pi G m P$	$H_p = 2(3.1416) 12.5 (2.0) 75$

DATOS

$G = 12.5, (\text{in})$

$m = 2.0$

$P = 75, (\text{lb/in}^2)$

$\pi = 3.1416$

RESULTADO

$H_p = 2209, (\text{lb})$

A.VI.c.11 Carga para mantener la junta hermética

ECUACION	SUSTITUCION
$W_{m1} = H + H_p$	$W_{m1} = 9204 + 2209$

DATOS

$H = 9204, (\text{lb})$

$H_p = 2209, (\text{lb})$

RESULTADO

$W_{m1} = 11413, (\text{lb})$

A.VI.c.12 Area de pernos requerida

ECUACION	SUSTITUCION
$W_{m2} > W_{m1}$	$A_m = \frac{11\,781}{23\,000}$

$A_m = \frac{W_{m2}}{S_{bo}}$

DATOS

$$Wm_2 = 11\,781, \text{ (lb)}$$

$$Sbo = 23\,000, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

RESULTADO

$$Am = 0.512, \text{ (in}^2\text{)}$$

A.VI.c.13 Selección de pernos

$$dp = 0.5, \text{ (in)}$$

$$ap = 0.126, \text{ (in}^2\text{/perno)}$$

A.VI.c.14 Número requerido de pernos

ECUACION

$$Nb' = \frac{Am}{ap}$$

SUSTITUCION

$$Nb' = \frac{0.512}{0.126}$$

DATOS

$$Am = 0.512, \text{ (in}^2\text{)}$$

$$ap = 0.126, \text{ (in}^2\text{)}$$

RESULTADO

$$Nb' = 4.06$$

$$Nb = 8, \text{ (pernos)}$$

A.VI.c.15 Area total de pernos

ECUACION

$$Ab = Nb \times ap$$

SUSTITUCION

$$Ab = 8 (0.126)$$

DATOS

$$ap = 0.126, \text{ (in}^2\text{)}$$

RESULTADO

$$N_b = 8$$

$$A_b = 1.008, (\text{in}^2)$$

A.VI.c.16 Diámetro del círculo de pernos, (in)

ECUACION

$$c = 2 (h + R + t) + B$$

SUSTITUCION

$$c = 2(0.7(0.406) + 0.8125 + 0.406)$$

DATOS

$$B = 12, (\text{in})$$

$$h_s = 0.7t, (\text{in})$$

$$R = 0.8125, (\text{in})$$

$$t = 0.406, (\text{in})$$

RESULTADO

$$c = 15,0054, (\text{in})$$

$$c = 15, (\text{in})$$

A.VI.c.17 Espaciamiento entre pernos

ECUACION

$$E_{\text{real}} = \frac{\pi c}{N_b}$$

SUSTITUCION

$$E_{\text{real}} = \frac{3.1416 (15)}{8}$$

DATOS

$$c = 15, (\text{in})$$

$$N_b = 8$$

$$\pi = 3.1416$$

RESULTADO

$$E_{\text{real}} = 5.89, (\text{in})$$

$$E_{\text{min}} = 1.25, (\text{in})$$

A.VI.c.18 Carga de diseño de pernos

ECUACION	SUSTITUCION
$W = Ab \times Sbo$	$W = 1.008 (23\ 000)$
DATOS	
$Ab = 1.008, (in^2)$	RESULTADO
$Sbo = 23\ 000, (lb/in^2)$	$W = 23\ 184, (lb)$

A.VI.c.19 Ancho mínimo requerido del empaque

ECUACION	SUSTITUCION
$N\ min' = \frac{W}{2\ \pi\ y\ G}$	$N\ min' = \frac{23\ 184}{2(3.1416)\ 1600(12.5)}$
DATOS	
$G = 12.5, (in)$	
$\pi = 3.1416$	
$y = 1600, (lb/in^2)$	RESULTADO
$W = 23\ 184, (lb)$	$N\ min' = 0.1845, (in)$

A.VI.c.20 Comparación entre valores reales y supuestos

$E\ real = 5.89, (in)$	$E\ real > E\ min$
$E\ min = 1.25, (in)$	
$N\ min = 0.375, (in)$	$N\ min > N\ min'$
$N\ min' = 0.1845, (in)$	

Cargas para operación

A.VI.c.21 Fuerza hidrostática sobre el área interior de la brida

ECUACION

$$H_D = \frac{\pi B^2 P}{4}$$

SUSTITUCION

$$H_D = \frac{3.1416(12)^2 75}{4}$$

DATOS

$$B = 12, \text{ (in)}$$

$$P = 75, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

$$\pi = 3.1416$$

RESULTADO

$$H_D = 8482.3, \text{ (lb)}$$

A.VI.c.22 Fuerza sobre el empaque

ECUACION

$$H_G = W - H$$

SUSTITUCION

$$H_G = 23\,184 - 9204$$

DATOS

$$H = 9204, \text{ (lb)}$$

$$W = 23\,184, \text{ (lb)}$$

RESULTADO

$$H_G = 13\,980, \text{ (lb)}$$

A.VI.c.23 Diferencia entre fuerzas hidrostáticas

ECUACION

$$H_T = H - H_D$$

SUSTITUCION

$$H_T = 9204 - 8482.3$$

DATOS

$$H = 9204, \text{ (lb)}$$

RESULTADO

$$H_D = 8482.3, \text{ (lb)}$$

$$H_T = 721.7, \text{ (lb)}$$

Brazos de palanca

A.VI.c.24 Brazo de palanca de la fuerza H_D

ECUACION

SUSTITUCION

$$h_D = 0.5 (C - B)$$

$$h_D = 0.5 (15 - 12)$$

DATOS

$$B = 12, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$C = 15, \text{ (in)}$$

$$h_D = 1.5, \text{ (in)}$$

A.VI.c.25 Brazo de palanca de la fuerza H_G

ECUACION

SUSTITUCION

$$h_G = 0.5 (C - G)$$

$$h_G = 0.5 (15 - 2.5)$$

DATOS

$$C = 15, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$G = 12.5, \text{ (in)}$$

$$h_G = 1.25, \text{ (in)}$$

A.VI.c.26 Brazo de palanca de la fuerza H_T

ECUACION

SUSTITUCION

$$h_T = 0.5(h_D + h_G)$$

$$h_T = 0.5(1.5 + 1.25)$$

DATOS

$$h_D = 1.5, \text{ (in)}$$

$$h_G = 1.25, \text{ (in)}$$

A.VI.c.27 Componente M_D

ECUACION

$$M_D = H_D h_D$$

DATOS

$$H_D = 8482.3, \text{ (lb)}$$

$$h_D = 1.5, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$h_T = 1.375, \text{ (in)}$$

SUSTITUCION

$$M_D = 8482.3 (1.5)$$

RESULTADO

$$M_D = 12\,723.45, \text{ (lb-in)}$$

A.VI.c.28 Componente M_G

ECUACION

$$M_G = H_G h_G$$

DATOS

$$H_G = 13\,980, \text{ (lb)}$$

$$h_G = 1.25, \text{ (in)}$$

SUSTITUCION

$$M_G = 13\,980 (1.25)$$

RESULTADO

$$M_G = 17\,475, \text{ (lb-in)}$$

A.VI.c.29 Componente M_T

ECUACION

$$M_T = H_T h_T$$

SUSTITUCION

$$M_T = 721.7 (1.375)$$

DATOS

$$H_T = 721.7, \text{ (lb)}$$

$$h_T = 1.375, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$M_T = 992.3375, \text{ (lb-in)}$$

A.VI.C.30 Momento total por operación

ECUACION

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

SUSTITUCION

$$M_o = 12\,723.45 + 17\,475 + 992.3375$$

DATOS

$$M_D = 12\,723.45, \text{ (lb-in)}$$

$$M_G = 17\,475, \text{ (lb-in)}$$

$$M_T = 992.3375, \text{ (lb-in)}$$

RESULTADO

$$M_o = 31\,190.8, \text{ (lb-in)}$$

A.VI.C.31 Momento por asentamiento del empaque

ECUACION

$$M_A = wh_G$$

SUSTITUCION

$$M_A = 23\,184 \text{ (1.25)}$$

DATOS

$$h_G = 1.25, \text{ (in)}$$

$$w = 23\,184, \text{ (lb)}$$

RESULTADO

$$M_A = 28\,980, \text{ (lb-in)}$$

Cálculo de las constantes de forma

A.VI.C.32 Diámetro externo de la brida

ECUACION

SUSTITUCION

$$A = c + E$$

$$A = 15 + 0.625$$

DATOS

$$c = 15, (\text{in})$$

RESULTADO

$$E = 0.625, (\text{in})$$

$$A = 15.625, (\text{in})$$

A.VI.C.33 Relación de diámetros de la brida

ECUACION

SUSTITUCION

$$K = \frac{A}{B}$$

$$K = \frac{15.625}{12}$$

DATOS

$$A = 15.625, (\text{in})$$

RESULTADO

$$B = 12, (\text{in})$$

$$K = 1.302, (\text{in})$$

A.VI.C.34 Carga para operación

ECUACION

SUSTITUCION

$$M = \frac{M_o}{B}$$

$$M = \frac{31\,190.8}{12}$$

DATOS

$$B = 12, (\text{in})$$

RESULTADO

$$M_o = 31\,190.8 (\text{lb/in})$$

$$M = 2\,599.2, (\text{lb})$$

A.VI.C.35 Carga por asentamiento del empaque

ECUACION	SUSTITUCION
$M' = \frac{M_A}{B}$	$M' = \frac{28\ 980}{12}$
DATOS	
$M_A = 28\ 980, \text{ (lb-in)}$	RESULTADO
$B = 12, \text{ (in)}$	$M' = 2415, \text{ (lb)}$

A.VI.C.36 Espesor requerido bajo condiciones de operación

ECUACION	SUSTITUCION
$t_{f'} = \left[\frac{My}{S_{fo}} \right]^{\frac{1}{2}}$	$t_{f'} = \left[\frac{2599.2(7.5)}{17\ 500} \right]^{\frac{1}{2}}$
DATOS	
$M = 2599.2, \text{ (lb)}$	
$S_{fo} = 17\ 500, \text{ (lb/in}^2\text{)}$	RESULTADO
$y = 7.5,$	$t_{f'} = 1.114, \text{ (in)}$

A.VI.C.37 Espesor requerido por asentamiento del empaque

ECUACION	SUSTITUCION
$t_{f''} = \left[\frac{M'y}{S_{fo}} \right]^{\frac{1}{2}}$	$t_{f''} = \left[\frac{2415(7.5)}{17500} \right]^{\frac{1}{2}}$
DATOS	
$M' = 2415, \text{ (lb)}$	

$$S_{fo} = 17\,500, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

$$y = 7.5$$

RESULTADO

$$t_{f''} = 1.035$$

A.VI.C.38 Espesor comercial

$$t_{f'} \quad t_{f''}$$

$$t_{f*} = t_{f'}$$

$$= 1.114, \text{ (in)}$$

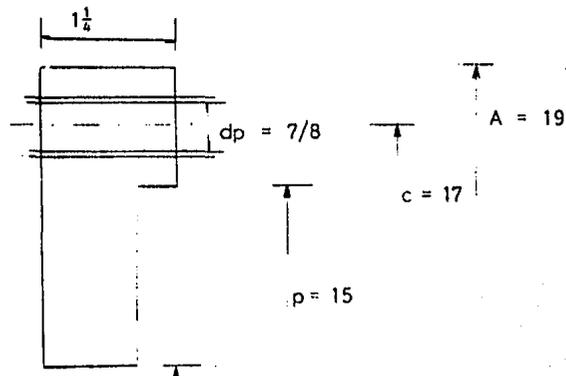
$$t_f = 1.125, \text{ (in)}$$

A.VI.C.39 Selección de la brida. Dimensiones

$$P = 75, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

$$T = 250, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

Tipo de brida: Clase 150



Todas las acotaciones están en pulgadas, sin escala.

$$N_p = 12, \text{ (pernos)}$$

$$a_p = 0.419, \text{ (in}^2\text{)}$$

$$A_b = a_p N_p$$

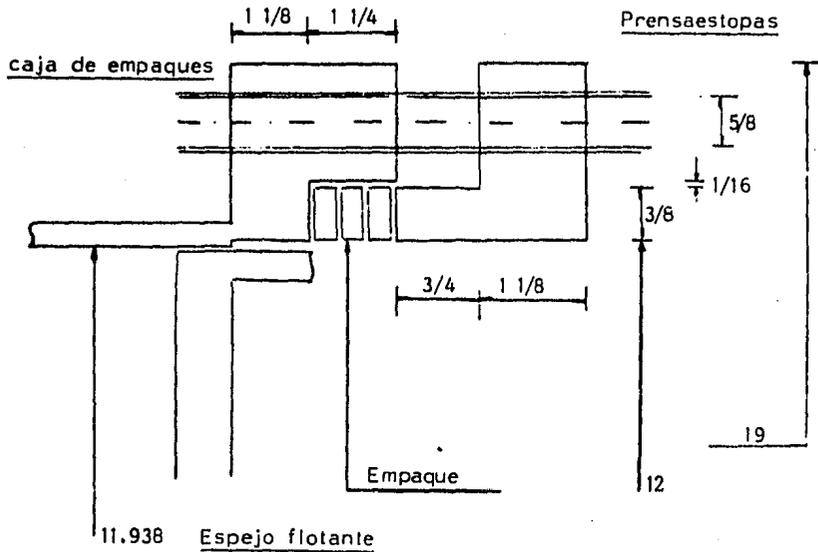
$$A_b = 5.028, \text{ (in}^2\text{)}$$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA D

DIMENSIONAMIENTO DE LA CAJA DE EMPAQUES Y DEL PRENSAESTOPAS

A.VI.d.1 Diagrama



Nota: Todas las acotaciones son en pulgadas, sin escala.

N_p = número de pernos = 12

a_p = área transversal del perno = $0.419, (in^2)$

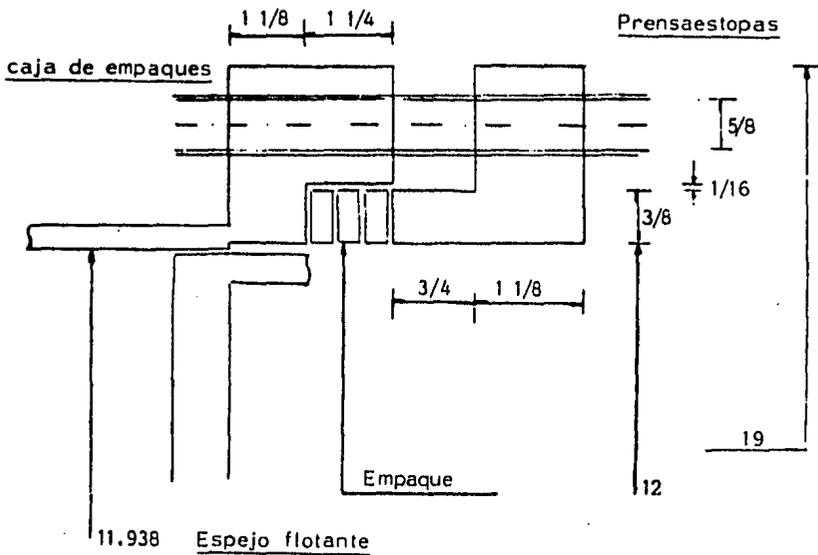
d_p = diámetro de pernos = $\frac{7}{8}, (in)$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA D

DIMENSIONAMIENTO DE LA CAJA DE EMPAQUES Y DEL PRESNAESTOPAS

A.VI.d.1 Diagrama



Nota: Todas las acotaciones son en pulgadas, sin escala.

