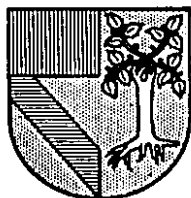


308917

6  
24



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**

**ESCUELA DE INGENIERIA  
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**DISEÑO MECANICO DE UN REACTOR  
ENCHAQUETADO**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
**(AREA MECANICA)**  
**P R E S E N T A**  
**GABRIEL EGUIARTE FRUNS**

MEXICO, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE.

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCION .....  | 1  |
| 1. GENERALIDADES DE REACTORES ENCHAQUETADOS.....  | 2  |
| 1.1 Clasificación de los Reactores .....  | 3  |
| 1.1.1 Clasificación inicial de reactores.....   | 3  |
| 1.1.2 Clasificación de acuerdo al número de fases<br>presentes.....                                   | 4  |
| 1.1.3 Clasificación de acuerdo a la práctica de --<br>ejecución del proceso.....                      | 4  |
| 1.1.4 Clasificación de acuerdo a la distribución de la<br>temperatura en el interior del reactor..... | 5  |
| 1.1.5 Clasificación de acuerdo con el intercambio de--<br>calor.....                                  | 5  |
| 1.2 Elementos esenciales de los reactores en general.....   | 6  |
| 1.3 Superficies utilizables para el intercambio térmico.....  | 6  |
| 1.4 Sistemas de agitación.....  | 15 |
| 1.4.1 Clasificación.....  | 16 |
| A) Según su montaje.....  | 16 |
| A.1 Agitador portátil.....  | 16 |
| A.2 Agitador fijo.....  | 16 |
| A.2.a Montaje superior o inferior..   | 16 |
| A.2.b Montaje lateral.....  | 17 |
| A.2.c En línea.....   | 17 |
| B) Según el tipo de impulsor.....   | 17 |
| B.1 Impulsor de paletas.....  | 17 |
| B.2 Impulsor tipo propela.....  | 21 |
| B.3 Impulsor tipo turbina.....  | 21 |

|  |           |
|--|-----------|
| B.4 Impulsor de disco.....   | 23        |
| B.5 Impulsor cónico.....   | 23        |
| B.6 Impulsor helicoidal.....   | 23        |
| <b>2. DISEÑO MECANICO DEL REACTOR.....</b>   | <b>28</b> |
| 2.1 Planteamiento del problema.....  | 28        |
| 2.2 Material de construcción y espesor de tapas.....   | 33        |
| 2.3 Espesor de la envolvente cilíndrica por presión interna..  | 38        |
| 2.4 Relevación de esfuerzos.....   | 37        |
| 2.5 Cálculo del espesor de la chaqueta.....  | 38        |
| 2.5.1 Material.....  | 38        |
| 2.5.2 Espesor de la chaqueta.....  | 39        |
| 2.5.3 Espesor de la tapa de la chaqueta.....   | 40        |
| 2.6 Anillos de refuerzo.....   | 46        |
| 2.7 Determinación del momento de inercia.....  | 45        |
| 2.8 Aberturas y refuerzos.....   | 48        |
| 2.8.1 Entrada al agitador.....   | 50        |
| 2.8.2 Registro Hombre.....   | 51        |
| 2.8.3 Boquillas de 3" de diámetro.....   | 52        |
| 2.9 Cálculo de la flecha.....  | 54        |
| 2.9.1 Conceptos básicos que deben de tomarse en cuenta en el cálculo de la flecha.....                 | 54        |
| a) Viscosidad.....   | 54        |
| b) Potencia.....   | 55        |
| c) Velocidad angular.....  | 56        |
| d) Torsión.....  | 58        |
| 2.9.2 1er. criterio sobre el cálculo de la flecha, bajo la consideración de que es para cualquier tipo |           |

|   |     |
|---|-----|
| de impulsor.....  | 80  |
| 2.9.3 2o. criterio de calculo de la flecha , conside-<br>rando impulsores tipo turbina.....         | 84  |
| 2.10 Deflectoras o Mamparas.....  | 89  |
| 2.11 Elección del Sistema Motor-Reductor.....   | 74  |
| 2.12 Selección de las bandas, poleas y tipo de reductor, para<br>el accionamiento del agitador..... | 77  |
| 2.13 Sistema de Calentamiento y Enfriamiento del Reactor por<br>Medio de Aceite.....                | 84  |
| 2.13.1 Sistema de calentamiento por medio de aceite en -<br>el reactor enchaquetado.....            | 84  |
| 2.13.2 Sistema de enfriamiento por medio de aceite en el<br>reactor enchaquetado .....              | 86  |
| 3. ESTIMACION DEL COSTO DE FABRICACION DEL REACTOR .....  | 88  |
| 4. CONCLUSIONES.....  | 94  |
| 5. ANEXOS.....  | 97  |
| 6. BIBLIOGRAFIA.....  | 110 |

## INTRODUCCION

La finalidad del presente trabajo es la de mostrar que con los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería, se puede diseñar y consecuentemente construir en nuestro país diferentes tipos de equipo.

Siendo México un país en vías de desarrollo, el diseño y construcción de bienes de capital, reviste gran interés ya que mientras no se supere esta etapa, difícilmente se podrá alcanzar el desarrollo industrial requerido.

Un equipo de uso muy generalizado en industrias de proceso, son los reactores; dentro de los diferentes tipos de reactores que más adelante se describen el reactor encaquetado con calentamiento externo, es de uso común en muy diversas industrias de tipo químico, químico-farmacéutico, químico-biológico, etc.

Es por ello que se ha seleccionado este tema como punto medular del presente trabajo.

El cálculo y diseño del reactor nos da la oportunidad de poner en juego muchos de los conocimientos adquiridos, permitiéndonos llegar a un fin; el de crear algo que sirve para muy diversas aplicaciones.

**1. GENERALIDADES DE REACTORES ENCHAQUETADOS.**

## 1. GENERALIDADES DE REACTORES ENCHAQUETADOS

### 1.1 Clasificación de los reactores. (9)

Llamamos reactor químico a cualquier equipo que nos permite llevar a cabo una reacción química, es decir transformar una o varias especies moleculares en otras especies moleculares. Sin embargo este nombre debe limitarse a los casos en los cuales la transformación química se efectúa con el objetivo de producir una o varias especies químicas predeterminadas o bien de eliminar de una mezcla uno o varios compuestos. Así pues esta definición excluye por lo tanto a los sistemas que realizan una reacción química con otros fines, por ejemplo la producción de energía.

#### 1.1.1 Clasificación inicial de reactores. (9,22)

La primera clasificación a considerar será la siguiente:

a) Reactores Catalíticos: Los reactores catalíticos son vasos o contenedores en los cuales tienen lugar reacciones químicas catalíticas. Pueden ser construidos en una amplia variedad de materiales y su selección depende de la temperatura y de la presión a la cual ocurrirá la reacción, así como la resistencia a la corrosión requerida. Pueden ser de muchos tipos dependiendo del catalizador utilizado y de las características físicas de los reactivos y productos. Se pueden definir como reactores que presentan un catalizador, que es el que acelera la reacción.

b) Reactores no catalíticos: Se les conoce simplemente como reactores y en ellos se efectúan reacciones químicas no catalizadas. Se pueden definir como reactores que no utilizan catalizador es decir no existe una sustancia que acelere la reacción y que esta sustancia o cuerpo quede inalterada; si la sustancia toma parte en la transformación se convierte en un reactivo o producto y será un reactor NO catalítico.



1.1.2 Criterio de clasificación de acuerdo al número de fases presentes. (9)

Una característica evidente que servirá de base para la clasificación de reactores a escala macroscópica, es la naturaleza de las fases presentes.

a) Sistemas monofásicos (homogéneos): El medio reaccionante está constituido por una fase gaseosa o una fase líquida.

b) Sistemas polifásicos o heterogéneos: Se pueden encontrar las siguientes combinaciones:

-Gas +líquido

-Líquido +líquido

-Gas +sólido

-Líquido +sólido

-Gas+líquido+sólido

1.1.3 Criterio de clasificación de acuerdo a la práctica de ejecución del proceso. (2,8,9,22)

a) Discontinuo: Trabajar en discontinuo significa cargar el o los reactivos en el reactor y dejar que la reacción se efectúe en función del tiempo. Algunas veces se les denomina a estos equipos como sistemas cerrados, ya que durante el tiempo de la reacción, no existe flujo de masa ni entrante ni saliente. Se suelen llamar reactores intermitentes o por lotes.

Una variante del sistema discontinuo es cuando una parte de los reactivos se alimenta durante toda la operación y la descarga se efectúa completamente al final de la misma. Esta variante se llama semicontinua.

b) Continuos: Son sistemas abiertos, tienen una o varias entradas para la alimentación de los reactivos y una o varias salidas para los productos de la reacción.

- El reactor continuo puede ser
- Tubular
  - Perfectamente agitado
  - Por etapas

Tubular: Las especies químicas progresan al mismo tiempo que sus alrededores a lo largo del tubo y reaccionan progresivamente. Su longitud es mayor que el diámetro del tubo.

#### ENTRADA DE ALIMENTACION---+ REACTOR---+SALIDA DE PRODUCTOS

Perfectamente agitado: El reactivo que se alimenta se encuentra bruscamente inmerso en un medio (medio de reacción), que posee una concentración idéntica a la del flujo que sale del reactor. Es un tanque en el que se introducen los reactivos y del que se sacan los productos, además es agitado para tener el contenido tan uniforme como sea posible.

Por etapas: Es un caso intermedio entre los dos anteriores modelos ideales y está constituido de una serie de zonas perfectamente agitadas.

1.1.4 Criterio de clasificación de acuerdo a la distribución de la temperatura en el interior del reactor. (22)

a) Isotérmico: Si la temperatura es constante en todos los puntos del interior del reactor y no cambia con el tiempo.

b) No isotérmico: Si la temperatura varía en las diferentes partes del reactor.

1.1.5 Criterio de clasificación de acuerdo con el intercambio de calor. (9,22)

a) Adiabático: No hay intercambio de calor, no existe una superficie de intercambio. Es un sistema ideal cerrado.

b) No adiabático: Si existe un intercambio de calor, es un sistema abierto. Se puede realizar el intercambio de calor de las siguientes maneras:

-En el interior del reactor.

-En el exterior del reactor a través de las paredes del reactor.

Por el uso tan difundido en la industria química farmacéutica, el reactor que se escoge para su diseño mecánico es el reactor enchaquetado con calentamiento externo.

Según los criterios de clasificación antes mencionados se puede decir que el reactor enchaquetado será:

-No catalítico.

-Polifásico.

-Discontinuo.

-No isotérmico.

-No adiabático.

## 1.2 Elementos esenciales de los reactores en general.(9)

Como ya se ha mencionado anteriormente un reactor sirve para llevar a cabo reacciones químicas, y consiste de un recipiente en el cual los reactivos son introducidos al principio de la operación y después de lograr las condiciones de presión y temperatura, la transformación se efectúa hasta llegar a la conversión deseada.

" Los elementos esenciales son tres:"

1) Un recipiente capaz de contener un volumen " V " de fluido de reacción .

2) Una superficie utilizable para el intercambio térmico .

3) Un sistema de agitación para mezclar, si es necesario reactivos al principio de la operación y para facilitar el intercambio de calor en la superficie de transferencia.

## 1.3 Superficies utilizables para el intercambio térmico.

A continuación se mencionarán algunas generalidades respecto a la

superficie utilizable para el intercambio térmico.

Se utiliza esta superficie para que exista un intercambio de calor suficiente para aportar o extraer calorías absorbidas o generadas por la reacción. A este intercambio térmico se le llama comunmente "Calentamiento" y lo podemos clasificar en:

- a) Interno ----- -Serpentín.
- b) Externo ----- -Resistencia eléctrica.
- Fuego directo.
- Serpentín .
- Chaqueta.
- Tubular.

a) Calentamiento interno:

El calentamiento interno se hace a través de un serpentín ya que no se puede hacer agregando un fluido caliente, pues existe la posibilidad de que se lleven acabo reacciones no deseadas. Lo que se necesita es calentar de tal manera que el fluido utilizado para el calentamiento no reaccione con el medio del reactor. El calentamiento puede hacerse practicamente con cualquier fluido pero los más comunes son el vapor de agua y el aceite caliente. Ver fig (1).

Los problemas que se presentan en este tipo de calentamiento son:

El material debe de ser de la misma calidad que el del reactor, por lo tanto es caro.

Las fugas pueden ocasionar fallas por presión excesiva o bien que el fluido caliente reaccione con la mezcla de sustancias y/o productos que estan dentro del reactor.

Ocupa espacio dentro del reactor lo cual disminuye el volumen

El calentamiento no es uniforme.

b) Calentamiento externo.