N_p = número de pernos = 12

a_p = área transversal del perno = 0.419, (in²)

d_p = diámetro de pernos = 7/8, (in)

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA E

DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTILLA DE CIRCULOS

A.VI.e.1 Diámetro interior de la coraza, D_H

$$D_H = \text{diámetro nominal} = 12, (\text{in})$$

$$N^\circ \text{ cédula} = 40$$

$$D = 11.938$$

A.VI.e.2 Número total de tubos, N_t

$$N_t = 76 \text{ tubos}$$

A.VI.e.3 Diámetro nominal de tubos, d_t

$$d_t = 0.75, (\text{in})$$

A.VI.e.4 Diámetro exterior de tubos, d_o

$$d_o = 0.75, (\text{in})$$

A.VI.e.5 Espaciamiento entre centros de tubos, P_t y tipo de arreglo

$$P_t = 1, (\text{in}) \text{ en arreglo triangular normal}$$

A.VI.e.6 Diámetro de varillas tensoras, d_v

$$d_v = 0.25, (\text{in})$$

A.VI.e.7 Diámetro nominal de espaciadores, d_e

$$d_e = 0.25, \text{ (in)}$$

$$N^\circ \text{ cédula} = 80$$

A.VI.e.8 Número y dimensiones de ranuras para fajas de sello

$$N^\circ \text{ de ranuras} = 6$$

$$a_r = \text{ancho} = 0.375, \text{ (in)}$$

$$l_r \text{ profundidad} = 0.5, \text{ (in)}$$

A.VI.e.9 Número y dimensiones de ranuras para placas de partición

$$N^\circ \text{ de ranuras en el espejo flotante} = 1$$

$$N^\circ \text{ de ranuras en el espejo estacionario} = 3$$

$$a = \text{ancho} = 0.25, \text{ (in)}$$

$$l = \text{profundidad} = 0.1875, \text{ (in)}$$

A.VI.e.10 Diámetro del círculo formado por los centros de tubos

$$D_c = 9.375, \text{ (in)}$$

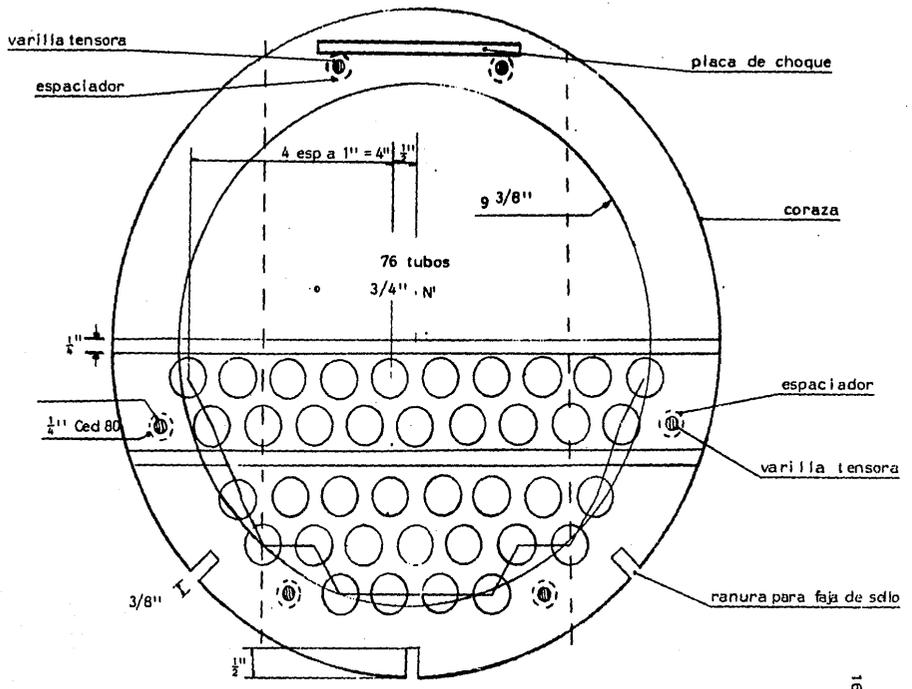


FIGURA A.VI.e.1

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA F

ESPESOR DEL ESPEJO ESTACIONARIO DEL CABEZAL A

A.VI.f.1 Espesor requerido por flexión

ECUACION

$$t_{e'} = \frac{FG}{2} \left[\frac{P}{S} \right]^{\frac{1}{2}}$$

SUSTITUCION

$$t_{e'} = \frac{1.0 (12.5)}{2} \left[\frac{75}{17\,500} \right]^{\frac{1}{2}}$$

DATOS

$$F = 1.0$$

$$G = 12.5, (\text{In})$$

$$P = 75, (\text{lb/in}^2)$$

$$S = 17\,500, (\text{lb/in}^2)$$

RESULTADO

$$t_{e'} = 0.409, (\text{in})$$

A.VI.f.2 Espesor requerido por cortante

ECUACION

$$t_{e''} = \frac{0.31 Dc}{1 - \frac{d_o}{Pt}} \left[\frac{P}{S} \right]$$

no influye si

$$\frac{P}{S} < 1.6 \left[1 - \frac{d_o}{Pt} \right]^2$$

SUSTITUCION

$$\frac{D}{S} = \frac{75}{17\,500} = 0.0042$$

$$1.6 \left[1 - \frac{d_o}{Pt} \right]^2 = 1.6 \left[1 - \frac{0.75}{1.0} \right]^2 = 0.1$$

$$0.0042 < 0.1$$

DATOS

$$D_c = 9.375, (\text{in})$$

$$d_o = 0.75, (\text{in})$$

$$P = 75, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

$$P_t = 1.0, (\text{in})$$

$$S = 17\,500, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

RESULTADO

NO APLICA

A.VI.f.3 Espesor requerido según TEMA "C" y espesor comercial

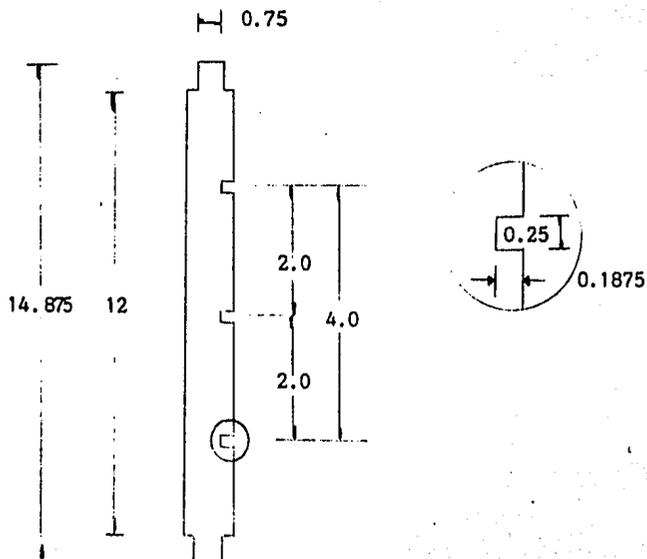
$$t_{e''' } = 0.75 (d_o) = 0.75 (0.75) = 0.5625, (\text{in})$$

$$t_e^* = 0.5625$$

$$t_e = t_e^* + 2c_o = 0.5625 + 2(0.0625) = 0.6875$$

$$t_e = 0.75, (\text{in})$$

A.VI.f.4 Diagrama

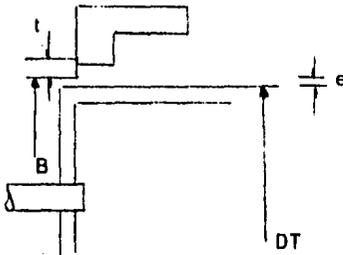


MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA G

ESPESOR DEL ESPEJO DEL CABEZAL FLOTANTE.

A.VI.g.1 Diagrama del espejo



$$B = 11.938, (\text{in})$$

$$e = 0.0625, (\text{in})$$

$$t = 0.406, (\text{in})$$

A.VI.g.2 Diámetro del espejo

ECUACION

$$DT = B - 2e$$

SUSTITUCION

$$\begin{aligned} DT &= 11.933 - 2(0.03125) \\ &= 11.875, (\text{in}) \end{aligned}$$

DATOS

$$B = 11.938, (\text{in})$$

$$e = 0.03125, (\text{in})$$

RESULTADO

$$DT = 11.875, (\text{in})$$

A.VI.g.3 Presión de diseño por flexión

ECUACION

$$Pd = P_1 + P_2 \left[\frac{1.25 (DT^2 - D_c^2)(DT - D_c)}{DT (FG)^2} \right]$$

SUSTITUCION

$$Pd = 75 + 75 \frac{1.25(11.875^2 - 9.375^2)(11.975 - 9.375)}{11875(1.0)(12.5)^2}$$

DATOS

$$Dc = 9.375, (\text{in})$$

$$DT = 11.875, (\text{in})$$

$$F = 1.0$$

$$G = 12.5, (\text{in})$$

$$P_1 = 75, (\text{lb/in}^2)$$

$$P_2 = 75, (\text{lb/in}^2)$$

RESULTADO

$$Pd = 81.7, (\text{lb/in}^2)$$

A.VI.g.4 Espesor requerido por flexión

ECUACION

$$t_{e'} = \frac{FG}{2} \left[\frac{Pd}{S} \right]^{\frac{1}{2}}$$

DATOS

$$F = 1.0$$

$$G = 12.5 (\text{in})$$

$$P = 81.7, (\text{lb/in}^2)$$

$$S = 17500, (\text{lb/in}^2)$$

SUSTITUCION

$$t_{e'} = \frac{1.0(12.5)}{2} \left[\frac{81.7}{17500} \right]^{\frac{1}{2}}$$

RESULTADO

$$t_{e'} = 0.427, (\text{in})$$

A.VI.g.5 Espesor requerido por cortante

ECUACION

$$P_c = P_1 + P_2 \left[\frac{DT^2 - D_c^2}{D_c^2} \right]$$

$$t_{e''} = \frac{0.31 D_c P_c}{\left[1 - \frac{d_o}{P_t} \right] S}$$

no aplica si

$$\frac{P_c}{S} < 1.6 \left[1 - \frac{d_o}{P_t} \right]$$

DATOS

$$D_c = 9.375, \text{ (in)}$$

$$d_o = 0.75, \text{ (in)}$$

$$DT = 11.875, \text{ (in)}$$

$$P_t = 1, \text{ (in)}$$

$$P_1 = 75, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

$$P_2 = 75, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

SUSTITUCION

$$P_c = 75 + 75 \left[\frac{11.875^2 - 9.375^2}{9.375^2} \right]$$

$$P_c = 120.33$$

$$\frac{P_c}{S} = \frac{120.33}{17500} = 0.00687$$

$$1.6 \left[1 - \frac{d_o}{P_t} \right] = 1.6 \left[1 - \frac{0.75}{1.4} \right] = 0.4$$

$$0.00687 < 0.4$$

RESULTADO

NO APLICA

A.VI.g.6 Espesor requerido según TEMA "C" y espesor comercial

$$t_{e'''} = 0.75 \text{ (do)} = 0.75(0.75) = 0.5625$$

$$t_{e^*} = 0.5625, \text{ (in)}$$

$$t_e = t_{e^*} + 2C_o = 0.5625 + 2(0.0625) = 0.6875$$

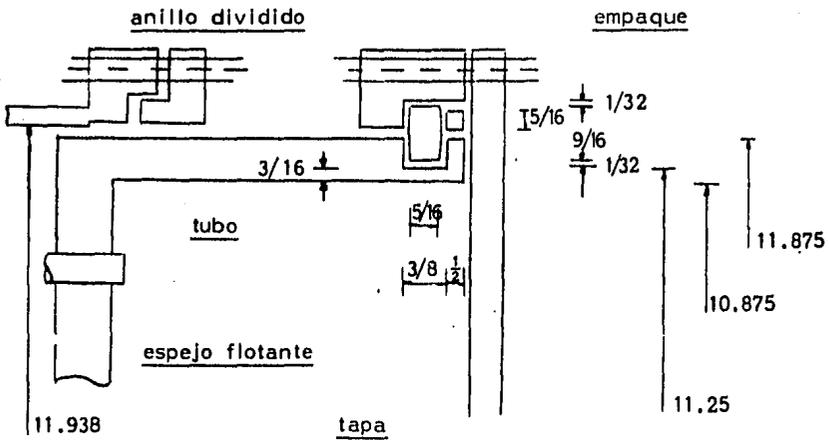
$$t_e = 0.75, \text{ (in)}$$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA H

DIMENSIONAMIENTO DEL ANILLO DIVIDIDO DEL CABEZAL P

A.VI.h.1 Diagrama



Nota: Todas las acotaciones están en pulgadas, sin escala.

A.VI.h.2. Dimensiones del anillo dividido

$$D = 0.5625, (\text{in})$$

$$E = 0.3125, (\text{in})$$

$$P = 75, (\text{lb/in}^2)$$

A.VI.h.3 Diámetro exterior de la sección ranurada

ECUACION

SUSTITUCION

$$DEC = DT - D - 2e$$

$$DEC = 11.875 - 0.5625 - 2(0.03125)$$

DATOS

$$D = 0.5625, \text{ (in)}$$

$$DT = 11.875, \text{ (in)}$$

$$e = 0.03125, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$DEC = 11.25, \text{ (in)}$$

A.VI.h.4 Diámetro interior del faldón del cabezal P

ECUACION

SUSTITUCION

$$DIC' = DEC - 2t$$

$$DIC' = 11.25 - 2(0.0925)$$

DATOS

$$DEC = 11.25, \text{ (in)}$$

$$t = 0.0925, \text{ (in)}$$

$$DIC = 10.875, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$DIC' = 11.065, \text{ (in)}$$

A.VI.h.5 Espesor disponible

ECUACION

$$t = \frac{DEC - DIC}{2}$$

$$t = \frac{11.25 - 10.875}{2}$$

DATOS

$$DEC = 11.25, \text{ (in)}$$

$$DIC = 10.875, \text{ (in)}$$

RESULTADO

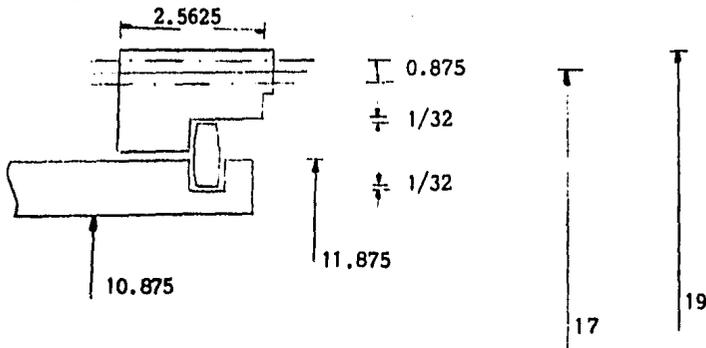
$$t = 0.1875, \text{ (in)}$$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA I