Es el que se realiza por la parte exterior del reactor. Entre los sistemas de uso más común se pueden citar resistencia eléctrica, fuego directo, serpentín exterior, chaqueta plana o tubular. A continuación se mencionarán las ventajas y desventajas de cada tipo de calentamiento.

1) Calentamiento con Resistencia Eléctrica.

Ventajas: Su instalación es limpia.

No requiere caldera

Su mantenimiento es sencillo.

Desventajas: La Corriente Eléctrica es cara.

La Corriente Eléctrica es riesgosa.

Ver fig (2) .

2) Calentamiento con fuego directo.

Ventajas: No requiere caldera.

Instalación económica.

Desventajas: Calentamiento muy localizado.

Temperatura muy alta en la zona del calentamiento  
, puede haber sobrecalentamiento.

Posibilidad de incendio.

Debilitamiento en la zona de calentamiento.

Ver fig (3)

3) Calentamiento con serpentín exterior.

Ventajas: Material diferente al del reactor.

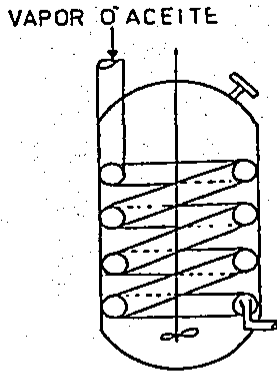


FIGURA 1

CALENTAMIENTO INTERNO.

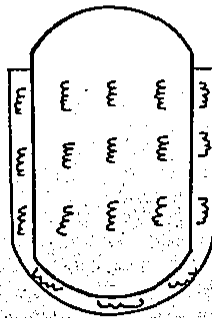


FIGURA 2

CORRIENTE ELECTRICA

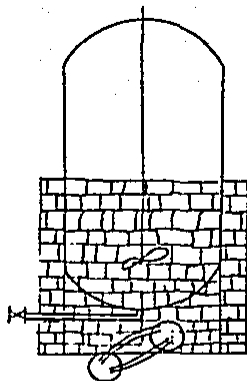


FIGURA 3

FUEGO DIRECTO

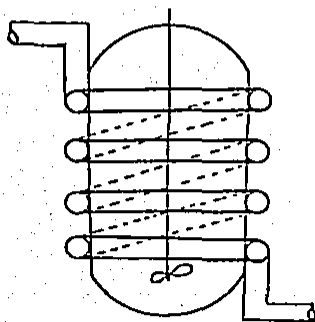


FIGURA 4

SERPENTIN EXTERIOR.

Fácil mantenimiento.

Desventajas: Muy baja transmisión de calor.

El tiempo de reacción es muy largo.

Ver fig (4)

4) Calentamiento con chaqueta.

Ventajas: Mejor calentamiento que el del serpentín.

Material de construcción mas barato.

Fácil mantenimiento.

Desventajas: Poca velocidad en el fluido de calentamiento. Lo cual da una baja transmisión de calor.

Resiste poca presión por el lado de la chaqueta.

Ver fig (5).

5) Calentamiento tubular.

Ventajas: Calentamiento y enfriamiento muy rápido.

Excelente transmisión de calor.

Resiste la presión.

Mantenimiento sencillo.

Desventajas: Material caro.

Construcción muy costosa. (todos los medios tubos van soldados).

Ver fig (6)

De los sistemas de calentamiento tenemos que el mejor es el calentamiento tubular externo, pero por ser muy costoso la elección del reactor a utilizar quedaría según las ventajas y las desventajas entre el tubular y el enchaquetado. El tubular como ya se mencionó es el



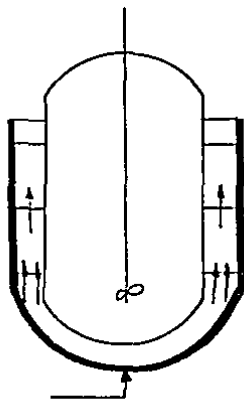


FIGURA 5

REACTOR ENCHAQUETADO.

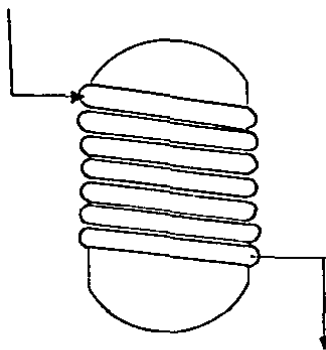


FIGURA 6

CALENTAMIENTO TUBULAR.

mejor pero el más costoso, el de serpentín no tiene ninguna posibilidad de ser mejorado, es decir que se asemeje lo más posible al tubular, pero en cambio el enchaquetado lo podemos semejar al tubular de la siguiente manera: Poniendo anillos de refuerzo a lo largo de la chaqueta pero tomando la consideración de no poner demasiados porque el costo del material así como el de la mano de obra aumentarían mucho.

Ver fig. (7) .

Podemos concluir que el reactor enchaquetado con calentamiento externo es el más adecuado y por esta razón este tipo de reactor es el de mayor uso en la industria química, química farmacéutica, química biológica .

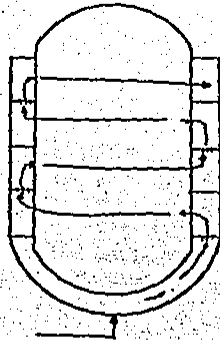


FIGURA 7

TRAYECTO DEL FLUIDO.

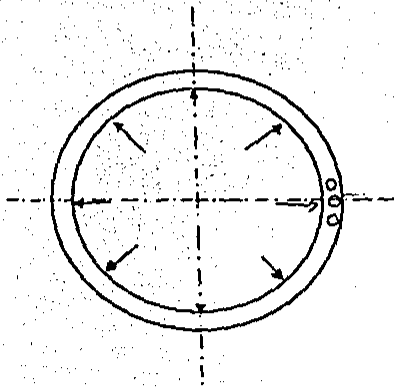


FIGURA 7

ORIFICIOS EN LOS ANILLOS

#### 1.4 Sistemas de agitación. (13,23,24,25,26)

La agitación es la producción de movimiento en un fluido por la acción de un dispositivo o algún otro medio en el seno de dicho fluido. Los factores más importantes que deben de ser considerados en los problemas de agitación son: La viscosidad del líquido y el volumen por agitar.

En el diseño de un agitador intervienen tres aspectos principales

1) Diseño del proceso; Se dice cual es la mecánica de fluidos del impulsor, el régimen de flujo requerido por el proceso y la similitud hidraúlica.

2) Características de potencia del impulsor; Relación entre los Caballos de Fuerza (HP), la velocidad y el diámetro.

3) Diseño mecánico; Impulsor, flecha, sello, reductor de velocidad, y motor.

La agitación hablando en términos generales tiene tres grados:

(23)

-Agitación Suave.

-Agitación Media.

-Agitación Violenta.

Cada problema de agitación puede ser resuelto con diversos tipos de agitadores.

Para hacer una selección del agitador, de tal manera que este realice su función lo más rápido y económico posible, es necesario tener en cuenta las características y requisitos del proceso.

Es importante hacer notar que la agitación mejora la transmisión de calor, también mejora la mezcla y juega un papel determinante en la reacción; consecuentemente disminuye el tiempo de reacción.

El sistema de agitación debe de provocar que cada reactivo mantenga su concentración uniforme en todo el volumen reaccionante.

A continuación se describen brevemente los principales tipos de agitadores de uso común.

#### 1.4.1 Clasificación:

La clasificación de agitadores se puede hacer respecto a dos criterios.

A) Según su montaje: A.1 Portátil.

A.2 Fijos: A.2.a Superior o inferior,

A.2.b Lateral; A.2.c En línea.

B) Según el tipo de impulsor:

B.1 Palas.

B.2 Propela.

B.3 Turbina.

B.4 Disco.

B.5 Cónico.

B.6 Helicoidal.

A.1 Agitador Portátil.

Se utiliza para potencias hasta de 3 HP, pero en algunos casos se utiliza hasta 5 HP. Este tipo de agitador es el más económico, su montaje es en ángulo lo cual hace que no sea necesario el uso de deflectores (elementos que provocan turbulencia y evitan la vorticidad).

Su uso es para tanques abiertos. fig ( B ).

A.2 Agitadores Fijos.

Se usa en tanques cerrados y con potencia mayor a 3 HP, la transmisión es por medio de engranes o bandas.

A.2.a Agitadores Fijos: Montaje superior o inferior.

Se puede fijar en una estructura o en un tanque, existen también flotantes. Se necesitan dos juegos de engranes helicoidales, o un juego

de corona-sinfín. Se necesita un sello en la flecha ya que los recipientes pueden operar a presión ó vacío, fig(9).

#### A.2.b Agitadores Fijos; Montaje lateral.

Se usa mucho para mezclar líquidos, sobre todo, cuando son volúmenes grandes. Establecen un régimen de flujo muy efectivo en casi cualquier tamaño de tanque. Se recomienda en tanques horizontales largos.

Debido a que el sello de la flecha está sumergido en el líquido, el uso de estos agitadores está limitado por las propiedades corrosivas del líquido. fig( 10 ).

#### A.2.c Agitadores en línea.

Se usan para la agitación de líquidos miscibles cuya concentración varía durante periodos de pocos segundos.

Cuando el flujo es por gravedad la caída de presión está limitada y debe de especificarse con gran exactitud. fig(11)

Según el tipo de impulsor.

#### B.1 Agitador con impulsor de palas.

Es el impulsor más sencillo. Consiste de uno o más brazos unidos a la flecha del agitador. Los brazos pueden ser horizontales, verticales o inclinados.

De todos los impulsores, el de palas es el que produce menor desplazamiento de líquido ó acción de bombeo.

Para obtener un mezclado efectivo se requieren deflectores en el tanque.

Los tipos de palas pueden ser muy variadas. Algunas de las variantes son las mostradas en las figura ( 12 )

Estos impulsores son útiles cuando el líquido debe agitarse mientras el tanque se vacía. También sirve para líquidos con mucha viscosidad.

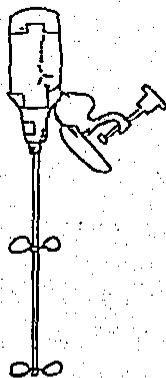


FIGURA 8

AGITADOR PORTATIL

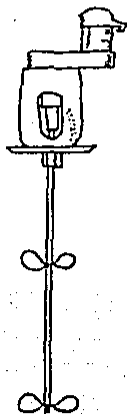
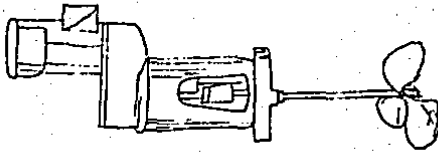


FIGURA 9

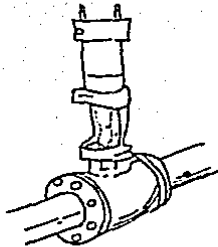
AGITADOR FIJO.

FIGURA 10



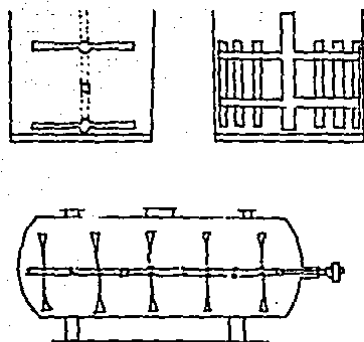
AGITADOR FIJO MONTAJE-LATERAL

FIGURA 11



AGITADOR FIJO EN LINEA





IMPULSORES DE PALAS.

## B.2 Impulsores tipo propela.

Es el más comunmente usado en la industria puede girar a altas velocidades. fig ( 13 ).

Su operación óptima es con líquidos de baja viscosidad. Su flujo es predominantemente axial.

Las corrientes de líquido de la propela pueden ser dirigidas a cualquier parte del interior del recipiente y así, pueden alcanzarse las zonas más difíciles.

Cuando se instalan en posición vertical pueden causar remolinos, a menos que la profundidad exceda una cierta cantidad crítica, o que el recipiente este dotado de unos deflectores de flujo. fig( 14 )

La propela estándar es la de tres hojas tipo marino. Se obtienen mejores resultados cuando la altura del recipiente es igual o mayor que su diámetro.

## B.3 Impulsor tipo turbina.

Son los impulsores más versátiles. Se pueden usar con viscosidades hasta 60,000 cp. (centipoise).

Para la misma potencia una turbina desarrolla mayores columnas líquidas de descarga y menor capacidad de bombeo que una propela. Es ideal para mezclas heterogéneas.

Para su diseño mecánico, las turbinas deben ser instaladas verticalmente, en el centro del recipiente. Para evitar la formación de remolinos es necesario que el tanque tenga deflectores, a menos que por las necesidades del proceso se requiera la formación de remolinos, por ejemplo para introducir polvos que queden flotando y es necesario incorporarlos a la mezcla.