ESPESOR DE LA BRIDA DEL CABEZAL P

A.VI.i.1 Diagrama



Nota: Todas las acotaciones están en pulgadas, sin escala

A.VI.i.2 Espesor de la brida

ECUACION

$$t_{B1} = \frac{N a_p f_y}{DT f_s}$$

SUSTITUCION

$$t_{B1} = \frac{12(0.419) 36\ 000}{11.875 (6000)}$$

DATOS

$$a_p = 0.419, (\text{in}^2)$$

$$DT = 11.875$$

$$f_y = 36\ 000, (\text{lb/in}^2)$$

$$f_y = 36\,000, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

$$f_s = \frac{f_y}{6} = 6000, (\text{lb}/\text{in}^2)$$

$$N = 12$$

RESULTADO

$$t_B = 2.54, (\text{in})$$

A.VI.1.3 Espesor comercial

$$t_B \approx 2.54, (\text{in})$$

$$t_B = 2.5625, (\text{in})$$

A.VI.1.4 Diámetro exterior de la brida

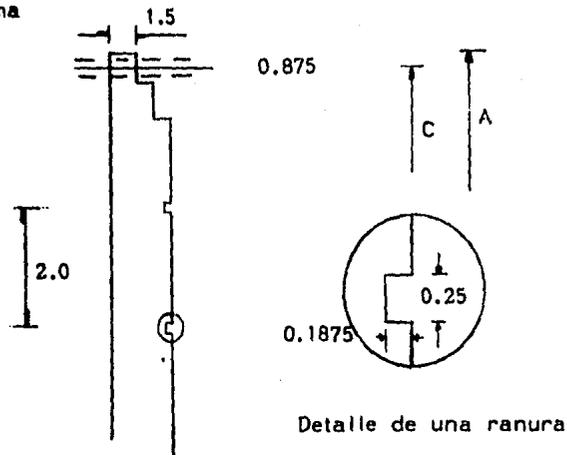
$$A = 19, (\text{in})$$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA J

ESPESOR DE LAS TAPAS

A.VI.j.1 Diagrama



Nota: Todas las acotaciones están en pulgadas, sin escala

A.VI.j.2 Dimensiones y número de ranuras

$a = 0.25$, (in)

N_R cabezal A = 3 (véase figura)

$l = 0.1875$, (in)

N_R cabezal P = 1 (colocación central)

A.VI.j.3 Localización de las ranuras

$R_1 = 2.0$, (in)

$$R_2 = 2.0, (\text{in})$$

$$R_3 = 2 + 2 = 4.0, (\text{in})$$

A.VI.j.4 Espesor de la tapa según código TEMA "C"

ECUACION

$$t_{t'} = \left[5.7 P \left(\frac{G}{100} \right)^4 + 2.0 \frac{h_g Ab}{[dp]^{0.5}} \cdot \frac{G}{100} \right]^{1/3}$$

SUSTITUCION

$$t_{t'} = \left[5.7 (75) \left(\frac{12.5}{100} \right)^4 + \frac{2.0 (2.25) 5.028}{0.875} \cdot \frac{12.5}{100} \right]^{1/3}$$

DATOS

$$Ab = 5.028, (\text{in}^2)$$

$$dp = 0.875, (\text{in})$$

$$c = 17, (\text{in})$$

$$G = 12.5, (\text{in})$$

$$h_g = 0.5(17-12.5) = 2.25, (\text{in})$$

$$P = 75, (\text{lb/in}^2)$$

RESULTADO

$$t_{t'} = 1.49, (\text{in})$$

A.VI.j.5 Espesor de la tapa según Código ASME División 1 Sección VIII

ECUACION

$$t_{t''} = G \left[\frac{Cf P}{SE} + 1.9 \frac{W h_g}{SEG^3} \right]^{1/2}$$

SUSTITUCION

$$t_t'' = 12.5 \left[\frac{0.25 (75)}{17\,500 (1.0)} + \frac{1.9 (63\,710) 2.25}{17\,500 (1.0) (12.5)^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

DATOS

$$A_b = 5.028, (\text{in}^2)$$

$$A_m = 0.512, (\text{in}^2)$$

$$C_f = 0.25$$

$$E = 1.0$$

$$G = 12.5, (\text{in})$$

$$h_g = 2.25, (\text{in})$$

$$P = 75, (\text{lb/in}^2)$$

$$S = 17\,500, (\text{lb/in}^2)$$

$$S_{bo} = 23\,000, (\text{lb/in}^2)$$

$$W_{m1} = 11\,413, (\text{lb})$$

$$W_{m2} = 0.5(5.028 + 0.512)23\,000$$

$$W_{m3} = 63\,710, (\text{lb})$$

$$W = W_{m2}$$

RESULTADO

$$t_t'' = 1.1885, (\text{in})$$

A.VI.j.6 Espesor comercial

t_t^* el mayor de

$$t_t' = 1.49, (\text{in})$$

$$t_t'' = 1.1885, (\text{in})$$

$$t_t^* = 1.49, (\text{in})$$

$$t_t''' = 0.406, \text{ (in)}$$

$$t_t \geq (t_t^* + Co)$$

$$t_t = 1.49 + 0.0625 = 1.5525$$

$$t_t = 1.625, \text{ (in)}$$

A.VI.j.7 Diámetro de la tapa

$$A = 19, \text{ (in)}$$

MEMORIA DE CALCULO. DISEÑO MECANICO

SECUENCIA K

CALCULO Y SELECCION DEL DIAMETRO DE LAS BOQUILLAS DE ENTRADA DE VAPOR

A.VI.k.1 Flujo volumétrico de vapor

ECUACION

$$W_{v'} = \frac{W_v \bar{v}}{3600}$$

SUSTITUCION

$$W_{v'} = \frac{2382 (13.7457)}{3600}$$

DATOS

$$\bar{v} = 13.7457, (\text{ft}^3/\text{lb})$$

$$W_v = 2382, (\text{lb}/\text{hr})$$

RESULTADO

$$W_{v'} = 9.095, (\text{ft}^3/\text{seg})$$

A.VI.k.2 Velocidad del vapor recomendada

ECUACION

$$V_v = \frac{V_{v'}}{60}$$

SUSTITUCION

$$V_v = \frac{6000}{60}$$

DATOS

$$V_{v'} = 6000, (\text{ft}/\text{min})$$

RESULTADO

$$V_v = 100, (\text{ft}/\text{seg})$$

A.VI.k.3 Area transversal de la boquilla

ECUACION

SUSTITUCION

$$A = \frac{Wv'}{Vv}$$

$$A = \frac{9.095}{100}$$

DATOS

$$Vv = 100, \text{ (ft/seg)}$$

$$Wv' = 0.095, \text{ (ft}^3\text{/seg)}$$

RESULTADO

$$A = 0.09095, \text{ (ft}^2\text{)}$$

A.VI.k.4 Diámetro de la boquilla

ECUACION

$$Db' = \left[\frac{4A}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}}$$

SUSTITUCION

$$Db' = 12 \left[\frac{4(0.09095)}{3.1416} \right]^{\frac{1}{2}}$$

DATOS

$$A = 0.09095, \text{ (ft}^2\text{)}$$

$$\pi = 3.1416$$

RESULTADO

$$Db' = 4.08, \text{ (in)}$$

A.VI.k.5 Diámetro comercial de la boquilla

$$Db' = 4.08, \text{ (in)}$$

$$Db'' = 3.826, \text{ (in)}$$

$$Db = 4, \text{ (in)}$$

$$Nc = 80$$

$$Dbe = 4.5, \text{ (in)}$$

A.VI.k.6 Selección de las bridas para las boquillas de la envolvente

$$D_b = 4, \text{ (in)}$$

$$D_{F2} = 4, \text{ (in)}$$

$$D_B = 9, \text{ (in)}$$

A.VI.k.7 Selección del diámetro de las boquillas del cabezal de entrada

$$D_{N1} = 2.5, \text{ (in)}$$

$$d_{B1} = 2.323, \text{ (in)}$$

$$N_c = 80$$

A.VI.k.8 Selección de la brida para la boquilla del cabezal de entrada

$$D_{F1} = 2.5, \text{ (in)}$$

$$D_{B1} = 7, \text{ (in)}$$

VII DIMENSIONAMIENTO

SECUENCIA A. DIMENSIONAMIENTO DEL CABEZAL DE ENTRADA

VII.a.1 Espesor total de la tapa del cabezal de entrada

$$TIT = T1 + t_1 + t_2$$

TIT = espesor total de
la tapa, (in)

T1 = espesor mínimo (VI.j.6)
requerido de la
tapa del cabe-
zal de entrada,
(in)

t_1 = tolerancia para
ensamblado, (in)

t_2 = tolerancia para
ensamblado, (in)

VII.a.2 Espesor total de la brida. FI

$$FIT = FI + t_2$$

FIT = espesor total de
la brida FI, (in)

FI = espesor de la (VI.c.39)
brida FI, (in)

t_2 = tolerancia para
ensamblado, (in)

VII.a.3 Tolerancia entre la brida F1 y el diámetro externo de la boquilla B1

$$KI = 3tc + 3$$

KI = tolerancia entre F1
y B1, (in)
tc = espesor de la cora-
za, (in) (VI.a.6)

VII.a.4 Dimensiones de las boquillas del cabezal de entrada

DNI DNI = diámetro nominal (VI.k.7)
de la boquilla B1,
(in)

dBI dBI = diámetro interior (VI.K.7)
de la boquilla B1,
(in)

DBI DBI = diámetro exterior de (VI.K.8)
boquilla, (in)

e1 e1 = espesor de la pared (VI.k.7)
de la boquilla B1, y
(in) (t.9)

VII.a.5 Tolerancia entre el diámetro externo de la boquilla B1 y la brida F2

$$K2 = 3t_c + 3$$

K2 = tolerancia entre B1
y F2, (in)

t_c = espesor de la cora-
za, (in) (VI.a.6)

VII.a.6 Espesor total del espejo estacionario

$$T2T = T2 + t_3 + t_4$$

T2T = espesor total del es-
pejo estacionario,
(in)

T2 = espesor del espejo
estacionario, (in) (VI.f.3)

t_3 = tolerancia para en-
samblado, (in)

t_4 = tolerancia para en-
samblado, (in)

VII.a.7 Espesor total de la brida F2

$$F2T = F2 + t_3$$

F2T = espesor total de la
brida F2, (in)

t_3 = tolerancia para en-
samblado, (in) (VI.c.39)

VII.a.8 Distancia total de la brida F1 a la parte central de la boquilla B1

$$F1K = FIT + K1 + 0.5 DB1$$

F1K = distancia total de la brida F1 a la parte central de la boquilla B1, (in)

DB1 = diámetro exterior de la boquilla B1, (in) (VII.a.4)

FIT = espesor total de la brida F1, (in) (VII.a.2)

K1 = tolerancia entre F1 y B1, (in) (VII.a.3)

VII.a.9 Distancia total de la parte central de la boquilla B1 a la brida F2

$$F2K = F2T + K2 + 0.5 DB1$$

F2K = distancia total de la parte central de la boquilla B1 a la brida F2, (in)

DB1 = diámetro exterior de la boquilla B1, (in) (VII.a.4)

F2T = espesor total de la (VII.a.7)
brida F2, (in)

K2 = tolerancia entre BI (VII.a.5)
y F2, (in)

VII.a.10 Distancia total de la tapa T1 a la brida F2

$$TFK = T1 + FIK + F2K$$

TKF = distancia total de
la tapa T1 a la
brida F2, (in)

FIK = distancia total de
F1 a BI, (in)

F2K = distancia total de
BI a F2, (in)

T1 = espesor mínimo de
la tapa del cabe-
zal de entrada,
(in)

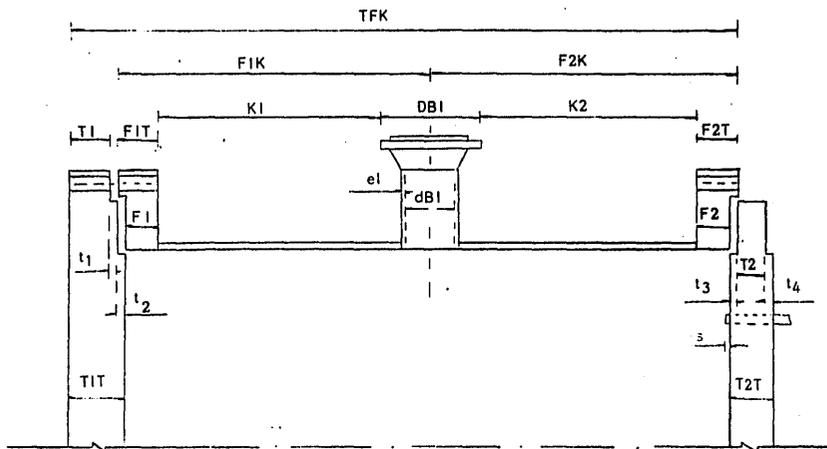


FIGURA VII.1 Dimensionamiento del Cabezal de entrada.

SECUENCIA B. DIMENSIONAMIENTO DE LA ENVOLVENTE

VII.b.1 Espesor total de la brida F3

$$F3T = F3 + t_4$$

F3T = espesor total de la
brida F3, (in)

F3 = espesor mínimo re- (VI.c.39)
querido de la bri-
da F3, (in)

t_4 = tolerancia para en-
samblado, (in)

VII.b.2 Tolerancia entre la brida F3 y el diámetro exterior de la boquilla B2

$$K3 = 3tc + 3$$

K3 = tolerancia entre F3
y B2, (in)

t_c = espesor de la cora- (VI.a.4)
za, (in)

VII.b.3 Dimensiones de las boquillas de la envolvente

$$dB2, dB3$$

$dB2, dB3$ = diámetro interior (VI.K.5)
de las boquillas
B2 y B3 respec-
tivamente, (in)

$$TT = LT - (T2T + T3T = t_5 + t_7)$$

TT = distancia total entre
espejos, (in)

LT = longitud total de tu- (V.b.4)
bos, (in)

T2T = espesor total del es- (VII.a.6)
pejo estacionario, (in)

T3T = espesor total del es-
pejo flotante, (in)

t_5 = tolerancia para los
tubos, (in)

t_7 = tolerancia para los
tubos, (in)

VII.b.7 Distancia entre boquillas

$$K4 = TT + t_6 - (F3 + t_4 + K3 + DB2 + DB3 + K5)$$

K4 = distancia entre diáme-
tros externos de boqui-
llas, (in)

DB2 = diámetro exterior de (VII.b.3)

	la boquilla B2, (in)	
DB3 =	diámetro exterior de la boquilla B3, (in)	(VII.b.3)
F3 =	espesor de la brida F3, (in)	(VI.c.39)
K3 =	tolerancia entre F3 y B2, (in)	(VII.b.2)
K5 =	tolerancia entre B3 y F4, (in)	(VII.b.4)
TT =	distancia total entre espejos, (in)	(VII.b.6)
t_4 =	tolerancia entre en- samblado, (in)	
t_6 =	tolerancia contra fu- ga, (in)	

VII.b.8 Distancia generada por el espejo T2 y la brida F3

$$FTI = T2T + F3 - t_4$$

FTI = distancia generada por
el espejo T2 y la bri-
da F3, (in)

F3 = espesor de la brida (VI.c.39)

F3, (in)

T2T = espesor total del espejo estacionario (VII.a.6)

pejo estacionario (in)

t_4 = tolerancia para ensamblado, (in)

samblado, (in)

VII.b.9 Distancia generada por la caja de empaques y el prensa-estopas

$$FT2 = F4T + F5T$$

FT2 = distancia generada

por la caja de empaques y el prensa-estopas, (in)

F4T = espesor total de la

caja de empaques, (in)

F5T = espesor del prensa-

estopas, (in)