Los impulsores de turbina se usan en gran variedad de operaciones, por ejemplo en la formación de suspensiones, disolución, reacciones químicas, absorción de gases, transferencia de calor, etc. Aunque

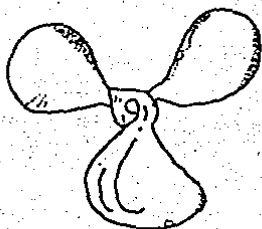


FIGURA 13

## AGITADOR TIPO PROPELA

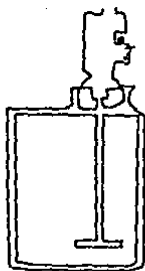
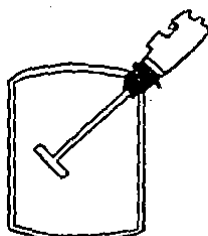
A  
descentradoB  
inclinado

FIGURA 14

## POSICION DE AGITADORES

son menos adecuadas también suelen usarse en el mezclado de pastas.

Para agitación de recipientes grandes, las turbinas son menos adecuadas que las propelas. fig (15)

#### B.4 Impulsores de disco.

Un disco girando en el seno de un líquido desplaza, por acción centrífuga, el líquido en contacto con él. fig(16)

Los impulsores de disco pueden usarse en líquidos de alta viscosidad, para la disolución y dispersión de un sólido en el seno del fluido.

El incremento en el espesor del disco, con el consiguiente de su superficie lateral tiene poco efecto en la agitación y en el consumo de energía.

#### B.5 Impulsores cónicos.

Es un cono hueco truncado, que gira sobre su eje montado en la flecha del agitador. fig (17) . Son muy útiles cuando se debe evitar la trituración de sólidos en suspensión.

El principio de operación es similar al impulsor de disco. El líquido fluye debido a una combinación de fuerzas de fricción y centrífuga.

Estos impulsores son particularmente efectivos para mantener fibras en suspensión. En este caso no se usan deflectores, ya que una interrupción en el flujo produciría asentamiento de las fibras.

Con líquidos de baja viscosidad deben usarse deflectores.

#### B.6 Impulsor helicoidal.

Es un impulsor especial para fluidos cuya viscosidad es demasiado alta (entre 750,000 y 1,000,000 cp) que no pueden ser agitados con otro tipo de impulsor.

Gira entre 5 y 20 rpm. figura (18).

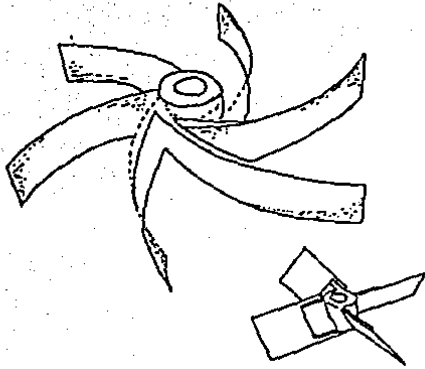


FIGURA 15

IMPULSOR TURBINA

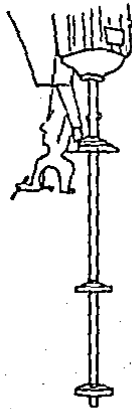


FIGURA 16

IMPULSOR DE DISCO.

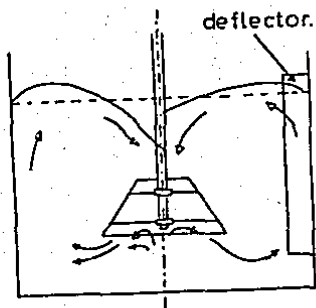


FIGURA 17.

IMPULSOR CONICO

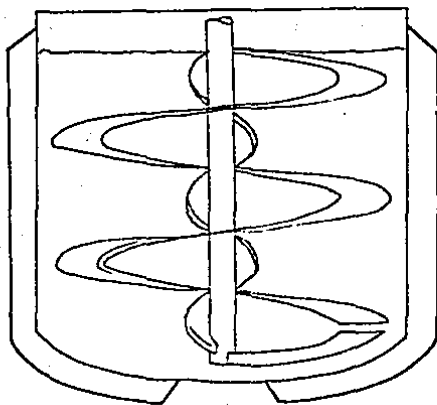
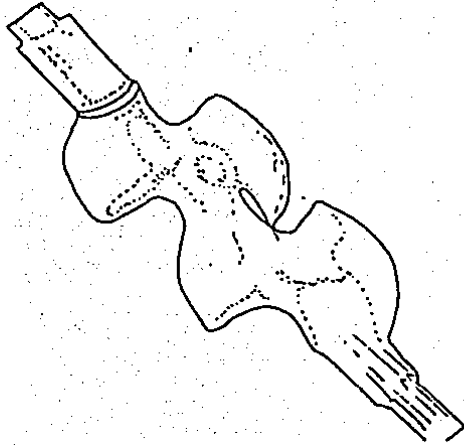


FIGURA 18

IMPULSOR HELICOIDAL

Existe otro tipo de mezclador y es el mezclador de doble brazo, se usa mucho para mezclar pastas, plásticos y masas, sobre todo, cuando son grandes volúmenes y la viscosidad está entre 5,000 y 500,000 cp.

El mezclador de doble brazo es simple consiste de un recipiente rectangular con el fondo curvado. Los brazos mueven la masa, uno hacia el otro, dentro del recipiente. figura (19)



IMPULSOR PARA MEZCLADOR DE  
DOBLE BRAZO.

FIGURA 19



## 2. DISEÑO MECÁNICO DEL REACTOR.

## 2. DISEÑO MECANICO DEL REACTOR.

### 2.1 Planteamiento del problema.

Para ejemplificar el diseño de un reactor en el cual se produzcan derivados, a partir de la brea y anhídrido málico se plantea lo siguiente:

En un reactor se llevarán acabo las reacciones de adición entre los productos arriba mencionados.

La temperatura máxima que se requiere para llevar acabo las reacciones de adición es de 200 grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ). La presión interna máxima de operación es de 4  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . La capacidad del reactor por lote al 85% de lleno es de 8 toneladas. La densidad del producto final es de 1.05  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . El tiempo total de carga, reacción y descarga es de 12 horas. El medio de calentamiento será un aceite térmico el cual circulará por una chaqueta. La presión máxima en la chaqueta nunca deberá exceder de 2  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

El criterio que se fija en este diseño es el de uso de placas completas para disminuir lo más posible el desperdicio y con ello optimizar el costo de producción para así ser mas competitivo.

Las medidas de placas completas en acero inoxidable más comerciales en México son:

|              |           |
|--------------|-----------|
| 4 x 10 ft(*) | 5 x 10 ft |
| 4 x 20 ft    | 5 x 20 ft |

Estas son las medidas de placa más comunes en la construcción de reactores, del tipo seleccionado aquí.

A continuación se describen 4 alternativas de tanque, de los cua-

(\*) ft= pies (unidad de longitud del sistema inglés).

les de acuerdo a este criterio se tomará el que más se adapte a las condiciones del problema.

La notación empleada es:

$V_c$  = Volúmen del cilindro ( en  $m^3$  ) .

$h$  = Altura del cilindro.

$D$  = Diámetro.

$V_t$  = Volúmen de las tapas ( en  $m^3$  ). (5)

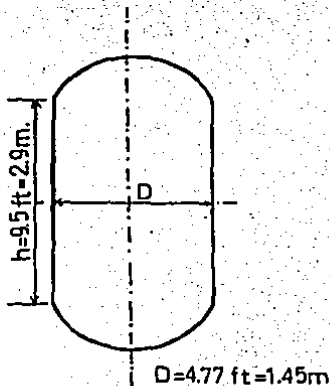
$V_T$  = Volúmen Total ( en  $m^3$  ).

$d_i$  = Diámetro en pulgadas (in)†.

$C$  = Desarrollo.

$PI=3.1416$

Tipo 1:



$$C = 15 \text{ ft}$$

$$C = PI \times D$$

$$D = 15/PI$$

$$D = 4.775 \text{ ft}$$

$$= 1.456 \text{ m}$$

$$= 57.3 \text{ in}$$

$$h/D = (9.5)/(4.775) = 1.9895$$

$$V_c = (PI \times D \times D \times h) / 4$$

$$= (0.785) (1.456^2) (2.897)$$

$$= 4.821 \text{ m}^3$$

$$V_t = 2(0.000049) \times d_i^3$$

$$= 2(0.000049) \times (57.3)^3$$

$$= 18.437 \text{ ft}^3 = 0.5231 \text{ m}^3$$

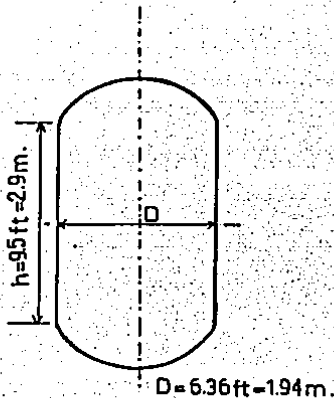
$$V_T = V_c + V_t = 4.821 + 0.5231 = 5.3441 \text{ m}^3$$

(\*) in = pulgada (unidad de longitud sistema inglés).

Capacidad del reactor al 85%.  $V_T(0.85) = 5.3441(0.85)$

$$" \ll = 4.5425 \text{ m}^3 = V_T(0.85) \gg "$$

Tipo 2:



$$C = 20 \text{ ft}$$

$$C = \pi D$$

$$D = 20 / \pi$$

$$D = 6.366 \text{ ft}$$

$$= 1.9417 \text{ m}$$

$$= 76.4 \text{ in}$$

$$h/D = (9.5) / (6.366) = 1.4923$$

$$V_c = (0.785) (1.9417^2) (2.897)$$

$$= 8.574 \text{ m}^3.$$

$$V_t = 2(0.000049) (76.4^3)$$

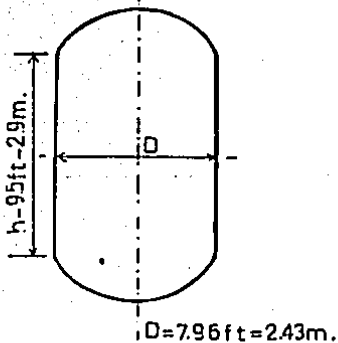
$$= 43.7 \text{ ft}^3 = 1.24 \text{ m}^3.$$

$$V_T = 8.574 + 1.24 = 9.814$$

$$V_T(0.85) = 8.34 \text{ m}^3$$

$$" \ll 8.34 \text{ m}^3 = V_T(0.85) \gg "$$

Tipo 3:



$$C = 25 \text{ ft}$$

$$C = \pi D$$

$$D = 7.9577 \text{ ft}$$

$$= 2.4271 \text{ m}$$

$$= 95.49 \text{ in}$$

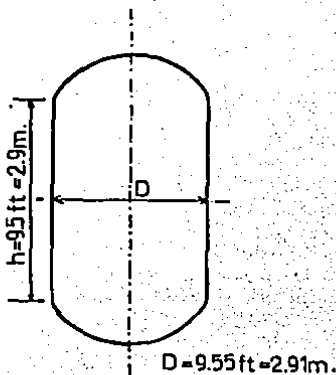
$$h/D = (9.5) / (7.9577) = 1.1938$$

$$V_c = (0.785) (2.4271^2) (2.897)$$

$$= 13.396$$

$$\begin{aligned}
 V_t &= 2(0.000049)(95.49^3) \\
 &= 85.33 \text{ ft}^3 = 2.49 \text{ m}^3 \\
 V_T &= 15.82 \text{ m}^3 \\
 V_T(0.85) &= 13.44 \text{ m}^3 \\
 &= \ll 13.44 \text{ m}^3 = V_T(0.85) \gg
 \end{aligned}$$

Tipo 4:



$$\begin{aligned}
 C &= 30 \text{ ft} \\
 C &= \pi D \\
 D &= 30/\pi \\
 D &= 9.55 \text{ ft} \\
 &= 2.9125 \text{ m} \\
 &= 114.6 \text{ in} \\
 h/D &= 0.9944 \\
 V_c &= (0.785)(2.9125^2)(2.897) \\
 &= 19.3 \text{ m}^3 \\
 V_t &= 2(0.000049)(114.6^3) \\
 &= 147.5 \text{ ft}^3 = 4.2 \text{ m}^3 \\
 V_T &= 23.5 \text{ m}^3 \\
 V_T(0.85) &= 19.975 \text{ m}^3 \\
 &= \ll 19.97 \text{ m}^3 = V_T(0.85) \gg
 \end{aligned}$$

De los cuatro tipos de reactor, se resumen sus cálculos en la tabla ( I ). El reactor que se tomará a manera de ejemplo en este caso será el reactor alternativa 2, el cual cuenta con un volumen total al 85% de lleno de  $8.34 \text{ m}^3$ , que son aproximadamente las ocho toneladas planteadas en este problema. Las placas que se utilizarán serán de  $5 \times 20 \text{ ft}$  de  $4 \times 20 \text{ ft}$ , dejando medio pie para faldón superior e inferior.

TABLA 1: Tipos de Reactores.

| Tipo                       | 1      | 2      | 3      | 4      |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Característica             |        |        |        |        |
| (ft) C                     | 15.000 | 20.000 | 25.000 | 30.000 |
| (ft) h                     | 9.500  | 9.500  | 9.500  | 9.500  |
| (ft) D                     | 4.775  | 6.366  | 7.957  | 9.550  |
| (-) h/D                    | 1.989  | 1.492  | 1.193  | 0.994  |
| (m <sup>3</sup> ) Vc       | 4.821  | 8.574  | 13.396 | 19.300 |
| (m <sup>3</sup> ) Vt       | 0.523  | 1.240  | 2.420  | 4.200  |
| (m <sup>3</sup> ) VT       | 5.344  | 9.814  | 15.820 | 23.500 |
| (m <sup>3</sup> ) VT(0.85) | 4.542  | 8.340  | 13.440 | 19.975 |

## 2.2 Material de construcción y espesor de tapas. (1)

Espesor de tapas:

De acuerdo al código ASME, sección VIII, Apéndice mandatorio I  
UA-4d.

$$t = \frac{P L M}{2SE - 0.2P}$$

Donde: t= Espesor  
P= Presión de diseño  
L= Radio de la corona.  
M= Factor mecánico M.  
S= Esfuerzo permisible.  
E= Eficiencia de la soldadura.

La presión de diseño, de acuerdo al código de construcción: (17)

$$PD = P_w + 0.1 P_w = 1.1 P_w \dots \dots \text{(criterio 1)}$$

o bien:

$$PD = P_w + 30(\text{psi}) \dots \dots \text{(criterio 2)}$$

en donde:

PD= Presión de diseño  
 PW= Presión de trabajo  
 (psi)= Libras por pulgada cuadrada, que son unidades de presión en sistema inglés.

De estas dos presiones de diseño obtenidas, se seleccionará la mayor de ellas.

Criterio 1:

$$PW = \frac{4 \text{ kg} \cdot (2.54 \text{ cm}^2) \cdot (1.01 \text{ b})}{(\text{cm}^2) \cdot (\text{in}^2) \cdot (0.454 \text{ kg})}$$

$$= 56.8423 (\text{lb}/\text{in}^2) = 56.8423 \text{ psi} = PW$$

$$PD = 1.1 \text{ PW} = 62.5267 \text{ psi}$$

Criterio 2:

$$PD = PW + 30 \text{ psi}$$

$$= 86.8423 \text{ psi}$$

Se toma el valor mayor, y redondeando se trabajará con:

$$\langle PD = 87 \text{ psi} \rangle$$

El factor mecánico "M" se define por:

$$M = \frac{1 \cdot (3 + (L/r)^{0.5})}{4}$$

en donde: L= Radio de la corona.  
 r= Radio de la articulación interior  
 D= Diámetro interior.

Considerando que L/D = 1

$$D = 76.4 \text{ in.}$$

$$L = 76.4 \text{ in.}$$

El radio de la articulación interior (r), tiene valores comerciales entre 5 % y 10 % del radio de la corona (L). fig(20).

Así pues:

$$r = 0.1 L$$

$$L/r = 10$$

$$r = L/10$$

$$= 7.64 \text{ in} = r$$

Sustituyendo estos valores en la fórmula del factor M

$$M = \frac{1 ( 3 + (L/r)^2 (0.5) )}{4}$$

$$M = \frac{1 ( 3 + (10)^2 (0.5) )}{4}$$

$$= 1.54$$

Este factor sacado de la tabla UAA.2 del código ASME sección VIII

es: .....  
 . M = 1.54 .  
 .....

Material: (1,3)

El material que se escoge es el SA- 240 (s. 31600) 16% Cr, 12 % Ni, 2% Mo.

La temperatura de diseño que se emplea es de 230 (°C) = 446 (°F).

De la tabla UHA 23 del código ASME sección VIII, se obtiene que el esfuerzo permisible para dicho material a los 446(°F) es:

$$S 400 (°F) = 13400 (lb/in^2).$$

$$S 500 (°F) = 12500 (lb/in^2).$$

Interpolando

$$.....$$

$$. S 446 (°F) = 12986 (lb/in^2).$$

$$.....$$

Se tiene que el esfuerzo de resistencia a la ruptura de este material es de 75000 (lb/in<sup>2</sup>), por lo que el factor de seguridad (f.s.) será igual a:

$$f.s. = \frac{75000}{12986} = 5.77$$

Eficiencia de la unión: Dado que se empleará acero inoxidable y su costo es muy alto, será necesario afrontar el costo de radiografiado del cordón de soldadura en lugar de ahorrarlo y tener que gastar en una placa más gruesa de acero inoxidable. Por lo tanto se empleará -  
 eficiencia de la soldadura = 1 para 100% de radiografiado.

Para encontrar el valor del espesor de las tapas, se sustituyen -  
 los valores obtenidos en la fórmula :



$$t = \frac{P L M}{2SE - 0.2P}$$

$$= \frac{87(76.4)(1.54)}{2(12986)(1) - 0.2(87)}$$

$$= 0.394$$

Se puede tomar un valor práctico de  $t = 7/16(\text{in}) = 0.4375$  considerando el factor de seguridad obtenido.

$$t = 7/16(\text{in}) = 0.4375(\text{in}).$$

Haciéndose la consideración de que el espesor de las tapas es de  $7/16(\text{in})$ , la presión de diseño que se soportará queda dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{t(2)SE}{LM + 0.2t}$$

$$= \frac{(7/16)(2)(12986)(1)}{(76.4)(1.54) + 0.2(7/16)}$$

$$P(\text{que soportará es}) = 96.50(\text{lb/in}^2).$$

### 2.3 Espesor de la envolvente cilíndrica por presión interna.

De acuerdo al código ASME sección VIII, (Mandatory appendix 1, UA1) for cylindrical shells.

$$t = \frac{P R_o}{SE + 0.4P}$$

En donde  $R_o$  se define por la siguiente expresión:

$$R_o = \frac{D(\text{interior} + 2("t") \text{ tapas})}{2}$$

$$= \frac{76.4 + 2(7/16) \cdot 77.27}{2} = 38.63$$

Entonces:

$$t = \frac{87(38.63)}{12986(1) + 0.4(87)}$$

.....  
 .t(práctico)= 1/4 (in)= 0.25in.  
 .....

#### 2.4 Relevación de esfuerzos (1,3)

Alrededor de los cordones de soldadura que se aplican a los recipientes, se producen esfuerzos residuales. Estos esfuerzos debilitan el recipiente en dichos puntos, particularmente en recipientes de pared más grueso que 1.25 (in). Para estos casos y en todos los que se requiera máxima seguridad; deberán relevarse los esfuerzos para eliminar los refuerzos residuales. El código especifica eficiencia alta en las juntas que tienen relevación de esfuerzos. La relevación de esfuerzos consiste en un proceso de recocido o tratamiento térmico para relevar los esfuerzos residuales. La operación varía dependiendo de los materiales. Por ejemplo, para aceros al carbón estos son calentados hasta 1100 (°F) y luego se dejan enfriar lentamente. En casi todos los aceros inoxidables austeníticos se calientan hasta aproximadamente 2000 (°F) y se enfrían rápidamente para que no se tenga precipitación de los carburos en el intervalo de 800 a 1600 (°F).

Si se presenta la precipitación del carburo en el acero inoxidable entonces se destruye su resistencia a la corrosión.

Los talleres bien equipados que se dedican a la fabricación de recipientes, disponen de hornos grandes, los cuales son calentados eléctricamente.

Para recipientes grandes que deben ser soldados en la obra, la relevación se puede hacer con hornos portátiles que queman gas. Se utilizan también varios procesos de relevación de esfuerzos usando temperaturas bajas. En estos últimos se utilizan sopletes especiales de oxiacetileno con los que se aplica calor en el área de soldadura seguido por atomización de agua.

Debido a las grandes diferencias de las propiedades físicas de

los metales, es indispensable que un metalurgista competente indique el procedimiento adecuado para la relevación de esfuerzos.

En el código ASME de (1962) se indicaba que :

El espesor calculado debe ser menor que el que da la relación si-

guiente:

$$D + 50 \quad \text{Donde : } D = 2 R_o.$$

$$120 \\ D = 2 R_o = \frac{2(76.4 + 2(3/8))}{2}$$

$$D = 77.15 \text{ in.}$$

$$\frac{D + 50}{120} = 1.05958$$

$$t \text{ (relevación)} = 1.05958$$

$$t \text{ (calculado)} = 0.25000$$

$$t \text{ (relevación)} > t \text{ (calculado)}$$

Entonces: .....  
 NO SE REQUIERE RELEVAR ESFUERZOS.  
 .....

## 2.5 Cálculo del espesor de la chaqueta: (1)

$$\text{Claro} = 2 \text{ (in)}$$

$$D_e = D_i + 2 T_t \\ = 76.4 + 2(3/8) = 77.15 = D_e$$

$$D_{ich} = D_e + 2(2) = 77.15 + 2(2) = 81.15$$

$$R_{ich} = \frac{D_{ich}}{2} = 40.575 \text{ (in)}$$

Donde:  $D_e$  = Diámetro exterior de la envolvente.  
 $D_i$  = Diámetro interior del recipiente  
 $D_{ich}$  = Diámetro interior de la chaqueta  
 $R_{ich}$  = Radio interior de la chaqueta.  
 $T_t$  = Espesor de las tapas

### 2.5.1 Material:

El material que se va a utilizar en la chaqueta es de acuerdo al código ASME sección VIII, tabla (UCS-23), el tipo SA-285 Grado C.

La temperatura del aceite a emplear es de 520 (°F)

El acero al carbón con esta especificación se mantiene constante

de 20 (°F) a 650 (°F).

El esfuerzo de trabajo (Sw) de este material entre dichas temperaturas es igual a:

$$Sw(-20 \text{ a } 650 \text{ (}^\circ\text{F)}) = 13600 \text{ lb/in}^2$$

El esfuerzo último (Su) de este material es igual a:

$$Su = 55000 \text{ lb/in}^2$$

Por lo tanto sacando el factor de seguridad (f.s.) dará:

$$f.s. = \frac{55000}{13600} = 3.98$$

### 2.5.2 Espesor de la chaqueta

De acuerdo al código ASME sección VIII, apartado (UG- 27)

$$t = \frac{P R}{SE - 0.6 P}$$

En donde:

P=Presión máxima de operación en la chaqueta

R=Radio interior de la chaqueta.

S=Esfuerzo permisible.

E=Eficiencia de la unión de la soldadura.

$$P = \frac{7 \text{ kg}}{\text{cm}^2} = \frac{1 \text{ lb}}{0.454 \text{ Kg}} = \frac{(2.54 \text{ cm})^2}{1 \text{ in}^2}$$

$$P = 28.4211 (\text{lb/in}^2) = 28.4211 (\text{psi})$$

A continuación se examina la conveniencia de radiografiados:

E=1.0

$$t = \frac{(28.4211) (40.575)}{13600(1) - 0.6(28.4211)} = 0.084 (\text{in})$$

E=0.7

$$t = \frac{(28.4211) (40.575)}{13600(0.7) - 0.6(28.4211)} = 0.12 (\text{in})$$

Son espesores muy pequeños, entonces para el valor práctico se toma la consideración del código de construcción del API (American Petroleum Institute), en el que NO se recomiendan recipientes con espesor

menor de  $3/16$ (in).

Así pues el espesor de la chaqueta será igual al

$$t = 3/16 \text{ (in)}$$

### 2.5.3 Espesor de la tapa de la chaqueta

Como la tapa de la chaqueta debe ser concéntrica con la del reactor tenemos que  $L/r = 10$ , y  $M = 1.54$

$$P L M = \frac{(28.4211) (81.15) (1.54)}{2SE - 0.2P} = \frac{2(13800)(0.7) - 0.2(28.4211)}{0.1838}$$

Se toma un valor práctico de  $t = 3/16$  (in) =  $0.1875$ (in)

La corrosión permisible en el acero al carbón será de  $1/8$  (in) =  $0.125$  (in) =  $3.18$  (mm).