VII.b.10 Distancia del espejo T2 al centro de la boquilla B2

$$F3K = FT1 + K3 + 0.5DB2$$

F3K = distancia del espejo

T1 al centro de la bo

quilla B2, (in)

DB2 = diámetro exterior de (VII.b.3)
la boquilla B2, (in)

FT1 = distancia generada (VII.b.8)
por T1 y F3, (in)

K3 = tolerancia entre F3 y (VII.b.2)
B2, (in)

VII.b.11 Distancia entre centros de boquillas

$$BB = K4 + 0.5(DB2 + DB3)$$

BB = distancia entre cen-
tros de boquillas, (in)

DB2 = diámetro exterior de (VII.b.3)
la boquilla B2, (in)

DB3 = diámetro exterior de (VII.b.3)
la boquilla B3, (in)

K4 = distancia entre boqui- (VII.b.7)
llas, (in)

VII.b.12 Distancia del centro de la boquilla B3 a la cara externa del prensaestopas F5

$$F4k = 0.5DB3 + K5 + FT2$$

F4K = distancia del centro
de la boquilla B3 a
la cara externa del
prensaestopas, F5, (in)

DB3 = diámetro exterior de (VII.b.3)
la boquilla B3, (in)

FT2 = distancia generada (VII.b.9)
por la caja de em-
paques y el prensa-
estopas, (in)

K5 = tolerancia entre el (VII.b.4)
diámetro exterior de
la boquilla B3 y la
caja de empaques F4,
(in)

VII.b.13 Distancia total del espejo T2 al prensaestopas F5

$$TTF = F3K + BB + F4K$$

TTF = distancia total del es-
pejo T2 al prensaesto-
pas F5, (in)

BB = distancia entre centros (VII.b.11)

de las boquillas B2 y
B3, (in)

F3K = distancia del espejo (VII.b.10)

T1 al centro de la bo-
quilla B2, (in)

F4K = distancia del prensa-
estopas F5 al centro
de la boquilla B3, (in)

VII.b.14 Distancia entre la pared externa de la boquilla y la pri-
mera mampara

$$KB = 0.5 [BB - DEB - B_R (N_B + 1)]$$

KB = distancia entre la
pared externa de la
boquilla y la primer
mampara

BB = distancia entre los (VII.b.11)

centros de las boqui-
llas B2 y B3, (in)

B_R = distancia real entre
mamparas, (in)

DEB = diámetro exterior de (VI.k.5)

la pared de las boqui_

llas, (in)

N_B = número de mamparas (V.b.8)

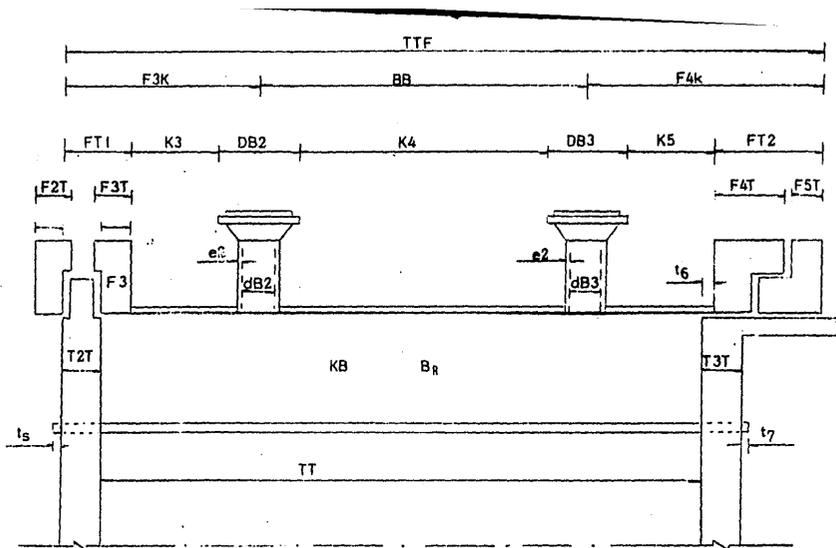


FIGURA VII.2 Dimensionamiento de la envolvente

SECUENCIA C. DIMENSIONAMIENTO DEL CABEZAL FLOTANTE

VII.c.1 Tolerancia entre el prensaestopas y la brida F6

$$K6 = 3t_f + 8$$

K6 = tolerancia entre el
prensaestopas F5 y la
brida F6, (in)

t_f = espesor del faldón del
espejo, (in)

VII.c.2 Distancia total del prensaestopas a la cara externa de la
tapa

$$FT3 = K6 + F6T + T4$$

FT3 = distancia total de la
caja de empaques a
la cara externa de la
tapa, (in)

F6T = espesor total de la brida dividida F6, (in) (VI.i.3)

K6 = tolerancia entre F5 y F6, (in) (VII.c.1)

T4 = espesor de la tapa del cabezal flotante, (in) (VI.j.6)

VII.c.3 Distancia de la caja de empaques a la cara externa de la tapa del cabezal flotante

$$CTF = FT2 + FT3$$

CTF = distancia total comprendida entre las caras externas de F4 y T4, (in)

FT2 = distancia generada por F4 y F5, (in) (VII.b.9)

FT3 = distancia total comprendida entre las caras externas de F5 y T4, (in) (VII.c.2)

VII.c.4 Distancia entre las caras internas del espejo flotante y la tapa

$$FTF = CTF + t_6 - T3T$$

FTF = distancia entre las caras internas del espejo flotante y la tapa, (in)

CTF = distancia total de la caja de empaques a (VII.c.3)

la cara externa de la
tapa del cabezal flo-
tante, (in)

T3T = espesor total del espe_ (VII.b.5)
jo flotante, (in)

t₆ = tolerancia contra fuga, (VII.b.7)
(in)

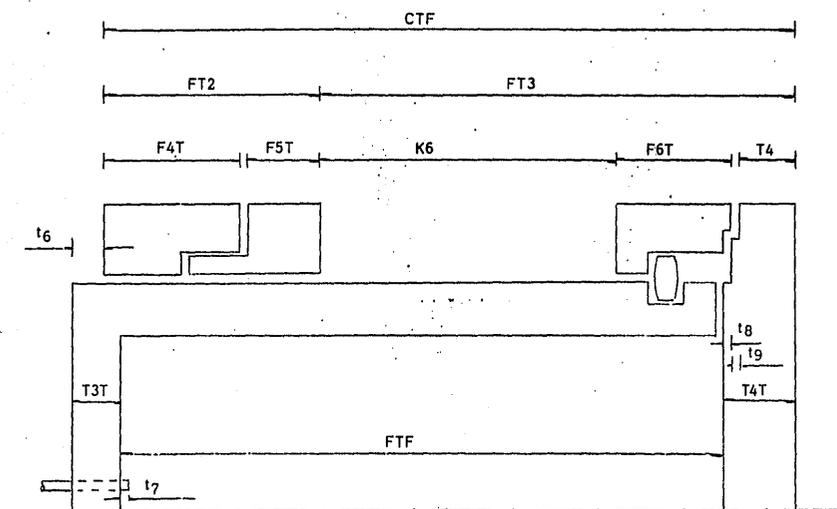


FIGURA VII.3 Dimensionamiento del cabezal flotante

MEMORIA DE CALCULO. DIMENSIONAMIENTO

SECUENCIA A. DIMENSIONAMIENTO DEL CABEZAL DE ENTRADA

A.VII.a.1 Espesor total de la tapa del cabezal de entrada

ECUACION

SUSTITUCION

$$TIT = TI + t_1 + t_2$$

$$TIT = 1.50 + 0.1875 + 0.1875$$

DATOS

$$TI = 1.50, (\text{in})$$

$$t_1 = 0.1875, (\text{in})$$

$$t_2 = 0.1875, (\text{in})$$

RESULTADO

$$TIT = 1.875, (\text{in})$$

A.VII.a.2 Espesor total de la brida FI

ECUACION

SUSTITUCION

$$FIT = FI + t_2$$

$$FIT = 1.25 + 0.1875$$

DATOS

$$FI = 1.25, (\text{in})$$

$$t_2 = 0.1875, (\text{in})$$

RESULTADO

$$FIT = 1.4375, (\text{in})$$

A.VII.a.3 Tolerancia entre la brida FI y el diámetro externo de la boquilla BI

ECUACION

SUSTITUCION

$$KI = 3tc + 3$$

$$KI = 3(0.406) + 3$$

	RESULTADO
DATOS	$K1 = 4.218, (\text{in})$
$t_c = 0.406, (\text{in})$	$\therefore K1 = 4.25, (\text{in})$

A.VII.a.4 Dimensiones de las boquillas del cabezal de entrada

$DN1 = 2.5, (\text{in})$
$dB1 = 2.323, (\text{in})$
$dBI = 7.0, (\text{in})$
$e1 = 0.2785, (\text{in})$

A.VII.a.5 Tolerancia entre el diámetro externo de la boquilla B1 y la brida F2

ECUACION	SUSTITUCION
$K2 = 3t_c + 3$	$K2 = 3(0.406) + 3$
DATOS	RESULTADO
$t_c = 0.406, (\text{in})$	$K2 = 4.218, (\text{in})$
	$\therefore K2 = 4.25, (\text{in})$

A.VII.a.6 Espesor total del espejo estacionario

ECUACION	SUSTITUCION
$T2T = T2 + t_3 + t_4$	$T2T = 0.5625 + 0.1875 + 0.1875$
DATOS	

$$T2 = 0.5625, (\text{in})$$

RESULTADO

$$t_3 = 0.1875, (\text{in})$$

$$T2T = 0.9375$$

$$t_4 = 0.1875, (\text{in})$$

$$\therefore T2T = 1.0, (\text{in})$$

A.VII.a.7 Espesor total de la brida F2

ECUACION

SUSTITUCION

$$F2T = F2 + t_3$$

$$F2T = 1.25 + 0.1875$$

DATOS

$$F2 = 1.25, (\text{in})$$

RESULTADO

$$t_3 = 0.1875, (\text{in})$$

$$F2T = 1.4375, (\text{in})$$

A.VII.a.8 Distancia total de la brida F1 a la pared central de la boquilla B1

ECUACION

SUSTITUCION

$$FIK = FIT + KI + 0.5 DBI$$

$$FIK = 1.4375 + 4.25 + 0.5(7.0)$$

DATOS

$$DBI = 2.88, (\text{in})$$

$$FIT = 1.4375, (\text{in})$$

RESULTADO

$$KI = 4.25, (\text{in})$$

$$FIK = 9.1875, (\text{in})$$

A.VII.a.9 Distancia total de la parte central de la boquilla B1 a la brida F2

ECUACION	SUSTITUCION
$F2K = F2T + K2 + 0.5 \text{ DBI}$	$F2K = 1.4375 + 4.25 + 0.5(7.0)$
DATOS	
$\text{DBI} = 7.0, (\text{in})$	
$F2T = 1.4375, (\text{in})$	RESULTADO
$K2 = 4.25, (\text{in})$	$F2K = 9.1875, (\text{in})$

A.VII.a.10 Distancia total de la tapa T1 a la brida F2

ECUACION	SUSTITUCION
$\text{TFK} = \text{T1} + \text{FIK} + \text{F2K}$	$\text{TFK} = 1.50 + 9.1875 + 19.1875$
DATOS	
$\text{FIK} = 10.1875, (\text{in})$	
$\text{F2K} = 10.1875, (\text{in})$	RESULTADO
$\text{T1} = 1.50, (\text{in})$	$\text{TFK} = 19.875, (\text{in})$

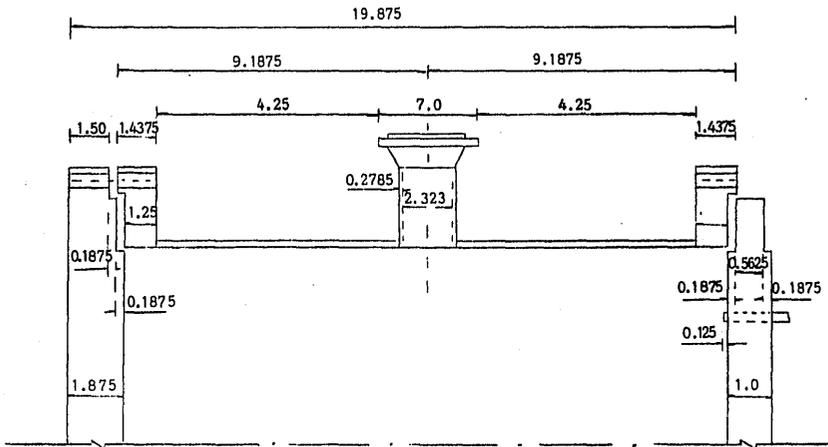


FIGURA VIII.4 Dimensionamiento del cabezal de entrada

MEMORIA DE CALCULO. DIMENSIONAMIENTO

SECUENCIA B. DIMENSIONAMIENTO DE LA ENVOLVENTE

A.VII.b.1 Espesor total de la brida F3

ECUACION

$$F3T = F3 + t_4$$

SUSTITUCION

$$F3T = 1.25 + 0.1875$$

DATOS

$$F3 = 1.25, (\text{in})$$

$$t_4 = 0.1875, (\text{in})$$

RESULTADO

$$F3T = 1.4375, (\text{in})$$

A.VII.b.2 Tolerancia entre la brida F3 y el diámetro exterior de la boquilla B2

ECUACION

$$K3 = 3t_c + 3$$

SUSTITUCION

$$K3 = 3(0.406) + 3$$

RESULTADO

DATOS

$$t_c = 0.406, (\text{in})$$

$$K3 = 4.218, (\text{in})$$

$$K3 = 4.25, (\text{in})$$

A.VII.b.3 Dimensiones de las boquillas de la envolvente

$$dB2 = 3.826, (\text{in})$$

$$dB3 = 3.826, (\text{in})$$

$$DB2 = 9, \text{ (in)}$$

$$DB3 = 9, \text{ (in)}$$

$$e2 = 0.337, \text{ (in)}$$

A.VII.b.4 Tolerancia entre el diámetro exterior de la boquilla B3 y la caja de empaques F4

ECUACION	SUSTITUCION
$K5 = 3t_c + 3$	$K5 = 3(0.406) + 3$
	RESULTADO
DATOS	$K5 = 4.218, \text{ (in)}$
$t_c = 0.406, \text{ (in)}$	$K5 = 4.25, \text{ (in)}$

A.VII.b.5 Espesor total del espejo flotante

$$T3T = 0.75, \text{ (in)}$$

A.VII.b.6 Distancia total entre caras internas de los espejos

ECUACION	SUSTITUCION
$TT = LT - (T2T + T3T + t_s + t_7)$	$TT = 72 - (1.0 + 0.75 + 0.125 + 0.125)$
DATOS	$= 72 - 2$
$LT = 72, \text{ (in)}$	
$T2T = 1.0, \text{ (in)}$	

$$T3T = 0.75, \text{ (in)}$$

$$t_5 = 0.125, \text{ (in)}$$

$$t_7 = 0.125, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$TT = 70, \text{ (in)}$$

A.VII.b.7 Distancia entre boquillas

ECUACION

$$K4 = TT + t_6 + t_4 - (F_3 + K3 + DB2 + DB3 + K5)$$

SUSTITUCION

$$K4 = 70 + 1.0 + 0.1875 - (1.25 + 4.25 + 9 + 9 + 4.25)$$

$$K4 = 71.1875 - 27.75$$

DATOS

$$DB2 = 9, \text{ (in)}$$

$$DB3 = 9, \text{ (in)}$$

$$F3 = 1.25, \text{ (in)}$$

$$K3 = 4.25, \text{ (in)}$$

$$K5 = 4.25, \text{ (in)}$$

$$TT = 74, \text{ (in)}$$

$$t_4 = 0.1875, \text{ (in)}$$

$$t_6 = 1.0, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$K4 = 43.4375$$

A.VII.b.8 Distancia generada por el espejo T2 y la brida F3

ECUACION	SUSTITUCION
$FT1 = T2T + F3 - t_4$	$FT1 = 1.0 + 1.25 - 0.1875$
DATOS	RESULTADO
$F3 = 1.25, (in)$	
$T2T = 1.0, (in)$	
$t_4 = 0.1875, (in)$	$FT1 = 2.0625, (in)$

A.VII.b.9 Distancia generada por la caja de empaques y el prensa-estopas.