Por lo tanto los espesores de la chaqueta y su tapa serán

$$\begin{aligned} & \dots\dots\dots \\ & t = 5/16 \text{ (in)} \\ & \dots\dots\dots \\ & = 0.3125 \text{ (in)} \\ & \dots\dots\dots \\ & = 7.94 \text{ (mm)} \\ & \dots\dots\dots \end{aligned}$$

### 2.6 Anillos de refuerzo.

Para este apartado se considera el párrafo (UG- 28) del código - ASME. A continuación se plantea el resumen del cálculo de los anillos de refuerzo. Considerándose la altura (h) de los anillos de refuerzo - igual a  $114$  (in). La notación empleada es la siguiente:

Do= Diámetro interior de la chaqueta.  
 P= Presión máxima.  
 T(max)=Temperatura máxima.  
 t= Espesor de la envoltura cilíndrica para resistir la presión interna.  
 L= Espaciamiento entre anillos.  
 A= Factor "A" sacado de tablas.  
 B= Factor "B" sacado de tablas.  
 Pa= Presión obtenida por comparar.

Fórmula para obtener Pa:

$$Pa = \frac{4 (B) (t)}{3 (Do)}$$

El criterio que se utiliza es:

$$P_a > = P. \text{ ("Pa" debe ser mayor o igual a "P")}$$

TABLA II: Resumen de cálculo del espesor "t" y del espaciamento entre anillos "L".

| Do= 77.15(in) |           | P=28.4211(psi) |       |         | T(máx)= 446 (°F) |             |                           |
|---------------|-----------|----------------|-------|---------|------------------|-------------|---------------------------|
| t<br>(in)     | L<br>(in) | L/Do           | Do/t  | A       | B                | Pa<br>(psi) | Pa>=P                     |
| 1/4           | 14.25     | 0.184          | 308.6 | 0.00154 | 9386             | 40.5        | Pa muy pasado             |
| 1/4           | 19.00     | 0.246          | 308.6 | 0.00116 | 8870             | 38.32       | Pa pasado                 |
| 1/4           | 22.80     | 0.295          | 308.6 | 0.00087 | 8262             | 35.7        | Pa pasado                 |
| 1/4           | 24.25     | 0.314          | 308.6 | 0.00083 | 8000             | 34.56       | .....<br>Pa(t).<br>checa. |
| 1/4           | 28.50     | 0.369          | 308.6 | 0.00064 | 7385             | 31.9        | .....<br>Pa<br>checa      |
| 1/4           | 38.00     | 0.490          | 308.6 | 0.00048 | 6338             | 27.4        | Pa<br>bajo.               |

(\*) Es la que se utiliza por seguridad.

Nota: Si se utiliza la altura "h"= 114 (in), y bajo la consideración de que el reactor trabajará al 85 % de lleno solo será necesaria la chaqueta del:  $(0.85) (114) = 97 \text{ (in)} = 2464 \text{ (mm)}$ , en donde se distribuirán los anillos a una distancia del

.....  
24.25 (in) = 616 (mm).  
.....

Quedando entonces 4 espacios, y 5 anillos. fig(21)

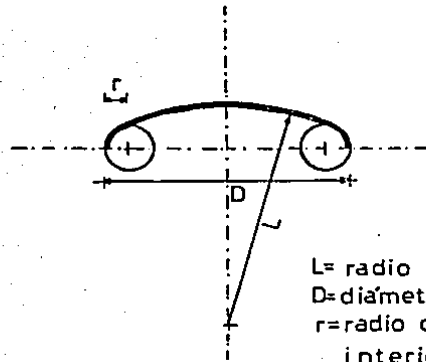
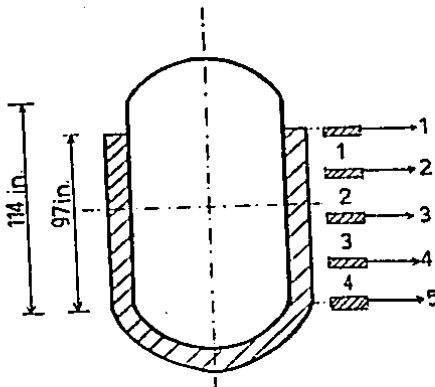


FIGURA 20

$L$  = radio de la corona.  
 $D$  = diámetro interior.  
 $r$  = radio de la articulación interior.



Muestra del espaciamento  
entre anillos con 4 espacios  
5 anillos.

FIGURA 21

De acuerdo al código ASME, en el apartado (UG-29), se considera a los anillos de refuerzo para la envolvente cilíndrica por presión externa.

La notación empleada es la siguiente:

$I_s$  = Momento de inercia requerido de la combinación anillo-envolvente medido en la sección transversal respecto al eje centroidal paralelo al eje de la envolvente ( $in^4$ ).

$I_n$  = Momento de inercia de la combinación anillo envolvente medido en la sección transversal sobre el eje neutro paralelo a el eje de la envolvente ( $in^4$ ).

$D_o$  = Diámetro exterior de la envolvente

$L_s$  = Es la distancia de la mitad del anillo a la línea de la mitad del siguiente, ambas líneas son paralelas al eje del cilindro.

$t$  = Espesor de la envolvente cilíndrica por presión interna.

$A_s$  = Área de la sección transversal del anillo de refuerzo.

$A$  = Factor determinado por la gráfica del apéndice 5 del material usado para el anillo.

En este caso utilizando  $I_s$  e  $I_n$ , la condición que debe cumplirse es que:

$$I_n > I_s$$

$$I_s = \frac{((D_o)^2) L_s (t + A_s/L_s) A}{10.9}$$

La anchura de la envolvente no debe ser mayor a:

$$1.10 \left[ (D_o)^{0.5} \right]$$

$$1.10 \left[ (77.15) (0.25)^{0.5} \right]$$

$$= 4.83 \text{ (in)}$$

Se toma para fines prácticos 4.8 (in)

En el siguiente esquema se muestra la vista en corte de un anillo de refuerzo.



Ver fig. (22).

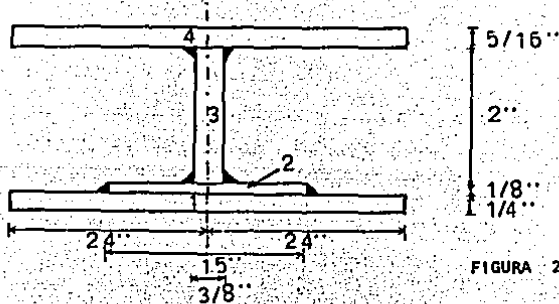


FIGURA 22

| SECCION             | AREA            | (in <sup>2</sup> ) |
|---------------------|-----------------|--------------------|
| 1 Envolvente        | A1= 4.8x0.25    | = 1.200            |
| 2 Solera Horizontal | A2= 1.5x0.125   | = 0.1875           |
| 3 Solera Vertical   | A3= 2.0x0.375   | = 0.7500           |
| 4 Chaqueta          | A4= 4.8x0.3125  | = 1.5000           |
| AREA TOTAL          | As= A1+A2+A3+A4 | = 3.6375           |

Para sacar el valor del factor A:

Lo primero es sacar B:

$$B = \frac{3(P \cdot D_o)}{4(t + A_s/L_s)} = \frac{3 [28.4211 (77.15) 1]}{0.25 + 3.6375/24.25} = 4111.3$$

De la tabla UHA-28.2 del código ASME, sección VIII, entrando a dicha tabla con el factor B, se obtiene el factor A = 0.00035.

Así pues, se cuenta con todos los valores para sustituirlos en la ecuación de Is'.

Entonces:

$$I_s' = \frac{(77.15)^2 (24.25) [0.25 + 3.6375/24.25] 0.00035}{10.9}$$

.....  
 . Is' = 1.854 (in<sup>4</sup>).  
 . Is' = 771693 (mm<sup>4</sup>).  
 .....

## 2.7 Determinación del Momento de Inercia. (4)

TARLA III: Determinación del momento de inercia.

| A1<br>(in <sup>2</sup> )                        | A1                     | A2                       | A3                     | A4                    |                                    |
|---|------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|
|   | 1.2                    | 0.1875                   | 0.750                  | 1.5                   | S. A1=3.63                         |
| Momento<br>estático<br>yA<br>(in <sup>3</sup> ) | 0.125x0.2<br>= 0.150   | 0.312x0.187<br>= 0.05859 | 1.37x0.75<br>= 1.03125 | 2.53x1.5<br>= 3.797   | S. yA=5.03                         |
| Y<br>(in)                                       | 1.38-0.125<br>= 1.2597 | 1.38-0.37<br>= 1.0097    | 1.38-1.37<br>= 0.0097  | 2.53-1.38<br>= 1.1465 | -----                              |
| (Y <sup>2</sup> )<br>(in <sup>2</sup> )         | 1.5868                 | 1.01950                  | 0.00094                | 1.3146                | -----                              |
| (Y <sup>2</sup> )A<br>(in <sup>4</sup> )        | 1.9042                 | 0.19115                  | 0.00007                | 1.9719                | S. (Y <sup>2</sup> )A=<br>= 4.067  |
| b<br>(in)                                       | 4.8000                 | 1.50000                  | 0.37500                | 4.8000                | -----                              |
| h<br>(in)                                       | 0.2500                 | 0.12500                  | 2.00000                | 0.3125                | -----                              |
| $I_u = \frac{b(h^3)}{12}$<br>(in <sup>4</sup> ) | 0.00625                | 0.000244                 | 0.25000                | 0.0122                | S. Iu=<br>= 0.2687                 |
| In=Iu+(Y <sup>2</sup> )A                        | 1.9104                 | 0.19179                  | 0.25007                | 1.9840                | .....<br>S. In=<br>=4.336<br>..... |

En donde:

S. = Sumatoria.

y = Distancia del eje "x", al eje centroidal de cada sección.

Y = Distancia entre los dos ejes, el eje centroidal o neutro de la figura y al eje centroidal de cada sección.

Iu = Momento de inercia respecto a su eje centroidal de cada sección.

In = Momento de inercia respecto al eje neutro paralelo al eje centroidal de cada sección.

S. In = Momento de inercia respecto al eje neutro de la combinación anillo-envolvente y es igual a  $I_n'$ .

S. yA = Momento estático del área respecto al eje "X".

En la tabla III, se aplica la siguiente fórmula para obtener la localización del eje neutro o centroidal de la combinación anillo-envolvente:

$$(y) = \frac{S. yA}{S. A} = \frac{5.03684}{3.63750} = 1.3847 \text{ (in)}$$

El teorema aplicado para la obtención de la tabla del momento de inercia es el que se conoce como el teorema de los ejes paralelos el cual dice que: "El momento de inercia de una área respecto a un eje cualquiera es igual al momento de inercia de un eje centroidal paralelo más el producto del área multiplicada por el cuadrado de la distancia entre los dos ejes".

$$I_n = I_u + A(Y^2)$$

Por lo tanto:

$$S. I_n = I_n' = 4.336 \text{ (in}^4\text{)}$$

Por lo que se cumple que:

.....

.....  $I_n' > I_s'$  .....

.....  $4.336 > 1.854$  .....

Ver fig. (23).

Nota: Adn y cuando se deteriorase el material por la corrosión en la chaqueta, y se redujera el espesor a 3/16 (in) por la corrosión se sigue cumpliendo que  $I_n' > I_s'$ , para cuyo caso se tiene que:

$$I_n' = 3.627 \text{ (in}^4\text{)}$$

$$I_s' = 1.890 \text{ (in}^4\text{)}$$

El aislamiento recomendado es lana mineral, la cual hace que el sistema se acerque a un sistema adiabático, el espesor recomendado por el fabricante es de 3 a 4 pulgadas según la lana mineral que se utilice.

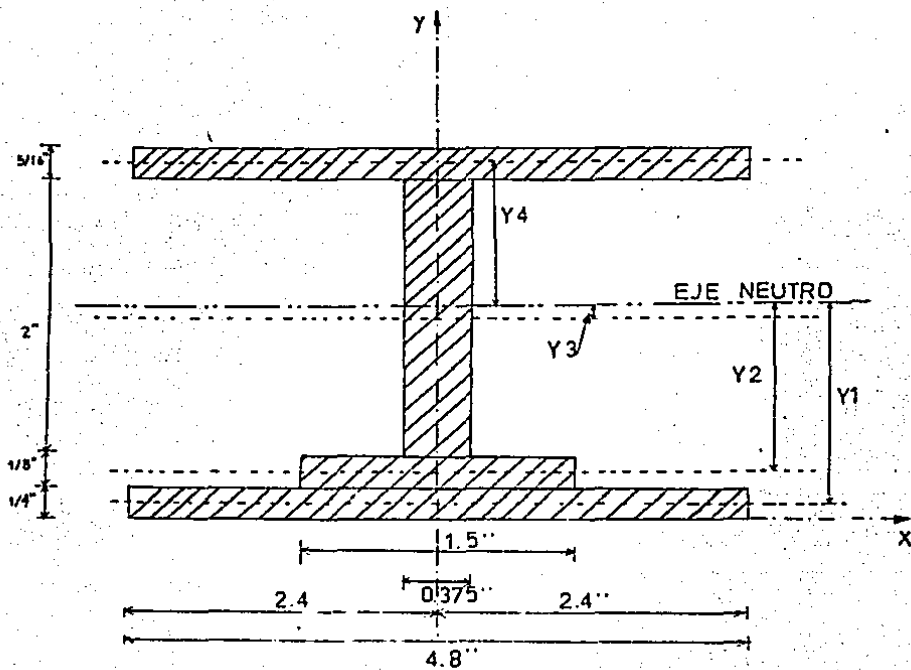


FIGURA 23

## 2.8 Aberturas y Refuerzos: (1)

El análisis de las aberturas y refuerzos se realizará para los siguientes componentes del reactor:

2.8.1 Entrada al agitador.

2.8.2 Registro hombre

2.8.3 Boquillas de 3(in) de diámetro que son las boquillas (A,B,J,L,K).

Este análisis se hace de acuerdo al código ASME sección VIII, con forme al apartado U.A-280 (Conexiones soldables)

La nomenclatura empleada será la que se da a continuación:

A= Área total de la sección transversal del refuerzo requerido bajo consideración de que son  $(in^2)$ .

A1= Área del espesor en exceso del recipiente que puede utilizar se como refuerzo  $(in^2)$ .

A2= Área sobrante en la pared de la boquilla que puede utilizarse como refuerzo  $(in^2)$ .

A3= Área disponible como refuerzo cuando la pared de la boquilla se extiende dentro de la pared del recipiente  $(in^2)$ .

A4= Área de sección transversal de la soldadura disponible como refuerzo  $(in^2)$ .

A5= Área de la sección transversal del elemento adicionado  $(in^2)$

c=Corrosión permisible.

Dp= Diámetro exterior del elemento de refuerzo (in)

d= Diámetro de la abertura ya terminado (in).

E= 1 (Eficiencia de la junta).

E=1, cuando la abertura está en el plato sólido o cuando la abertura pase através de una junta circunferencial.

F= Factor de corrección en el cual se compensa la variación de

esfuerzos de presión, el valor de 1 puede ser utilizado para todos los casos excepto para lo comprendido en el apartado UG-37 (consultarlo para cuando se de el caso).

$h$  = Distancia de la proyección de la boquilla en el interior o exterior de la pared del recipiente. No debe exceder de  $2.5t$ , ó  $2.5t_n$ , ó  $2.5t_n + t_s$ .

$P$  = Presión de diseño en  $(lb/in^2)$  unidades del sistema inglés, o la presión de trabajo máxima permisible, para un recipiente ya existente

$R$  = Radio interior de la envolvente en consideración antes de agregar el margen por corrosión.

$R_n$  = Radio interior de la boquilla en consideración sin tomar en cuenta la corrosión.

$S$  = Esfuerzo permisible.

$t$  = Espesor de la envolvente (in).

$t_r$  = Espesor requerido para la envolvente.

$t_n$  = Espesor de la boquilla.

$t_{rn}$  = Espesor requerido en la pared de la boquilla sin costura.

$t_s$  = Dimensión de la soldadura.

$t_{min}$  = Espesor de la soldadura mínimo.

$t_w$  = Dimensiones de la soldadura.

$t_e$  = Espesor de la alita del refuerzo.

$W$  = Carga total soportada por la soldadura.

$P_i = 3.1416$ .

Se iniciará el análisis de refuerzos con la entrada del agitador, a continuación con el registro de hombro, y finalmente se analizarán las boquillas.

## 2.8.1 Entrada al Agitador. fig (24)

Presión de Diseño= 82.73 (lb/in<sup>2</sup>)

Temperatura= 446 (°F)

S= 12986 (lb/in<sup>2</sup>).

Para la envolvente se aplica la siguiente fórmula:

$$tr = \frac{P R}{SE - 0.6P} = \frac{82.73 (38.575)}{12986(1) - 0.6(82.73)}$$

$$tr = 0.2467 \text{ (in)}$$

Para la boquilla en cuestión.

D= 77.15

$$trn = \frac{P Rn}{SE - 0.6P} = \frac{82.73 (8/2)}{12986 - 0.6 (82.73)}$$

$$trn = 0.0256 \text{ (in)}$$

$$tw = 0.7 \text{ tmin}$$

$$tw = 0.7 (3/8) = 0.2625 \text{ Entonces } 5/16 = 0.3125$$

$$A = d \pm tr \pm F$$

$$= 10 (0.2426) (1) = 2.4670 \text{ (in}^2\text{)} = A$$

.....

A1: De las siguientes dos fórmulas se escoge el mayor valor.

$$A1 = (Eit - Ftr) d$$

$$= (1(0.375) - 1(0.2426))10 = 1.28 \text{ (in}^2\text{)}$$

.....

$$A1 = (Eit - Ftr)(tn + t)2$$

$$= (1(0.375) - 1(0.2467))(0.375 + 0.375)2 = 0.192$$

A2: De las siguientes fórmulas se escoge el menor valor.

$$A2 = (tn - tr)5 t$$

$$= (0.375 - 0.0256)5(0.375) = 0.6551 \text{ (in}^2\text{)}$$

.....

$$\begin{aligned}
 A2 &= (t_n - t_{rn}) (2.5 t_n + t_e)^2 \\
 &= (0.375 - 0.0256) (2.5(0.375) + 0.375)^2 \\
 &= 0.9172 \text{ (in}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A4 &= 2(0.5) (0.3125^2 + 0.375^2) \\
 &= 0.2388 \text{ (in}^2\text{)} \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A5 &= (D_p - d - 2t_n)t_e \\
 &= (14 - 10 - 2(0.375))(0.375) = 1.22 \text{ (in}^2\text{)} \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

$$A1 + A2 + A4 + A5 = 3.3952 \text{ (in}^2\text{)} > A.$$

Como  $A1 + A2 + A4 + A5$  es  $> A$ , no se requiere placa de refuerzo.

### 2.B.2 Registro Hombrefig (25).

Presión de diseño = 82.73 (lb/in<sup>2</sup>)

Temperatura = 446 (°F)

S = 12986 (lb/in<sup>2</sup>)

Para la envolvente:

$$t_r = 0.2467 \text{ (in)}$$

Para la boquilla en cuestión:

$$t_{rn} = 0.064 \text{ (in)}$$

Area:

$$A = d \times t_r \times F$$

$$= 4.9340 \text{ (in}^2\text{)} = A$$

A1: Se escoge el mayor de las siguientes dos fórmulas.

$$A1 = (E1t - Ftr)d = 2.5660 \text{ (in}^2\text{)}$$

$$A1 = (E1t - Ftr)(t_n + t)^2 = 0.1925 \text{ (in}^2\text{)}$$

A2: Se escoge el valor menor de las siguientes fórmulas.



$$A2 = (tn - trn) 5t$$

$$= 0.5831 (in^2)$$

$$A2 = (tn - trn) (2.5tn + te) 2$$

$$= 0.8164 (in^2)$$

$$A4 = 0.2813 (in^2)$$

$$A5 = (Dp - d - 2tn) te$$

$$= (28 - 20 - 2(0.375)) (0.375) = 2.7 (in^2) = A5$$

$$A1 + A2 + A4 + A5 = 6.1492 > A$$

Entonces el refuerzo es adecuado.

### 2.8.3 Boquillas de 3 (in) de diámetro, boquillas (A,B,J,L,K) fig(26)

Estas boquillas presentan una proyección al exterior de 152 mm.

$$tr = 0.2467 (in)$$

$$trn = \frac{82.73 \cdot (3/2)}{12986 - 0.6(82.73)} = 0.0096 (in)$$

$$tw = 0.7 tmin$$

$$tw = 0.175 (in) = 3/16 (in)$$

Area:

$$A = d \cdot tr \cdot F$$

$$= 3(0.2467) (1) = 0.7401$$

A1: Se escoge la mayor A1 de las siguientes dos expresiones.

$$A1 = (E1 t - F tr) d = 0.3849 (in^2)$$

$$A1 = (E1 t - F tr) (tn + t) 2 = 0.1604 (in^2)$$

A2: Se utiliza el menor de las siguientes dos expresiones.

$$A2 = (tn - trn) 5t = 0.4508 (in^2)$$

$$A2 = (tn - trn) 5tn = 0.3005 (in^2)$$

## ENTRADA DEL AGITADOR

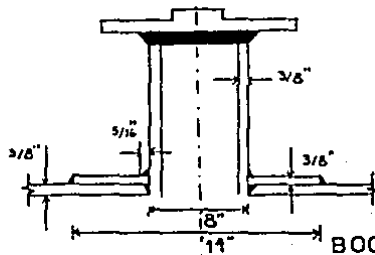


FIGURA 24

BOQUILLAS DE 3" DE Ø

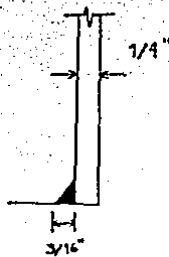


FIGURA 26

## REGISTRO HOMBRE

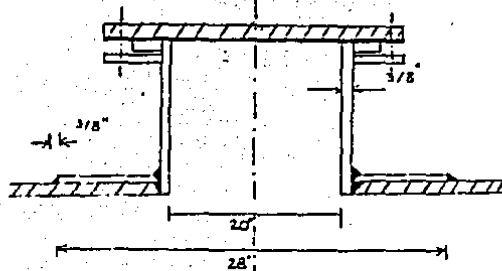


FIGURA 25

$$A4 = 2(0.5)(0.25)(0.25) = 0.0625 \text{ (in}^2\text{)}$$

$$A1 + A2 + A4 = 0.748 \text{ (in}^2\text{)} > A$$

Entonces en estas boquillas NO se necesitan refuerzos.

" Para cualquier aclaración sobre este equipo confrontar el plano de diseño en el ANEXO 1."

## 2.9 CALCULO DE LA FLECHA.

2.9.1 Conceptos básicos que deben tomarse en cuenta para el cálculo de la flecha del reactor.

- a) Viscosidad.
- b) Potencia.
- c) Velocidad Angular.
- d) Torsión.

### a) Viscosidad: (10,21)

La viscosidad es la resistencia a fluir que presenta un fluido, que no es más que la manifestación del rozamiento interno entre las partículas que lo constituyen.

La viscosidad es una propiedad general de la materia en cualquiera de sus estados, sólido, líquido o gaseoso, aunque de ordinario solo se le tiene en cuenta en los dos últimos estados.

Cuando un líquido fluye por encima de la superficie lisa de un sólido la capa líquida en contacto con este permanece en reposo a causa de la adhesión. La capa inmediata de partículas líquidas resbala lentamente sobre la primera, la tercera sobre la segunda y así sucesivamente, y la velocidad del movimiento aumenta con la distancia a la superficie sólida. En estas condiciones, el líquido está sometido a un esfuerzo cortante. La viscosidad se determina exactamente midiendo la fuerza necesaria para mover una superficie sólida extensa en contacto con una capa líquida de un centímetro de espesor. El coeficiente de viscosidad absoluta es la fuerza en dinas por centímetro cuadrado -

de superficie lisa que se precisa para producir el movimiento a la velocidad de un centímetro por segundo. La unidad de viscosidad así determinada se llama POISE, en honor al físico francés Poiseville, que la definió.

En la práctica se utiliza la viscosidad cinemática que es igual al cociente de la viscosidad absoluta antes definida, entre la densidad del líquido cuya unidad es el STOKE, suele determinarse mediante el viscosímetro de Saybolt que mide el tiempo necesario para que una cantidad determinada de líquido fluya por un tubo corto y diámetro pequeño. Otros métodos para determinar la viscosidad de los líquidos se basan en la medida del tiempo de formación de gotas en la velocidad de caída de una esfera metálica en el seno de un fluido en condiciones bien establecidas.

La viscosidad de los gases es mucho menor que la de los líquidos, pero tiene en aquellos gran importancia por los efectos retardadores que ejerce sobre los movimientos internos en las masas gaseosas o sobre las de otros cuerpos a través de las mismas.

#### b) Potencia. (5, 7, 16)

Se define como la rapidez con la que se efectúa un trabajo.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo efectuado}}{\text{Tiempo transcurrido.}}$$

En consecuencia a una cantidad de trabajo efectuada en un intervalo de tiempo muy largo correspondería una potencia muy baja, en tanto que la realización de la misma cantidad de trabajo en un tiempo extremadamente breve, corresponde a una potencia considerable.