ECUACION	SUSTITUCION
$FT2 = F4T + F5T$	$FT2 = 2.375 + 1.125$
DATOS	RESULTADO
$F4T = 2.375, (in)$	
$F5T = 1.125, (in)$	$FT2 = 3.5, (in)$

A.VII.b.10 Distancia del espejo T2 al centro de la boquilla B2

ECUACION	SUSTITUCION
$F3K = FT1 + K3 + 0.5DB2$	$F3K = 2.0625 + 4.25 + 0.5(9)$
DATOS	RESULTADO
$DB2 = 9, (in)$	
$FT1 = 2.0625, (in)$	
$K3 = 4.25, (in)$	$F3K = 10.8125, (in)$

A.VII.b.11 Distancia entre centros de boquillas

ECUACION	SUSTITUCION
$BB = K4 + 0.5(DB2 + DB3)$	$BB = 43.4375 + 0.5(9 + 9)$

DATOS

$DB2 = 9, (in)$

$DB3 = 9, (in)$

$K4 = 43.25, (in)$

RESULTADO

$BB = 52.9375, (in)$

A.VII.b.12 Distancia del centro de la boquilla B3 a la cara externa del prensaestopas F5

ECUACION	SUSTITUCION
$F4K = 0.5DB3 + K5 + FT2$	$F4K = 0.5(9) + 4.25 + 3.5$

DATOS

$DB3 = 9, (in)$

$FT2 = 3.5, (in)$

$K5 = 4.25, (in)$

RESULTADO

$F4K = 12.25, (in)$

A.VII.b.13 Diferencia total del espejo T2 al prensaestopas F5

ECUACION	SUSTITUCION
$TTF = F3K + BB + F4K$	$TTF = 10.8125 + 52.0625 + 12.25$

DATOS

$BB = 52.0625, (in)$

$$F3K = 10.8125, (\text{in})$$

RESULTADO

$$F4K = 12.25, (\text{in})$$

$$TTF = 75.125, (\text{in})$$

A.VII.b.14 Distancia entre la pared externa de la boquilla y la primera mampara

ECUACION

SUSTITUCION

$$KB = 0.5 [BB - DEB - B_R (N_B + 1)]$$

$$KB = 0.5 [52.4375 - 4.5 - 4.5(8 + 1)]$$

$$= 0.5 [7.4375]$$

DATOS

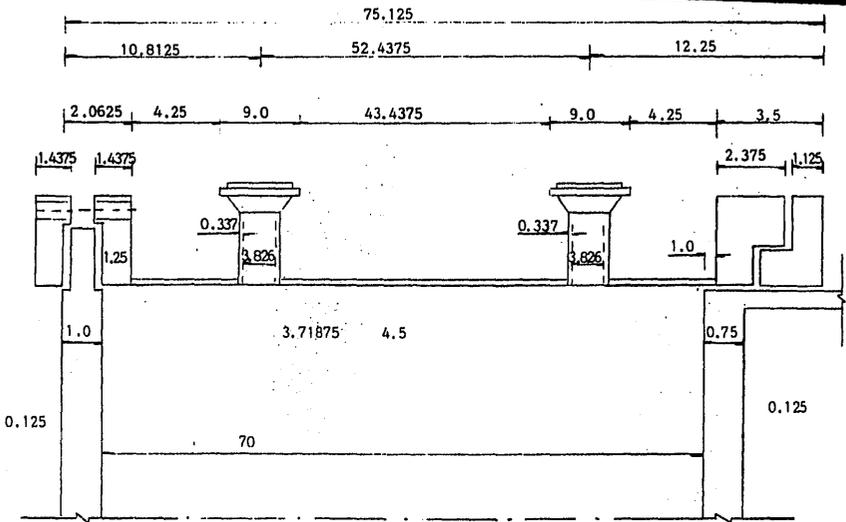
$$BB = 52.4375, (\text{in})$$

$$B_R = 4.5, (\text{in})$$

$$DEB = 4.5, (\text{in})$$

$$N_B = 8, (\text{mamparas})$$

$$KB = 3.71875, (\text{in})$$



VII.5 Dimensionamiento de la envolvente

MEMORIA DE CALCULO. DIMENSIONAMIENTO

SECUENCIA C. DIMENSIONAMIENTO DEL CABEZAL FLOTANTE

A.VII.c.1 Tolerancia entre el prensaestopas y la brida F6

ECUACION	SUSTITUCION
$K6 = 3t_f + 8$	$K6 = 3(0.3125) + 8$
DATOS	RESULTADO
$t_f = 0.3125, (in)$	$K6 = 8.9375, (in)$

A.VII.c.2 Distancia total del prensaestopas a la cara externa de la tapa

ECUACION	SUSTITUCION
$FT3 = K6 + F6T + T4$	$FT3 = 8.9375 + 2.625 + 1.5$
DATOS	
$F6T = 2.625, (in)$	
$K6 = 8.9375, (in)$	
$T4 = 1.50 (in)$	$FT3 = 13.0625, (in)$

A.VII.c.3 Distancia total de la caja de empaques a la cara externa de la tapa del cabezal flotante

ECUACION	SUSTITUCION
$CTF = FT2 + FT3$	$CTF = 3.5 + 13.0625$

DATOS

$$FT2 = 3.5, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$FT3 = 13.0625, \text{ (in)}$$

$$CTF = 16.5625, \text{ (in)}$$

A.VII.c.4 Distancia entre las caras internas del espejo flotante y la tapa

ECUACION

SUSTITUCION

$$FTF = CTF + t_6 - T3T$$

$$FTF = 16.5625 + 1.0 - 0.75$$

DATOS

$$CTF = 16.5625, \text{ (in)}$$

$$T3T = 0.75, \text{ (in)}$$

$$t_6 = 1.0, \text{ (in)}$$

RESULTADO

$$FTF = 16.8125, \text{ (in)}$$

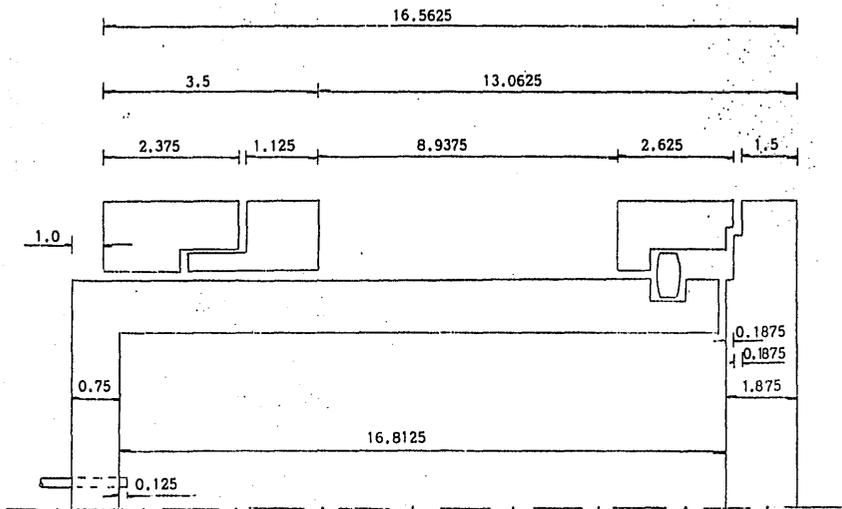
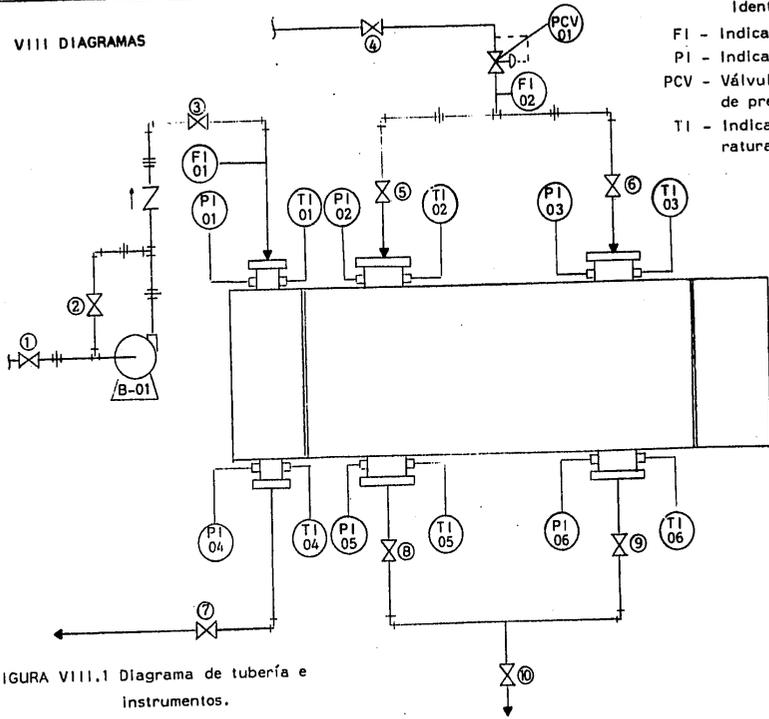


FIGURA VII.6 Dimensionamiento del cabezal flotante

VIII DIAGRAMAS



- Identificación
- FI - Indicador de flujo
 - PI - Indicador de presión
 - PCV - Válvula controladora de presión
 - TI - Indicador de temperatura

FIGURA VIII.1 Diagrama de tubería e instrumentos.

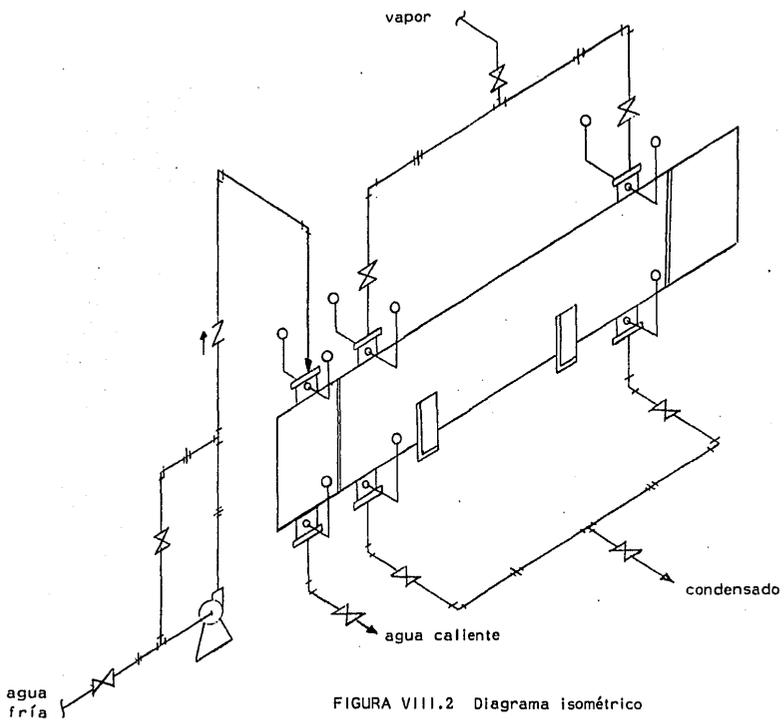


FIGURA VIII.2 Diagrama isométrico

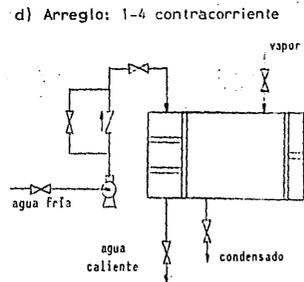
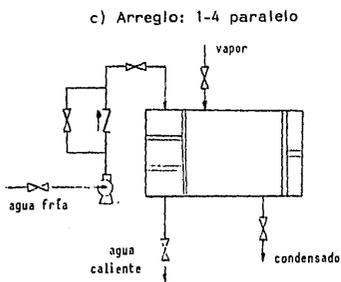
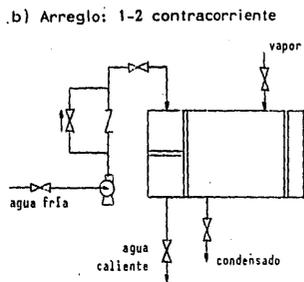
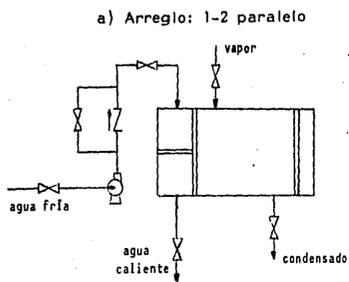


FIGURA VIII.3 Diagrama de flujo.

IX. LISTAS DE ACCESORIOS E INSTRUMENTOS

IX.1 Lista de accesorios

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Brida tipo anillo, acero al carbón, 2½ pulgadas, 150 lb	2 piezas
2	Brida tipo anillo, acero al carbón, 3 pulgadas, 150 lb	4 piezas
3	Codo de 90°, fierro negro, cédula 40, 1½ pulgadas NPT	6 piezas
4	Codo de 90°, fierro negro, cédula 40, 2½ pulgadas NPT	6 piezas
5	Cople estándar de fierro negro, cédula 40, 1½ pulgadas NPT, 3 pulgadas de longitud	10 piezas
6	Cople estándar de fierro negro, cédula 40, 2½ pulgadas NPT, 3 pulgadas de longitud	15 piezas
7	Niple de fierro negro, cédula 40, 1½ pulgadas NPT, 3 pulgadas de longitud	10 piezas

8	Niple de fierro negro, cédula 40, $2\frac{1}{2}$ pulgadas NPT, 3 pulgadas de longitud	10 piezas
9	Reducción tipo campana, fierro negro, $3 \times 1\frac{1}{2}$ pulgadas NPT	4 piezas
10	Reducción tipo campana, fierro negro, $1\frac{1}{2}$ pulgadas NPT	2 piezas
11	"T" de fierro negro, cédula 40, $1\frac{1}{2}$ pulgadas NPT	2 piezas
12	"T" de fierro negro, cédula 40, $2\frac{1}{2}$ pulgadas NPT	10 piezas
13	Tubo de fierro negro, cédula 40, $1\frac{1}{2}$ pulgadas NPT	30 ft
14	Tubo de fierro negro, cédula 40, $2\frac{1}{2}$ pulgadas NPT	30 ft
15	Tuerca unión de fierro negro, cédula 40, $1\frac{1}{2}$ pulgadas NPT	5 piezas
16	Tuerca unión de fierro negro, cédula 40, $2\frac{1}{2}$ pulgadas NPT	7 piezas
17	Válvula tipo aguja, de bronce, con asiento estándar y sello de neopreno de $1\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro nominal, conexiones roscadas	4 piezas
18	Válvula check tipo elevante de bronce, $1\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro nominal, conexiones roscadas	1 pieza

- | | | |
|----|--|----------|
| 19 | Válvula de globo, de bronce, $1\frac{1}{2}$
pulgadas de diámetro nominal, conexiones
roscadas | 2 piezas |
| 20 | Válvula de globo, de bronce, de
$2\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro nominal,
conexiones roscadas | 4 piezas |

IX.2 Lista de instrumentos y equipo auxiliar

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Manómetro tipo Bourdon, carátula de 2.5 in, rango: 0 - 100 lb/in ² , elemento de bronce montaje inferior, conexión macho $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro nominal.	4 piezas
2	Manómetro tipo Bourdon, carátula de 2.5 in, rango: 0 - 50 lb/in ² , elemento de bronce, montaje inferior, conexión macho $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro nominal.	2 piezas
3	Medidor de flujo tipo rotámetro, escala de 0 - 100% para medir de 0 - 200 gal/min de agua; de vidrio borosilicato, conexión macho de 2 $\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro nominal.	1 pieza
4	Medidor de flujo tipo placa de orificio para medir 545.7 ft ³ /min de vapor saturado a 30 lb/in ² abs, para instalarse en tubería de 1 $\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro nominal. Tomas en las bridas, material de la placa: acero inoxidable, con bridas portaplaca de cuello soldable de 300 lb/in ² .	1 pieza
5	Termómetro bimetálico, escala de 0-400°F, ca-	4 piezas

rátula de 4 pulgadas de diámetro; vástago inferior de acero inoxidable, tipo 304, de 4 pulgadas de longitud.