Para deducir la unidad de potencia en un sistema de unidades determinado, no hay más que dividir la correspondiente unidad de trabajo por la de tiempo.

-La unidad en Sistema Internacional es (Joule/s) = Watt, y cuyo

símbolo es Watt= [W]

-La unidad en sistema CGS es (Erg/s)

-En el sistema técnico es el Kilográmetro por segundo [kgf·m/s]

-También se utiliza el "Caballo Vapor"= C.V. que es un múltiplo - arbitrario = 75 [kgf·m/s]= 4500 [kgf·m/min]

-En el sistema inglés la unidad básica es el [ft·lb/s].

-La unidad práctica en el sistema inglés es el caballo inglés o caballo de fuerza su símbolo es "HP", y se le llama Horse Power, es la unidad que más se utiliza, aun cuando no pertenece a ninguno de los sistemas más conocidos.

$$1\text{HP} = 550 \text{ [ft·lb/s]} = 33000 \text{ [ft·lb/min]}$$

$$1\text{HP} = 746 \text{ [W]}$$

$$1\text{HP} = 1.014 \text{ C.V.} \quad ; \quad 1\text{KW} = 1.341\text{HP} = 1.359 \text{ C.V.}$$

c) Velocidad Angular. (Simbolizado por " $\omega$ "). (16)

La velocidad angular ( $\omega$ ) es igual a la expresión  $\omega = d\theta/dt$ , es la rapidez instantánea de variación del ángulo  $\theta$ , el cual expresa el desplazamiento angular de la partícula respecto de su punto de partida; se le llama velocidad angular de la partícula y se expresa en radianes por segundo ya que el ángulo  $\theta$  se expresa en radianes.

Debe notarse que una revolución por segundo es igual a:

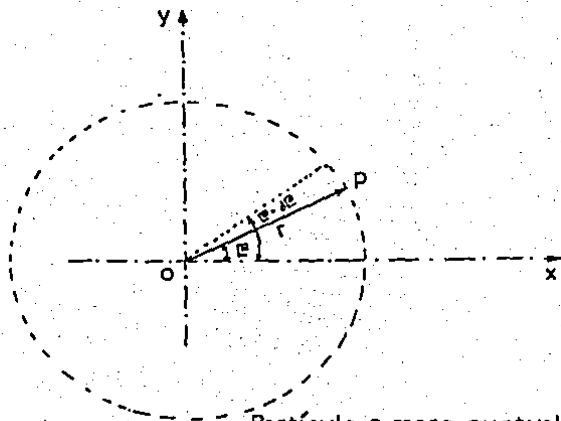
$$2(\text{PI}) \text{radianes / segundo, puesto que}$$

$$360^\circ = 2(\text{PI}) \text{radianes.}$$

$$\text{donde PI} = 3.1416$$

Partícula o masa puntual que se - mueve en una trayectoria circular de radio "r" y cuyo centro es "O".

Ver fig(27).



Partícula o masa puntual que se mueve en una trayectoria circular de radio  $r$  y cuyo centro es  $O$ .

FIGURA 27

c) Torsión. (5, 15, 16, 18, 20)

A menudo es conveniente tener una expresión para el trabajo efectuado sobre un cuerpo debido a la torsión. Si se efectúa el estudio sobre un cuerpo rígido, el cual está forzado a girar en torno a un eje fijo se encuentra que el trabajo total sobre el cuerpo será la suma de todas las contribuciones de las partículas, debidas a diferentes fuerzas, considerando que  $d\theta$  es una pequeña rotación.

Entonces:

$$dw = T d\theta$$

Donde:

$dw$  = Diferencial de trabajo.

$T$  = Torsión exterior.

$d\theta$  = Diferencial de rotación.

Ahora Bien:

$$\text{Potencia} = P = \frac{dw}{dt}$$

$dt$  = Diferencial de tiempo.

Para este caso la potencia queda definida por la siguiente expresión:

$$P = \frac{T d\theta}{dt}$$

Considerando a:  $d\theta/dt = \omega$

y que,  $1 \text{ (rev / min)} = \frac{(1 \text{ rev}) (2\pi \text{ rad})}{(\text{min}) (\text{rev})} = \frac{2 (\pi) \text{ rad}}{\text{min}}$

Donde:  $\pi = 3.1416$ ; rad = Radianes; rev = Revoluciones.

Por cada revolución por minuto se obtienen  $2 (\pi) \text{ rad/rev}$ ; y si el número de revoluciones lo denotamos por "N"

Entonces:

$$P = T 2 \pi N.$$

Un eje con momento de torsión medido en  $(\text{kgf}\cdot\text{cm})$ , efectúa un trabajo por unidad de tiempo igual a:

$$\frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}} = 2 (\pi) N T = (\text{kgf}\cdot\text{cm}/\text{min})$$

Iguálalo a la potencia en C.V.

$$C.V. \times 75 \times 100 \times 60 = 2 \pi N T$$

$$T = \frac{75 (100) (60) C.V.}{2 \pi N} \quad [\text{kgf}\cdot\text{cm}]$$

Analogamente para obtener T en [lbf·ft]

$$\frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}} = 2 (\pi) N T = [ \text{lbf}\cdot\text{cm}/\text{min} ]$$

$$1 \text{HP} = 32985 = 33000 [\text{lbf}\cdot\text{ft}/\text{min}]$$

$$\text{HP}(33000) (\text{lbf}\cdot\text{ft}/\text{min}) = 2 \pi N T$$

$$T = \frac{\text{HP} (33000)}{2 \pi N} \quad [\text{lbf}\cdot\text{ft}]$$

$$\text{Donde: } T = [\text{lbf}\cdot\text{ft}]$$

$$N = [\text{rev}/\text{min}]$$

Para el diseño de miembros de sección circular a torsión se tiene la siguiente expresión:

$$J = \frac{T}{r \cdot t_{\text{max}}} \quad \dots \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$$r = \text{Radio exterior [in]}$$

$$t_{\text{max}} = \text{Esfuerzo cortante max. permisible [lb/in}^2\text{]}$$

$$T = \text{Momento de torsión [lbf}\cdot\text{in]}$$

$$J = \text{Momento polar de inercia [in}^4\text{]}$$

$$\pi = 3.1416$$

El momento polar de inercia J se obtiene de la siguiente integral

$$J = \int r^2 dA = \int 2 \pi r^3 dr = \frac{\pi (r^4)}{2}$$

$$= \frac{\pi (d^4)}{32}$$

$$J = \frac{\pi (r^4)}{2}$$

De la ecuación (1)

$$t_{\text{max}} = \frac{T r}{J} = \frac{T r (2)}{\pi (r^4)} = \frac{2 T}{\pi (r^3)}$$

Entonces:

$$r = \left[ \frac{2(T)}{\pi (t_{\text{max}})} \right]^{1/3} \quad (1/3)$$



Donde:

$$\begin{aligned} r &= (in) \\ T &= (lb/in) \\ t_{max} &= (lb/in^2) \end{aligned}$$

$$t_{max} = 75\% (S) \quad \dots (19,20).$$

S = esfuerzo permisible.

Para el problema en cuestión ;

$$\begin{aligned} t_{max} &= (0.75) (12986) = 9739.5 \\ \dots & \dots \dots \dots \\ t_{max} &= 9740 (lb/in^2). \\ \dots & \dots \dots \dots \end{aligned}$$

2.9.2 1er. Criterio de cálculo de la flecha , bajo la consideración de que es para cualquier tipo de impulsor. (25)

De acuerdo con Morton y Hicks (25), se siguen los siguientes pasos:

a) Cálculo de la profundidad del impulsor .

$$V = (85\%) = 8340 (dm^3)$$

$$V = 8340 (dm^3) = 293.9 (ft^3) = 2198 \text{ galones.}$$

$$V = \text{PI} [ (T/2)^2 ] Z$$

Donde:

$$\begin{aligned} V &= \text{Volumen.} \\ T &= \text{Diámetro interior del tanque.} \\ Z &= \text{Altura del líquido.} \\ \text{PI} &= 3.1416 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{V}{\text{PI} [ (T/2)^2 ]}$$

$$Z = \frac{293.9}{\text{PI} [ (6.366/2)^2 ]} = 9.23 (ft) = 2815.15 (mm)$$

$$\frac{Z}{T} = \frac{9.23}{6.36} = 1.45$$

b) Área transversal del reactor. (Simbolizado por "A")

$$\begin{aligned} A &= \text{PI} [ (T/2)^2 ] = \text{PI} [ (6.366/2)^2 ] \\ &= 31.835 (ft^2) \end{aligned}$$

C) Capacidad efectiva de bombeo (simbolizado por "Q")

$$Q = V_b A$$

Donde:

$V_b$  = velocidad total del fluido dentro del recipiente en ft/min.

Se escoge el grado 6 para la velocidad total del fluido dentro del recipiente, entonces:

$$V_b = 36 \text{ (ft/min)}.$$

$$Q = 36 \text{ (ft/min)} \times 31.835 \text{ (ft}^2\text{)} = 1146.06 \text{ ft}^3\text{/min}$$

d) Se elige la relación r.

$$r = \frac{D \text{ impulsor}}{D \text{ recipiente}} \quad \text{Donde: } D = \text{Diámetro.}$$

La relación "r" se encuentra dentro de los siguientes valores:

$$0.2 < r < 0.6$$

Se escoge el valor de  $r = 0.5$

Por lo que, D será igual al diámetro del impulsor y su valor es:

$$D = 0.5 (76.4 \text{ in}) = 38.2 \text{ in.}$$

$$D = 3.18 \text{ ft.} \quad T = 6.366 \text{ ft.}$$

e) Es necesario conocer el número de Reynolds (Re).

Mientras más grande sea el número de Reynolds, tendrá menos importancia la influencia de la viscosidad sobre el patrón de flujo.

$$N_q = 0.55$$

$$N_i = \frac{Q}{N_q (D^3)} = \frac{1146.06}{0.55 [(38.2/12)^3]} = 64.5$$

Donde:

$N_q$  = Número de bombeo.

$N_i$  = Velocidad de agitación

$S_g$  = Gravedad específica.

$\mu$  = Viscosidad, en cp.

Para obtener el número de Reynolds se aplica la siguiente fórmula

$$Re = \frac{10.7 (D^2) N_i S_g}{\mu}$$

$$Re = \frac{10.7 (38.2^2) N_i (1.05)}{5000}$$

Para distintos valores de  $N_q$  se obtiene la tabla IV.

TABLA IV : Número de Reynolds ( $Re$ ) a partir del número de bombeo ( $N_q$ ).

| $N_q$<br>#Bombeo | $N_i$<br>Veloc. Agitación | $Re$<br>#Reynolds. |
|------------------|---------------------------|--------------------|
| 0.55             | 64.6                      | 211.81             |
| 0.40             | 88.8                      | 291.00             |
| 0.45             | 79.0                      | 260.00             |
| 0.41             | 86.6                      | 284.00             |
| 0.42             | 84.5                      | 277.00             |
| 0.415            | 85.4                      | 280.00             |
| 0.417            | 85.1                      | 279.30             |

RPM =  $N_i$  Buscado = 85 RPM para agua.

.....  
N = 85 RPM.

f) Cálculo del Diámetro del impulsor corregido.

Una vez conocido el #  $Re$ , se puede obtener el factor de corrección ( $C_f$ ).

# $Re$  = 300                       $C_f$  = 0.97

# $Re$  = 200                       $C_f$  = 0.95

$dif$  = 100                       $dif$  = 0.02

Donde " $dif$ " = diferencia o incremento.

Por lo que  $C_f$  = 0.9658.

$$D = \frac{38.2}{0.9658} = 39.55 \text{ in.}$$

Diámetro del impulsor corregido = 39.55 (in).

g) Cálculo de la Potencia.

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$HP = [(d/394)^5] (n) (Sg) (N^3)$$

Donde:  $D$  = Diámetro del impulsor en (in).

n= Número de impulsores.  
 N= Velocidad de agitación (RPM).

$$HP = [ (39.55/394)^{5/2} (1.05) (85^3) ] = 13.15 \text{ HP}$$

$$HP = 13.15 \text{ HP.}$$

n1 Diámetro de la flecha

Para este punto utilizaremos la fórmula :

$$T = \frac{33000 \text{ HP}}{2 \text{ PI } N}$$

Donde:

T=Torque  
 N= RPM  
 HP=Horse-Power, Caballo de Fuerza.

$$T = \frac{33000 (13.15)}{2 \text{ PI } (85)} = 612.53 \text{ (lb-ft)}$$

$$T = 9750.4 \text{ (lb-in)}$$

Para encontrar el radio de la flecha se utiliza la siguiente expresión:

$$J = \frac{T}{r \cdot t_{max}}$$

Donde:

J= Momento Polar de Inercia (in<sup>4</sup>)  
 r= Radio exterior de la flecha. ( in).  
 t<sub>max</sub>= Esfuerzo cortante permisible (lb/in<sup>2</sup>)  
 T= Torca (lb/in)

$$PI = 3.1416$$

$$T = 9750.4$$

$$J = [PI (r^4)]/2$$

$$t_{max} = (0.75) (12986) = 9740$$

$$r = [ (2 T / PI (t_{max})) ]^{(1/3)}$$

$$r = [ (2 (9750.4) / PI (9740)) ]^{(1/3)} = 0.8606 \text{ in}$$

$$r = 0.8606 \text{ (in).}$$

$$d = 2r = 1.7211 \text{ (in).}$$

La más próxima de las medidas comerciales es 1.75 (in).