- | | | |
|---|---|----------|
| 6 | Termómetro bimetalico, escala de 0 - 200°F, carátula de 4 pulgadas de diámetro, vástago inferior de acero inoxidable, tipo 304, de 4 pulgadas de longitud. | 2 piezas |
| 7 | Válvula reguladora de presión, con entrada de 20 psi y salida de 15.3 psi, para instalarse tubería de 1½ pulgadas de diámetro nominal, conexiones roscadas. | 1 pieza |
| 8 | Bomba centrífuga, tipo horizontal, 150 gal/min, motor eléctrico de 3 Hp. | 1 pieza |

X. EVALUACION ECONOMICA

SECUENCIA X.1 COSTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

X.1.1 Costo base del intercambiador de calor (Ref. X.1)

ECUACION

$$P = XD^{1.037}$$

VARIABLES

P = costo base del intercambiador de calor, (dólares)

D = diámetro de la coraza, (in)

X = coeficiente función de los tipos de cabezal

DATOS

$$D = 12, \text{ (in)}$$

$$X = 240$$

SUSTITUCION

$$P = 240 (12)^{1.037}$$

RESULTADO

$$P = 3157.35, \text{ (dólares)}$$

X.1.2 Costo de las partes del intercambiador de calor

PARTE	DESCRIPCION	COSTO (dólares)
coraza	diámetro: 12, (in) longitud: 6, (ft)	(\$ 42/ft) 6 = 252
boquillas	tamaño número	
(150 lb/in ²)	4.0 (in) 4	(\$ 150/boq) 4 boq = 600
	2.5 (in) 4	(\$ 120/boq) 4 boq = 480

tubos tamaño número
 3/4 76 (\$ 1.15/tubo) 76 tubos = 87.4

corrección por material: acero inox. 304

area transf.: 89.5, (ft²) (\$ 6.9/ft²) 89.5 ft² = 617.55

silletas diámetro coraza: 12, (in) (\$ 55/sill) 2 sill = 110

número silletas: 2

COSTO TOTAL DE LAS PARTES = \$ 2146.95

X.1.3 Costo estimado total del intercambiador de calor

$C_{II*} = P + \text{COSTO TOTAL DE LAS PARTES}$

$= \$ 3157.35 + \$ 2146.95$

$C_{II*} = 5304.3$, (dólares)

$C_{II} = \$ 981\ 295.50$ (M.N.)

X.2 COSTO DE ACCESORIOS

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO (\$) UNITARIO	COSTO (\$) TOTAL
1	Brida tipo cara deslizable, 2½ pulgadas	2	pieza	550	1100
2	Brida tipo cara deslizable, 3 pulgadas	4	pieza	550	2200
3	Codo de 90°, 1½ pulgadas	6	pieza	60	360
4	Codo de 90°, 2½ pulgadas	6	pieza	70	420
5	Cople de fierro negro, 1½ pulgadas	10	pieza	40	400
6	Cople de fierro negro, 2½ pulgadas	15	pieza	50	750
7	Niple de fierro negro, 1½ pulgadas	10	pieza	40	400
8	Niple de fierro negro, 2½ pulgadas	10	pieza	50	500
9	Reducción tipo campana, 3 x 1½ pulgadas	4	pieza	90	360
10	Reducción tipo campana, 1½ x 1 pulgadas	2	pieza	80	160
11	Tee de fierro negro, 1½ pulgadas	2	pieza	105	210
12	Tee de fierro negro, 2½ pulgadas	10	pieza	125	1250

13	Tubería recta de fierro negro, 1½ pulgada	30	ft	60	1800
14	Tubería recta de fierro negro, 2½ pulgadas	30	ft	75	2250
15	Tuerca unión de fierro negro, 1½ pulgadas	5	pieza	190	950
16	Tuerca unión de fierro negro, 2½ pulgadas	7	pieza	205	1435
17	Válvula tipo aguja, 1½ pulgadas	4	pieza	6250	25000
18	Válvula tipo check, 1½ pulgadas	1	pieza	5850	5850
19	Válvula tipo globo, 1½ pulgadas	2	pieza	4070	8140
20	Válvula tipo globo, 2½ pulgadas	2	pieza	5250	10500

C_{ACC} = 64035

X.3 COSTO DE INSTRUMENTOS Y EQUIPO AUXILIAR

Nº	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO (\$) UNITARIO	COSTO (\$) TOTAL
1	Manómetro tipo Bourdon, 0-7 Kg/cm ²	4	pieza	10 000	140 000
2	Manómetro tipo Bourdon, 0-3 kg/cm ²	2	pieza	10 000	20 000
3	Medidor de flujo tipo rotámetro	1	pieza	53 000	53 000
4	Medidor de flujo tipo placa de orificio	1	pieza	25 000	25 000
5	Termómetro bimetalico, 0-400°F	4	pieza	15 000	60 000
6	Termómetro bimetalico, 0-200°F	2	pieza	15 000	30 000
7	Válvula reguladora de presión	1	pieza	19 000	19 000
8	Bomba centrífuga tipo horizontal, 3 HP	1	pieza	55 000	55 000
9	Empaque de asbesto, diámetro interior	10	pieza	750	7 500
10	Empaque de asbesto, con franja central de 1/4 pulgada de ancho	4	pieza	1 000	4 000
11	Empaque de asbesto, con 2 franjas paralelas de 1/4 pulgada de ancho	4	pieza	1 500	6 000

C_{INS} = \$ 319 500

X.4 COSTO TOTAL DEL EQUIPO

$$C_{TE} = (C_{II} + C_{ACC} + C_{INS}) (1 + IMP/100)$$

- donde
- C_{TE} = costo total del equipo, (\$)
- C_{II} = costo total del intercambiador de calor, (\$) (X.1.3)
- C_{ACC} = costo total de accesorios, (\$) (X.2)
- C_{INS} = costo total de instrumentos y equipo auxiliar, (\$) (X.3)
- IMP = impuesto vigente, (%)

DATOS

- C_{ACC} = \$ 64 035.00
- C_{INS} = \$ 319 500.00
- C_{II} = \$ 981,295.50
- IMP = 15%

SUSTITUCION

$$C_{TE} = (981\ 295.50 + 64\ 035.00 + 319\ 500.00) (1 + 15/100)$$

RESULTADO

$$C_{TE} = \$ 1\ 569\ 555.08$$

NOTA: Precios estimados al mes de Agosto de 1984.

Referencia

X.1 Pikulik A., Dfaz H.E.

Cost estimating for major process equipment. Chemical Engineering,
October 10. V. 84, 1977.

XI SECUENCIA DE ARRANQUE, PARO Y OPERACION

1. Asegurarse de que cada parte del equipo esté montada en el lugar adecuado y poniendo especial cuidado en que las placas de partición se hayan colocado acorde con el número de pasos deseados en los tubos.
2. Verificar que cada uno de los instrumentos trabaje adecuadamente y se le localice según el Diagrama de Tubería-Instrumentos VIII.1.
3. Conectar agua por el lado de tubos, es decir en la línea de succión de la Bomba B-01 y aire para el lado de la coraza.
4. Prueba para el lado tubos.

Revisar que todas las válvulas del sistema se encuentren cerradas. Abrir la válvula V-7, V-3 y V-1, poner a funcionar la Bomba B-01, cerrar V-2 para lograr el flujo máximo posible indicado en FI-01. Checar TI-01 y TI-04 indiquen el mismo valor de temperatura. Verificar que la presión PI-01 sea mayor que la de PI-04 y registrar sus valores. Apagar la bomba B-01 y, simultáneamente, cerrar V-7 y V-3 para dejar presurizado el sistema durante media hora para efectuar rastreo y registro de fugas.

Transcurrida media hora, verificar los valores de presión y

compararlos con los anteriormente registrados. Si la diferencia de valores correspondientes a cada manómetro es mayor de 4 lb/in², entonces deberá repetirse la operación de montaje del equipo, con la precaución de acomodar y ajustar correctamente cada parte del equipo.

Si la pérdida de presión no es mayor del valor mencionado, abrir V-3, V-1 y V-7, a continuación hacer funcionar la bomba B-01. Controlar mediante V-2 la recirculación hasta lograr el flujo deseado.

5. Prueba para el lado coraza.

Apagar B-01, cerrar V-1 y V-7. Abrir V-10, V-8, V-6 y regular con V-4 el flujo de aire alimentado a la coraza. Registrar los valores de presión. Después de quince minutos leer los indicadores de presión y si la diferencia de valores correspondientes excede a 0.5 lb/in², entonces será necesario, si es detectable la fuga de manera visual, corregir el error que esté provocando tal decaimiento en la presión o cerrar V-4, V-6 y V-8. Abrir V-9, V-5 y V-4 y proceder de manera similar para registrar fugas. Si en cualesquiera de los dos procedimientos se tienen caídas de presión en cada manómetro, mayores del valor recomendado, será necesario revisar cuidadosamente cada parte del equipo e inclusive reinstalarlo si se detectan fugas provocadas

por la mala colocación de las partes del equipo.

Ambas pruebas se repetirán las veces que se crea necesario hasta lograr que el equipo se estabilice.

Lograda la eliminación de fugas, estabilizar el sistema operándolo a las condiciones deseadas.

Proceder a la experimentación.

XII EJEMPLO DE UN PROYECTO EXPERIMENTAL

A continuación, de manera resumida, se expondrán los puntos básicos para realizar un proyecto experimental.

De manera general el esquema es el siguiente:

- a) Título
- b) Objetivos:
 - general(es)
 - particular(es)
- c) Bases teóricas
- d) Selección de condiciones experimentales
- e) Proposición de esquemas experimentales
- f) Descripción de cada experimento
- g) Diagrama de tubería - instrumentos
- h) Cálculo de los resultados bajo condiciones supuestas
- i) Tabla de registro de datos experimentales
- j) Experimentación
- h) Cálculo de resultados bajo condiciones experimentales
- k) Resumen de resultados
- l) Análisis de resultados y conclusiones

El inciso a, estará definido y será suficiente para que el alumno sea capaz de ir desarrollando, gradualmente, cada uno de los otros puntos dándoles, él fundamentalmente, forma y contenido; siendo

el papel del asesor experimental el de ubicarlo y llevarle por el camino correcto para lograr los objetivos planteados.

Es necesario aclarar que antes de experimentar se tendrán, completamente, comprendidos y desarrollados los pasos anteriores.

Ejemplo de un proyecto experimental.

TITULO: Estudio del comportamiento termodinámico de un intercambiador de calor tipo AEP con las opciones de trabajar en 4 ó 2 pasos por los tubos.

OBJETIVOS:

a) GENERAL

Determinación de los coeficientes individuales de película y de la caída de presión de cada lado del equipo, cuando éste se trabaja a diferentes áreas de flujo.

b) PARTICULARES

1. Para cada una de las combinaciones (1-4 y 1-2):

- Comparar el valor de los coeficientes de película, calculados mediante datos supuestos y los basados en valores experimentales.
- Analizar el efecto de la variación de la velocidad, de uno de los fluidos, sobre la rapidez

global de transferencia de calor.

- Comparar los resultados teóricos y experimentales de la caída de presión.

- Verificar la dependencia entre la caída de presión obtenida y la masa velocidad de los fluidos.

2. Comparar entre sí cada uno de los parámetros registrados y evaluados para los diferentes números de pasos y explicar de los cambios y/o similitudes.

BASES TEORICAS (Véase Capítulo II)

En esta fase deberá fundamentarse, teóricamente, cada una de las leyes y principios que rigen el comportamiento de los procesos de transferencia de calor.

Es necesario que se tenga conocimiento, físico, del equipo y se vislumbren las posibilidades operativas del mismo.

SELECCION DE CONDICIONES EXPERIMENTALES (Véanse Capítulos III y IV)

Una vez que se tengan las bases teóricas suficientes, así como el conocimiento del estado físico del equipo, para comprender y

manejar los fenómenos involucrados en la experimentación; se seleccionarán las condiciones bajo las cuales deberá efectuarse la experimentación, es decir elegir los siguientes puntos:

a) Fluidos,

recordando las limitaciones de servicios existentes en el Laboratorio al efectuar la selección.

Para ilustrar este punto se tienen los fluidos agua y vapor saturado con los cuales puede trabajarse este proyecto.

b) Rotación de fluidos,

establecer, en este punto, el lado por el que se manejará cada fluido o la posibilidad, si así se desea, de que los fluidos ocupen rotativamente ambos lados del equipo.

En nuestro caso particular se tomó la decisión de manejar el agua por los tubos y el vapor por la coraza tanto cuando se manejan 2 pasos como cuando éstos son 4.

Los dos puntos mencionados pueden manejarse en la(s) combinación(es) que se deseen, siempre y cuando, se satisfagan cada uno de los objetivos inicialmente propuestos e, inclusive, proponer otros bajo las nuevas condiciones.

c) Temperatura, presión, flujo

Dentro de las posibilidades de servicios del Laboratorio y de las limitantes del equipo, han de plantearse las condiciones a las cuales se trabajará con cada fluido. Deberán asimismo,

observarse condiciones tales que no se encuentre el usuario en situaciones peligrosas.

Temperatura agua: 64, (°F) - 100, (°F)
vapor: 250, (°F)

Presión agua: 60, (lb/in²)
vapor: 30, (lb/in²)

Flujo de agua: 16.708, (ft³/min)

PROPOSICION DE ESQUEMAS EXPERIMENTALES

En base a la seleccion anterior, es posible, mediante la búsqueda de los objetivos planteados, proponer las variaciones bajo las cuales se trabajará en el equipo.

DESCRIPCION DE CADA VARIANTE EXPERIMENTAL

En esta etapa del proyecto, han de proponerse secuencias para cada experimentación, estableciendo claramente, la posición y condiciones de cada uno de los flúidos. Tales secuencias serán lo suficientemente descriptivas para poder realizar, sin confusiones operativas, cada uno de los experimentos propuestos. De manera paralela

cada descripción se hará asignando las actividades a cada miembro del equipo.

DIAGRAMA DE TUBERIA INSTRUMENTOS (Véase Capítulo VIII)

Establecida cada una de las variaciones experimentales, puede desarrollarse el diagrama de tubería - instrumentos, haciendo hincapié en el conocimiento previo de los principios del funcionamiento de cada uno de los instrumentos, que cada alumno deberá tener.

Es recomendable identificar cada corriente e instrumento y anexas una lista donde se indiquen, claramente, las condiciones de los flúidos para cada uno de los experimentos.

CALCULO DE RESULTADOS BAJO CONDICIONES SUPUESTAS

Se desarrollará un esquema de cálculo, como el que a continuación se ilustra, basado en los valores experimentales seleccionados.

Tal esquema deberá desarrollarse para cada una de las variaciones que se practiquen durante la experimentación.

Para entender claramente la secuencia de cálculos será necesario recurrir al Capítulo V y a la memoria de cálculo correspondiente.

DATOS

$$W_w = 62\,556, (\text{lb/hr})$$

$$t_1 = 64, (^\circ\text{F})$$

$$t_2 = 100, (^\circ\text{F})$$

$$t_v = 250, (^\circ\text{F})$$

$$N_p (\text{tubos}) = 2$$

$$N_p (\text{coraza}) = 1$$

SECUENCIA A. CALCULO DEL COEFICIENTE DE PELICULA

FLUIDO SIN CAMBIO DE FASE. AGUA

LADO: TUBOS

12.a.1 Balance de calor

ECUACION

$$Q = W_w C_{pw} (t_2 - t_1)$$

SUSTITUCION

$$Q = 62\ 556(1.0)(100-64)$$

DATOS

$$C_{pw} = 1.0, \text{ (Btu/lb}^\circ\text{F)}$$

$$t_1 = 64, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

$$t_2 = 100, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

$$\bar{t} = 82, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

$$W_w = 62\ 556, \text{ (lb/hr)}$$

RESULTADO

$$Q = 2\ 252\ 016, \text{ (Btu/hr)}$$

12.a.2 Diferencia media logarítmica de temperatura

ECUACION

$$\Delta t = t_v - t_1$$

$$\Delta t = t_v - t_2$$

$$LMTD = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

DATOS

$$t_v = 250, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

SUSTITUCION

$$\Delta t_1 = 250-64$$

$$\Delta t_2 = 250-100$$

$$LMTD = \frac{186-150}{\ln \frac{186}{150}}$$

$$t_1 = 64, (\text{°F})$$

RESULTADO

$$t_2 = 100, (\text{°F})$$

$$\text{LMTD} = 167.3, (\text{°F})$$

12.a.3 Velocidad recomendada

ECUACION

SUSTITUCION

$$v = v' \times 60$$

$$v = 7(60)$$

DATOS

RESULTADO

$$v' = 7, (\text{ft/seg})$$

$$v = 420, (\text{ft/min})$$

12.a.4 Area de flujo necesaria

ECUACION

SUSTITUCION

$$a = \frac{W_w}{v \rho_w}$$

$$a = \frac{62\,556}{420(62.4)}$$

DATOS

$$v = 420, (\text{ft/min})$$

$$W_w = 62\,556, (\text{lb/hr})$$

RESULTADO

$$\rho_w = 62.4, (\text{lb/ft}^3)$$

$$a = 0.03978, (\text{ft}^2)$$

12.a.5 Diámetro y espesor de los tubos

$$dt = 3/4, (\text{in})$$

$$\text{BGW} = 16$$

12.a.6 Arreglo, número de pasos y espaciamento de tubos

Arreglo triangular normal

$$P_t = 1, \text{ (in)}$$

$$N_p = 2$$

12.a.7 Número de tubos por paso

$$N_t' = 38, \text{ (tubos/paso)}$$

12.a.8 Número total de tubos

ECUACION

$$N_t = N_t' \times N_p$$

DATOS

$$N_p = 2$$

$$N_t' = 38, \text{ (tubos/paso)}$$

SUSTITUCION

$$N_t = 38(2)$$

RESULTADO

$$N_t = 76, \text{ (tubos)}$$

12.a.9 Area de flujo real por paso

ECUACION

$$a_t = \frac{a_t' \times N_t'}{144}$$

DATOS

$$a_t' = 0.302, \text{ (in}^2\text{)}$$

$$N_t' = 38, \text{ (tubos/paso)}$$

SUSTITUCION

$$a_t = \frac{(0.302) (38)}{144}$$

RESULTADO

$$a_t = 0.07968, \text{ (ft}^2\text{)}$$

12.a.10 Velocidad real

ECUACION

$$v = \frac{Ww'}{60(a_t)}$$

DATOS

$$a_t = 0.07968, (\text{ft}^2)$$

$$Ww' = 16.708, (\text{ft} / \text{min})$$

SUSTITUCION

$$v = \frac{16.708}{60(0.07968)}$$

RESULTADO

$$v = 3.49, (\text{ft}/\text{seg})$$

12.a.11 Coeficiente de película

ECUACION

$$h_i = h_i(v, \bar{t})$$

DATOS

$$\bar{t} = 82, (^\circ\text{F})$$

$$v = 3.49, (\text{ft}/\text{seg})$$

RESULTADO

$$h_i = 840, (\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

12.a.12 Coeficiente de película referido a la superficie externa

ECUACION

$$h_{io} = h_i \times \frac{d_i}{d_o}$$

DATOS

$$d_i = 0.62, (\text{in})$$

$$d_o = 0.75, (\text{in})$$

$$h_i = 840, (\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

SUSTITUCION

$$h_{io} = 840 \frac{(0.62)}{0.75}$$

RESULTADO

$$h_{io} = 694.4, (\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

SECUENCIA B. CALCULO DEL COEFICIENTE DE CONDENSACION

FLUIDO: VAPOR DE AGUA SATURADO

12.b.1 Flujo másico de vapor

ECUACION	SUSTITUCION
$W_v = \frac{Q}{\lambda_v}$	$W_v = \frac{2\ 252\ 016}{245.3}$

DATOS

$Q = 2\ 252\ 016, \text{ (Btu/hr)}$	RESULTADO
$v = 945.3, \text{ (Btu/hr)}$	$W_v = 2382 \text{ (lb/hr)}$

12.b.2 Longitud real de los tubos de transferencia

$L_t = 6, \text{ (ft)}$	(V.b.4) y (A.V.b.4)
-------------------------	---------------------

12.b.3 Area de transferencia disponible

$A = 89.5, \text{ (ft}^2\text{)}$	(V.b.5) y (A.V.b.5)
-----------------------------------	---------------------

12.b.4 Diámetro de la coraza

$D_s = 12, \text{ (in)}$	(V.b.6) y (A.V.b.6)
--------------------------	---------------------

12.b.5 Número y distancia real entre mamparas

$B = 4.5, \text{ (in)}$	(VII.b.14) y (A.VII.b.14)
-------------------------	---------------------------

$N_b = 8, \text{ (mamparas)}$	(V.b.8) y (A.V.b.8)
-------------------------------	---------------------

12.b.6 Espaciamiento entre diámetros externos de tubos

$$c = 0.25, (\text{in}) \quad (\text{V.b.9}) \text{ y } (\text{A.V.b.9})$$

12.b.7 Area de flujo corregida en la coraza

$$a_s = 0.09373, (\text{ft}^2) \quad (\text{12.b.5}) \text{ y } (\text{A.V.b.10})$$

12.b.8 Carga de condensado

$$G'' = 22.12, (\text{lb/hr-ft}) \quad (\text{V.b.11}) \text{ y } (\text{A.V.b.11})$$

12.b.9 Temperatura de pared

ECUACION

$$t_w' = \bar{t} + \frac{h_o'}{h_{io} + h_o'} (t_v - \bar{t})$$

DATOS

$$h_{io} = 694.4, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$h_o' = 1800$$

$$\bar{t} = 82, (^\circ\text{F})$$

SUSTITUCION

$$t_w' = 82 + \frac{1700}{694.4 + 1700} (250 - 82)$$

RESULTADO

$$t_w' = 201.3, (^\circ\text{F})$$

12.b.10 Temperatura de película

ECUACION

$$t_{f1} = \frac{t_w' + t_v}{2}$$

DATOS

SUSTITUCION

$$t_{f1} = \frac{201.3 + 250}{2}$$

$$t_v = 250, (\text{°F})$$

RESULTADO

$$t_w' = 201.3, (\text{°F})$$

$$t_f' = 225.65, (\text{°F})$$

12.b.11 Propiedades de la película de condensado evaluadas a la temperatura de película.

DATOS

RESULTADOS

$$t_f' = 223.25, (\text{°F})$$

$$k_f = 0.377, (\text{Btu/hr-ft-°F})$$

$$f' = 0.23, (\text{centipoises})$$

$$\mu_f = 2.42 \mu f'$$

$$= 0.5566, (\text{lb/hr-ft})$$

$$\bar{v}_f = 0.0168$$

$$\rho_f = \frac{1}{\bar{v}_f}$$

$$\rho_f = 59.5, (\text{lb/ft}^3)$$

12.b.12 Coeficiente de condensación.

ECUACION

SUSTITUCION

$$h_o = 1.5 \frac{4}{k_f^3} \frac{f G''}{f^2}^{1/3}$$

$$h_o = 1.5 \frac{4 (0.5566) 22.12}{(0.377)^3 (59.5)^2 4.17 \times 10^8}$$

DATOS

$$= 1.5 (6.22678 \times 10^{-10})$$

$$g = 4.17 \times 10^8, (\text{ft/hr}^2)$$

$$= 1.5 (1171)$$

$$G'' = 22.12, (\text{lb/hr-ft})$$

$$k_f = 0.377, (\text{Btu/hr-ft-°F})$$

$$f = 0.5566, (\text{lb/hr-ft})$$

RESULTADO

$$f = 59.5, (\text{lb/ft}^3)$$

$$h_o = 1756.7, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

12.b.13 Comprobación de la temperatura de película

ECUACION

SUSTITUCION

$$t_w = \bar{t} + \frac{h_o}{h_i + h_o} (t_v - \bar{t})$$

$$t_w = 82 + \frac{1756.7}{694.4 + 1756.7} (250 - 82)$$

DATOS

$$h_i = 694.4, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$h_o = 1756.7, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$\bar{t} = 82, (^\circ\text{F})$$

RESULTADO

$$t_w = 202.4, (^\circ\text{F})$$

ECUACION

SUSTITUCION

$$t_f = \frac{t_w + t_v}{2}$$

$$t_f = \frac{202.4 + 250}{2}$$

DATOS

$$t_v = 250, (^\circ\text{F})$$

$$t_w = 202.4, (^\circ\text{F})$$

RESULTADO

$$t_f = 226.2, (^\circ\text{F})$$

ECUACION

SUSTITUCION

$$\Delta t = t_f' - t_f$$

$$\Delta t = 225.65 - 226.2$$

DATOS

$$t_f' = 225.65, (^\circ\text{F})$$

RESULTADO

$$t_f = 226.2, (^\circ\text{F})$$

$$\Delta t = 0.55, (^\circ\text{F})$$

NOTA: Se acepta el valor de $h_o = 1756.7 \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$

SECUENCIA C. CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

12.c.1.1 Coeficiente global de transferencia de calor. (Equipo limpio)

NOTA: En el caso del equipo limpio no existen aún las resistencias provocadas por la incrustación de los fluidos.

ECUACION

$$V = \frac{1}{\frac{1}{h_{io}} + \frac{1}{h_o} + \frac{e}{12k} \frac{A_o}{A_m}}$$

SUSTITUCION

$$V = \frac{1}{\frac{1}{1756.7} + \frac{1}{694.4} + 0.000035}$$

DATOS

$$h_{io} = 694.4, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$h_o = 1756.7, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

$$\frac{e A_o}{12k A_m} = 0.000035, (\text{hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu})$$

RESULTADO

$$V = 489.15, (\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F})$$

12.c.2.1 Area de transferencia de calor necesaria

ECUACION

$$A_N = \frac{Q}{ULMTD}$$

SUSTITUCION

$$A_N = \frac{2\ 252\ 016}{489.15(167.3)}$$

DATOS

$$LMTD = 167.3, (^\circ\text{F})$$

$$Q = 2\,252\,016, \text{ (Btu/hr)}$$

RESULTADO

$$U = 497.67, \text{ (Btu/hr-ft } ^\circ\text{F)}$$

$$A_N = 27.52, \text{ (ft}^2\text{)}$$

12.c.3.1 Sobrediseño

ECUACION

SUSTITUCION

$$SD = \frac{A_T - A_N}{A_T} \times 100$$

$$SD = \frac{89.5 - 27.52}{89.5}$$

DATOS

$$A_N = 27.25, \text{ (ft}^2\text{)}$$

RESULTADO

$$A_T = 89.5, \text{ (ft}^2\text{)}$$

$$SD = 69.25 \%$$

12.c.1.2 Coeficiente global de transferencia de calor. (Equipo sucio)

ECUACION

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{io}} + R_I \frac{A_o}{A_i} + \frac{e}{12k} \frac{A_o}{A_m} + R_o + \frac{1}{h_o}}$$

SUSTITUCION

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1756.7} + 0.0012 + 0.000035 + 0.003 + \frac{1}{694.4}}$$

DATOS

$$\frac{e}{12k} \frac{A_o}{A_m} = 0.000035, \text{ (hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu)}$$

$$h_{io} = 1756.7, \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

$$R_I \frac{A_o}{A_i} = 0.0012, \text{ (hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu)}$$

$$R_o = 0.003, \text{ (hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu)}$$

RESULTADO

$$U = 160.145, \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

12.c.2.2 Area de transferencia de calor necesaria

ECUACION

$$AN = \frac{Q}{ULMTD}$$

SUSTITUCION

$$AN = \frac{2\,252\,016}{160.145 (167.3)}$$

DATOS

$$LMTD = 167.3, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

$$Q = 2\,252\,016, \text{ (Btu/hr)}$$

RESULTADO

$$U = 160.145, \text{ (Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

$$A_N = 84.05, \text{ (}^\circ\text{F)}$$

12.c.3.2 Sobrediseño

ECUACION

$$S_D = \frac{A_T - A_N}{A_T} \times 100$$

SUSTITUCION

$$S_D = \frac{89.5 - 84.05}{89.5} \times 100$$

DATOS

$$A_N = 84.05, \text{ (ft}^2\text{)}$$

RESULTADO

$$A_T = 89.5, \text{ (ft}^2\text{)}$$

$$S_D = 6.09 \%$$

SECUENCIA D. EVALUACION DE LA CAIDA DE PRESION

LADO TUBOS: AGUA

12.d.1 Masa velocidad

ECUACION

$$G_t = \frac{W_w}{a_t}$$

SUSTITUCION

$$G_t = \frac{62\ 556}{0.07968}$$

DATOS

$$a_t = 0.07968, (\text{ft}^2)$$

RESULTADO

$$W_w = 62\ 556, (\text{lb/hr})$$

$$G_t = 785090.5, (\text{lb/hr-ft}^2)$$

12.d.2 Número de Reynolds

ECUACION

$$Re = \frac{d_i G_t}{12(2.42) w}$$

SUSTITUCION

$$Re = \frac{0.62 (3\ 140\ 362)}{12(2.42) 0.9}$$

DATOS

$$d_i = 0.62, (\text{in})$$

$$G_t = 3\ 140\ 362, (\text{lb/hr-ft}^2)$$

RESULTADO

$$w = 0.9, (\text{centipoises})$$

$$Re = 18\ 624$$

12.d.3 Factor de fricción

DATOS

RESULTADO

$$Re = 18\ 624$$

$$f = 0.00023$$

12.d.4 Caída de presión tramos rectos

ECUACION

$$P_t = \frac{f(G_t) L_t N_p}{5.22 \times 10^{10} d_i \phi_t S}$$

SUSTITUCION

$$P_t = \frac{0.00023(785\ 090.5)^2 6(2) 12}{5.22 \times 10^{10} (0.62)}$$

DATOS

$$d_i = 0.62, \text{ (ft)}$$

$$f = 0.00023$$

$$G_t = 785\ 090.5, \text{ (lb/hr-ft}^2\text{)}$$

$$L_t = 6, \text{ (ft)}$$

$$N_p = 2$$

$$S = 1.0$$

$$\phi_t = 1.0$$

RESULTADO

$$P_t = 0.63, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

12.d.5 Caída de presión en retornos

ECUACION

$$P_r = \frac{4N_p}{S} \frac{v^2}{2g'}$$

SUSTITUCION

$$P_r = \frac{4(2)}{1.0} (0.08)$$

DATOS

$$N_p = 2$$

$$\frac{v^2}{2g'} = 0.08, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

$$S = 1.0$$

RESULTADO

$$Pr = 0.64, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

12.d.6 Caída de presión total

ECUACION

$$P_T = P_t + P_r$$

SUSTITUCION

$$P_T = 0.63 + 0.64$$

DATOS

$$P_t = 0.63, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

$$P_r = 0.64, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

RESULTADO

$$P_T = 1.27, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

SECUENCIA E. EVALUACION DE LA CAIDA DE PRESION

LADO CORAZA: VAPOR SATURADO.

12.e.1 Masa velocidad del vapor saturado

ECUACION	SUSTITUCION
$G_s = \frac{W_v}{a s}$	$G_s = \frac{2382}{0.09375}$
DATOS	RESULTADO
$a s = 0.09373, (ft^2)$	$G_s = 25413.4, (lb/hr-ft^2)$
$W_v = 2382, (lb/hr)$	

12.e.2 Número de Reynolds para evaluar caída de presión

ECUACION	SUSTITUCION
$Re = \frac{De G_s}{12(2.42) \phi_v}$	$Re = \frac{0.62 (25413.4)}{12(2.42) 0.013}$
DATOS	RESULTADO
$De = 0.62, (in)$	$Re = 41736$
$G_s = 25413, (lb/hr-ft^2)$	
$\phi_v = 0.013, (cp)$	

12.e.3 Factor de fricción

DATOS

$$Re = 41\ 736$$

RESULTADO

$$f = 0.0016, \text{ (ft}^2/\text{in}^2\text{)}$$

12.e.4 Caída de presión lado coraza

ECUACION

$$P_s = \frac{f(G_s)^2 D_s (N_B + 1)}{2g D_e \phi_s}$$

SUSTITUCION

$$P_s = \frac{0.0016(25413.4)^2 1(9)12}{2(4.17 \times 10^8) 0.0727(0.62)1.0}$$

DATOS

$$D_e = 0.62/12, \text{ (ft)}$$

$$D_s = 1, \text{ (ft)}$$

$$f = 0.0016, \text{ (ft}^2/\text{in}^2\text{)}$$

$$G_s = 25\ 413.4, \text{ (lb/hr-ft}^2\text{)}$$

$$g = 4.17 \times 10^8, \text{ (ft/hr}^2\text{)}$$

$$N_B = 8$$

$$= 0.0727, \text{ (lb/ft}^3\text{)}$$

$$\phi_s = 1.0$$

RESULTADO

$$P_s = 2.97, \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

TABLA DE REGISTRO DE DATOS EXPERIMENTALES

Proponer una tabla de registro en la cual se anotarán los valores obtenidos experimentalmente.

El esquema general de una tabla de registro de valores experimentales es como el siguiente.

VARIABLE CORRIDA	P ₁ (lb/in ²)	P ₂ (lb/in ²)	P ₃ (lb/in ²)	T ₁ (°F)	T ₂ (°F)	T ₃ (°F)	T ₄ (°F)	F ₁ (GPM)
1								
2								
:								
n								

Tabla de registro de datos experimentales

Las variables P,T,F indican: presión, temperatura y flujo respectivamente y los números indican la corriente en la cual se efectúa la medición.

EXPERIMENTACION

Se verificará bajo la atención del asesor experimental y con la

participación de cada uno de los integrantes del equipo los cuales, previamente, efectuaron una asignación de actividades.

CALCULO DE RESULTADOS BAJO CONDICIONES EXPERIMENTALES.

Mediante el esquema de cálculo teórico presentado, calcular el equipo bajo condiciones reales.

RESUMEN DE RESULTADOS

Resumir tanto los valores predichos, teóricamente, como aquéllos obtenidos experimentalmente.

Como ejemplo se darán los resultados teóricos obtenidos para el intercambiador de calor cuando trabaja con agua por los tubos y vapor saturado por la coraza. El equipo trabajará en las combinaciones 1-2 y 1-4.

PARAMETRO COMBINACION	hio (Btu/hr-ft ² -°F)	ho (Btu/hr-ft ² -°F)	U (Btu/hr-ft ² -°F)	P (lb/in ²)	Ps (lb/in ²)
1 - 4	1198.6	1892.6	178.60	9.45	2.97
1 - 2	694.4	1756.7	160.145	1.27	2.97

Tabla de valores predichos

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Apoyándose en los resultados obtenidos, concluir las diferencias para cada par teórico-experimental y generalizar, en lo posible, sobre el comportamiento del equipo.

Concluir sobre cada uno de los objetivos planteados al inicio y analizar la consecución lograda para cada uno de ellos.

Volviendo a nuestros datos supuestos es interesante ver que predicen:

- a) disminución de los coeficientes individuales de película,
- b) disminución de la velocidad global de transferencia de calor y
- c) disminución de la caída de presión.

De lo cual puede concluirse que los coeficientes de película son función directa de la velocidad a la que se maneja el fluido, en este caso el agua.

Tal cambio se verifica cuando se modifica el área de flujo de los tubos mediante un cambio en el número de pasos por los tubos.

Otra importante predicción radica en el cambio del valor del coeficiente global de transferencia de calor, resultado acorde con los planteamientos teóricos.

De la caída de presión, así como del valor del coeficiente global se deduce que se está subempleando el área de transferencia como consecuencia de la inadecuada velocidad a la que se maneja el

agua para el área de flujo disponible.

En general, de los valores teóricos pueden establecerse patrones de comportamiento que deberán cotejarse con aquellos obtenidos a nivel experimental.

XIV CONCLUSIONES

Ingeniería Química es una carrera en la que se conjuntan teoría y práctica, donde el porcentaje de tiempo empleado para cubrir la parte última es, dentro del total de horas de docencia directa, de suma importancia.

La práctica o experimentación se lleva a cabo en los Laboratorios acondicionados para tal fin, donde los Procesos de Enseñanza-Aprendizaje empleados son el conocido, comúnmente, como tradicional y el denominado Proyecto Experimental.

En el esquema tradicional el medio de transmisión de conocimientos está limitado a la acción verbal del profesor y el texto o una técnica experimental específica, la cual no motiva la búsqueda ni permite la aplicación de otros caminos experimentales.

En el proyecto experimental, el estudiante se encuentra ante un problema y tiene la ayuda de un asesor experimental que en lugar de darle información y/o encerrarlo en una trayectoria, se limitará a encauzarlo y corregirlo, si es necesario, otorgándole la libertad de elegir aquella que al alumno le parezca adecuada, teniendo en cuenta, por supuesto, que tal vía lleve a la consecución de los objetivos planteados y en ningún momento ponga en peligro la seguridad de los ocupantes del laboratorio.

De lo anterior se desprende que, a diferencia del proceso tradicional, donde es profesor es el único capaz de tomar decisiones, en el de proyectos experimentales, es el estudiante el único que decidirá sobre su forma de trabajo, ubicándose en el contexto del laboratorio y las posibilidades de servicios que éste posea.

Tradicionalmente, al estudiante se le identifica como receptor pasivo de la información transmitida por el profesor, no sucede así en el sistema ejemplificado en este trabajo, donde el alumno abandona tal papel y se convierte en parte activa del Proceso Enseñanza-Aprendizaje al tener la responsabilidad de investigar, analizar, seleccionar y sintetizar la información que le será necesaria para el desarrollo de su tema experimental.

En general, 50 es el número de alumnos que conforman un grupo al que se imparten conocimientos, tarea difícil tanto para el profesor como para el estudiante.

Para superar esta dificultad se desarrolla la actividad experimental por equipos compuestos por 4 ó 5 participantes con una organización interna de trabajo adecuada para que cada uno adquiriera conocimientos que, primero, serán específicos sobre la investigación que desarrollo y posteriormente totales sobre el tema, aprovechando la integración de la información aportada por cada miembro del equipo.

Por otro lado, el proyecto experimental hace la posible la integra-

ción del trabajo experimental con los problemas de ingeniería mediante la aplicación de los conocimientos teórico-experimentales para su solución.

Por su estructura, permite que el trabajo experimental sea continuo tanto en el tiempo como en la adquisición de conocimientos.

De este modo el trabajo experimental que se realiza semestralmente adquiere el carácter, no de experiencias aisladas, sino de una serie organizada y continua de actividades que están encaminadas hacia la mejor formación del alumno, aprovechando los conocimientos teóricos que el estudiante asimila en las asignaturas.

Con la solución continua de problemas, el estudiante adquiere habilidad en el manejo del método científico y ello da lugar a que su capacidad de observación, análisis y síntesis se desarrolle adecuadamente para resolver problemas concretos de Ingeniería.

Este tipo de estructuras experimentales inducen al trabajo interdisciplinario dando pauta al desarrollo de experiencias de trabajo realizadas por varias personas de una misma disciplina que interactúan y por otro lado laboran con otras disciplinas, dándole así el carácter de multidisciplinariedad a la enseñanza.

Otro aspecto que resulta necesario comentar es que en el diseño térmico aquí presentado se empleó como libro de consulta el denominado Procesos de Transferencia de Calor cuyo autor, Donald Q. Kern, plan-

tea métodos para cálculo de intercambiadores de calor que conducen a la predicción de equipos funcionales pero sobrediseñados. En el caso de este equipo en particular, existe cierta flexibilidad en relación a su diseño, ya que su finalidad de empleo es básicamente de carácter didáctico y puede aprovecharse el sobrediseño generado, no así en la industria donde se dan, por lo general, condiciones y necesidades más rígidas.

Por último, el intercambiador tipo AEP, según la clasificación que hace TEMA, es de un costo superior al de un intercambiador de capacidad térmica similar pero que carece de la versatilidad del primero. Esta diferencia en precios radica en el cabezal de retorno que para el equipo aquí diseñado es el conocido como "P". Su estructura compuesta de varias partes de forja eleva los costos de construcción pero resulta particularmente útil para la realización de los objetivos planteados al inicio de este trabajo.

XIV BIBLIOGRAFIA

- I. Tubular Exchanger Manufacturers Association.
6ª Edición, 1978
- II. American Society of Mechanical Engineers
Boiler and Pressure Vessel Code
Section VIII, Division 1
1980
- III. Flow of Fluid Through Valves, Fittings and Pipe.
Crane Company
13ª Edición, 1973
- IV. Valves, Fittings, Pipe, Fabricated Piping
Catálogo N° 49
Crane Company
2ª Edición, 1949
- V. Kern, J.D.
Procesos de Transferencia de Calor
Editorial CECSA
México D.F., 1978
- VI. Ludwig E.E.
Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants
Gulf Publishing Company

2ª Edición, 1980

VII. Corripio A.B., Chriem K.S., Evans L.B.

Estimate costs of heat exchangers and storage tanks via correlations.

Chemical Engineering, January, 25, V.90, 1982

VIII. Hall R.S., Matley J., McNaughton K.J.

Current costs of process equipment

Chemical Engineering, April 5, V.90, 1982

IX. Pikulik A., Diaz H.E.

Cost estimating for major process equipment.

Chemical Engineering, October 10, V.84, 1977

FIGURAS EMPLEADAS

1. Specific heats of liquids
Pág. 170, I
2. Specifics heats of gases
Pág. 171, I
3. Viscosities of liquids
Pág. 186, I
4. Viscosities of gases and vapors
Pág. 187, I
5. Curva de transferencia de calor para agua en los tubos.
Pág. 940, V
6. Curva de transferencia de calor para el lado de la coraza con haces de tubos con deflectores segmentados 25%
Pág. 943, V
7. Factor de fricción para el lado tubos
Pág. 941, V
8. Factor de fricción lado de la coraza con haces de tubos con deflectores segmentados 25%
Pág. 944, I
9. Pérdida de presión por retorno, lado tubos
Pág. 942, I

10. Geometric chart for cylindrical vessels under external or compressive loading.

Pág. 401, 11

11. Chart for determining shell thickness of cylindrical and spherical vessels under external pressure when constructed of carbon or low-alloy steels.

Pág. 402, 11

12. Chart for determining shell thickness of cylindrical and spherical vessels under external pressure when constructed of annealed copper.

Pág. 410, 11

TABLAS EMPLEADAS

1. Thermal conductivity of liquids
Pág. 177, I
2. Thermal conductivity of gases and vapors
Pág. 178, I
3. Thermal conductivity of metals
Pág. 211, I
4. Properties of saturated steam
Pág. A-12, III
5. Suggested Fluid Velocities in Pipe and Tubing
Pág. 54, VI
6. Typical Design Vapor Velocities
Pág. 54, VI
7. Characteristics of tubing
Pág. 205, I
8. Dimensions of welded and seamless pipe
Pág. 190, I
9. Arreglo y cuenta de tubos
Pág. 946, V
10. Arreglo y cuenta de tubos
Pág. 947, V

11. Coeficiente global de transferencia de calor
Pág. 945, V
12. Fouling factors
Pág. 139, I
13. Fouling factors
Pág. 140, I
14. Fouling factors
Pág. 141, I
15. Fouling factors
Pág. 142, I
16. Physical Properties of Water
Pág. A-6, III
17. Maximum allowable stress values in tension for carbon and
low-alloy steel
Pág. 248, II
18. Maximum allowable stress values in tension for carbon and
low-alloy steel.
Pág. 249, II
19. Maximum allowable stress values in tension for carbon and
low-alloy steel.
Pág. 250, II
20. Maximum allowable stress values in tension for carbon and

low-alloy steel.

Pág. 251, II

21. Maximum allowable stress values in tension for carbon and low-alloy steel.

Pág. 252, II

22. Maximum allowable stress values in tension for carbon and low-alloy steel.

Pág. 253, II

23. Modulus of elasticity

Pág. 209, II

24. Effective gasket width

Pág. 380, II

25. Gasket materials and contact facings

Pág. 378, II

26. Gasket materials and contact facings

Pág. 379, II

27. Bolting Data

Pág. 196, I

28. Factor Y.

Pág. 381, II

29. Dimensions of ANSI standard flanges

Pág. 192, I

30. Dimensions of ring and flanges

Pág. 459, IV

31. Dimensions of packed box

Pág. 70, I

32. Some acceptable types of unstayed flat heads and covers

Pág. 35, I

33. Standard bare tube diameters and gages

Pág. 60, I

34. Maximum allowable stress values intension for nonferrous metals

Pág. 280, II