Por lo tanto bajo este criterio el diámetro de la flecha sería:

$$d = 1.75 \text{ (in)}$$

2.9.3 2o. Criterio de cálculo de la flecha, considerando impulsores tipo turbina. (24)

Los agitadores por utilizar son agitadores tipo turbina con aspas inclinadas (45° en este caso), el cual da un flujo de agitación axial y radial, es la agitación ideal para mezclas heterogéneas.

Se empezará dando algunas formulaciones esenciales para este tipo de impulsor .

$$W = (1/10) D \text{ turbina.}$$

$$S = W / (0.7071)$$

$$r = \frac{D \text{ turbina}}{D \text{ recipiente}}$$

Donde:

W = Altura del aspa, medida desde el nivel cen-

S = Longitud del contorno del aspa (Su hipotenusa)

La relación "r", varía entre:

$$0.2 < r < 0.6$$

Se toma el valor de  $r = 0.5$

El diámetro del recipiente =  $D_{\text{recipiente}} = 76.4$  (in).

El diámetro de la turbina =  $D_{\text{turbina}} = 76.4(0.5) = 38.2$  (in)  
= 3.18 (ft)

Entonces:

$$W = (1/10) 38.2 \text{ (in)} = 97 \text{ (mm)}$$

$$S = 5.4 \text{ (in)} = 137.22 \text{ (mm)}$$

La altura del líquido se simboliza por "Z"

$$Z = \frac{V}{\text{PI}[(T/2)^2] - \text{PI}[(6.366/2)^2]} = 9.23 \text{ (ft)}$$

$$Z = 9.23 \text{ (ft)} = 2815.15 \text{ (mm)}$$

Una regla práctica es que si la relación altura del líquido y diámetro del impulsor es  $> 1.3$  entonces se utilizarán 2 Turbinas.

$$Z = 9.23 \text{ (ft)}$$

$$T = 6.366 \text{ (ft)}$$

$Z/T = 1.45$  , por lo tanto  $Z/T > 1.3$   
y entonces se utilizarán 2 Turbinas.

Colocación de la turbina inferior:

La altura será de  $(1/3) \times (D \text{ recipiente})$ , donde  $h > 0.3 \times (D \text{ turbina})$

$$T = D \text{ recipiente}$$

$$T = 6.366 \text{ (ft)}$$

$$(1/3) 6.366 = 2.12 > 0.3(3.18)$$

$$= 2.12 > 0.955 \text{ (ft)}$$

$$h = 2.122 \text{ (ft)} = 0.6466 \text{ (m)} = 650 \text{ (mm)}$$

$h = 650 \text{ (mm)}$ , la localización es válida.

Colocación de la turbina superior.

La altura superior es igual a  $2/3$  la altura del líquido (Z), y y se debe cumplir que  $h$  arriba de la turbina  $< D$  turbina.

$$h = (2/3) 9.23 = 6.15 \text{ (ft)}$$

$$9.23 - 6.15 = 3.08 < 3.18$$

"La condición si se cumple"

La distancia vertical aproximada considerada como efectiva en un impulsor tipo turbina para líquidos con viscosidad de 5000 cp (centipoise), es menor a 2.5 veces el diámetro del impulsor. La separación de las 2 turbinas es:

$$(6.15 - 2.12) / 3.18 = (4.03) / 3.18 = 1.267 < 2.5$$

Por lo tanto la separación es válida.

Se analiza al agitador como si trabajara en agua. De la tabla V se ve a manera de ejemplo que con un motor de 10 HP y con agitadores tipo turbina que giran a 84 RPM, funcionando en el seno de un fluido con una densidad de  $1.05 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$  y 5000 cp, utilizamos el factor de corrección (FC = densidad relativa  $\times$  Factor que corresponde la viscosidad).

$$(1.05 \text{ gr/cm}^3) (1.5) = 1.575$$

Según este valor se debe de quitar 1.5(in) al D turbina por cada pie (ft) para mantener la relación HP y RPM.

$$38.2/12 = 3.18 \text{ ft}$$

$$3.18(1.5) = 4.775 \text{ (in)}$$

$$\begin{aligned} 38.2 - 4.775 &= 33.425 \text{ (in)} \\ &= 2.785 \text{ (ft)} \\ &= 849.5 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

Se recomienda la turbina Superior para no quedar tan sumergida se reubica

$9.23 - 2.785 = 6.445$ , que es un valor muy próximo al diámetro de la turbina, siendo 2.785 igual a la altura de la turbina.

$$\begin{aligned} (6.445 - 2.12222) / 2.785 &= 1.552 \text{ (ft)} \\ 1.552 \text{ (ft)} &< 2.5 \end{aligned}$$

Por lo tanto la separación empleada es válida

Se utiliza ahora la fórmula de la Torca = T

$$33000 \text{ HP (12)}$$

$$T = \frac{2 \text{ PI } N}{\dots}$$

Donde:

T = Torca con unidades de (lb-in)

PI = 3.1416

HP = Horse Power

N = RPM.

$$33000(10)(12)$$

$$T = \frac{\dots}{2 \text{ PI (84)}} = 7503.0 \text{ (lb-in)}$$

$$2 \text{ PI (84)}$$

Para obtener el radio r se tiene la siguiente expresión:

$$r = \left[ \frac{(2)T}{(PI) (t_{\max})} \right]^{(1/3)}$$

$$= \left[ \frac{(2)(7503)}{PI(9740)} \right]^{(1/3)}$$

$$r = 0.7885 \text{ (in)}$$

$$d = 1.577 \text{ (in)}$$

Se observa que el valor más cercano comercial es de 1.625(in)

Los cálculos para este caso al igual que otros 3 casos más se condensan en la tabla V

Tabla V: Resumen de cálculo para 2 turbinas axiales con variación de la relación "r", y viscosidad.

Se variará la viscosidad "V" entre 5000 y 10000 cp. (Centipoise), y la relación "r" se variará solamente de 0.5 a 0.6

TABLA V. Resumen de cálculo para turbinas axiales .fig(28)

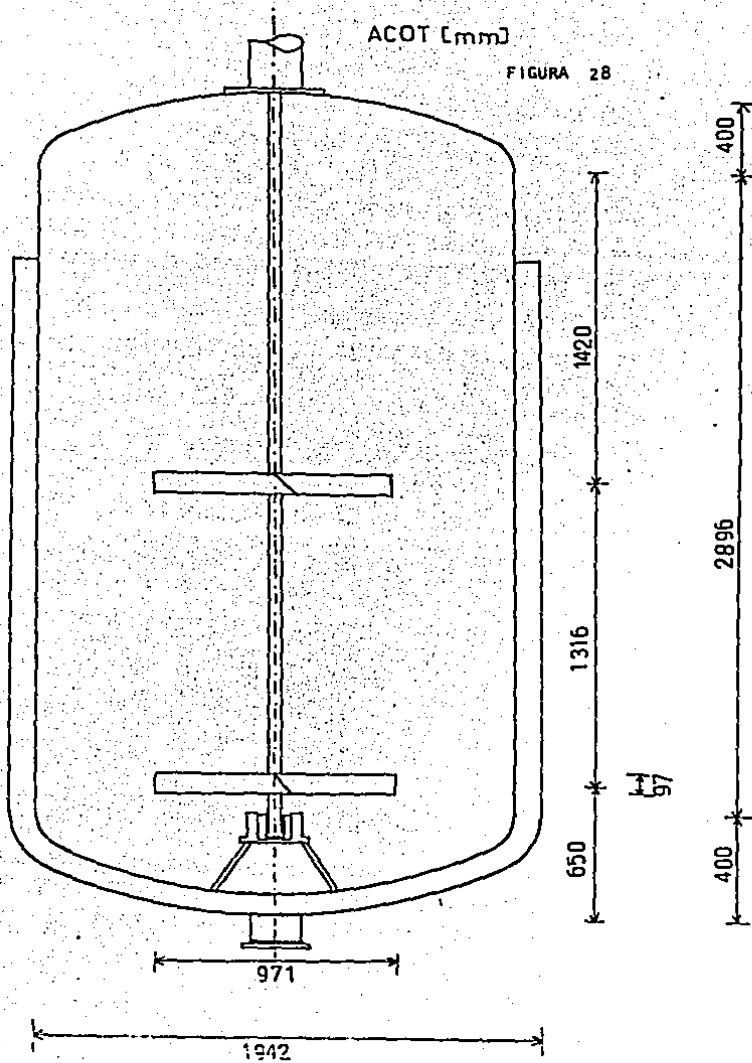
|  | r=0.5                   |  | r = 0.6                 |                        |
|--|-------------------------|--|-------------------------|------------------------|
|  | V=5000                  | V=10000                                  | V=5000                  | V=10000                |
| Dt                                     | 38.2 (in)<br>3.18 (ft)  | 38.2 (in)<br>3.18 (ft)                   | 45.84 (in)<br>3.82 (ft) | 45.84(in)<br>3.82(ft)  |
| Z                                      | 9.23 (ft)               | 9.23 (ft)                                | 9.23 (ft)               | 9.23 (ft)              |
| T                                      | 6.366 (ft)              | 6.366(ft)                                | 6.366(ft)               | 6.366(ft)              |
| Z/T                                    | 1.45                    | 1.45                                     | 1.45                    | 1.45                   |
| h <sub>i</sub>                         | 2.122 (ft)              | 2.122(ft)                                | 2.122(ft)               | 2.122(ft)              |
| h <sub>s</sub>                         | 6.15 (ft)               | 6.15 (ft)                                | 6.15 (ft)               | 6.15 (ft)              |
| Dv                                     | 2.5 (ft)                | 2.25 (ft)                                | 2.5(ft)                 | 2.25 (ft)              |
| F.C.                                   | 1.575                   | 1.89                                     | 1.575                   | 1.89                   |
| P/D                                    | 1.5(in/ft)              | 1.5(in/ft)                               | 1.5(in/ft)              | 1.5(in/ft)             |
| Dt.c.                                  | 33.425(in)<br>2.785(ft) | 33.425(in)<br>2.785(ft)                  | 40.11(in)<br>3.342(ft)  | 40.11(in)<br>3.342(ft) |
| h <sub>af</sub>                        | 6.445(ft)               | 6.445(ft)                                | 5.887(ft)               | 5.887(ft)              |
| $\frac{h_{af}-h_i}{Dt.c(ft)}$          | 1.552                   | 1.552                                    | 1.127                   | 1.127                  |
| A < Dv.                                | s1<br>HP=10<br>RPM=84   | s1<br>.....<br>HP=15<br>RPM=100<br>..... | s1<br>HP=20<br>RPM=84   | s1<br>HP=25<br>RPM=100 |
| To                                     | 7053                    | 9453.8                                   | 15006                   | 15756.3                |
| (l <sub>b</sub> -in)                   |                         |  |                         |                        |
| r f (in)                               | 0.7885                  | 0.851                                    | 0.9935                  | 1.009                  |
| d(in)                                  | 1.577                   | 1.7034                                   | 1.987                   | 2.019                  |
| Diámetro<br>aproximado -<br>comercial. | 1.625<br>(in)           | 1.7500<br>(in)                           | 2.000<br>(in)           | 2.125<br>(in)          |

Donde:

r= Dturbina/ D recipiente  
 Z= La altura del liquido  
 T= Diámetro del recipiente  
 Dt= Diámetro de la turbina  
 h<sub>i</sub>= La altura de turbina inferior.



## DISTRIBUCION DE LAS TURBINAS.



$h_a$  = La altura de la turbina superior.  
 $D_v$  = Distancia vertical aproximada efectiva del impulsor.  
 $F.C.$  = Factor de corrección  
 $P/O$  = For quitar.  
 $D_t.c.$  = Diámetro de la turbina corregido  
 $h_{sf}$  = La altura final de la turbina superior.  
 $T_o$  = Torca.  
 $r_f$  = Radio de la flecha.  
 $d$  = Diámetro de la flecha.

De esta tabla el caso que se escoge es el numero dos en el que se tiene el valor de  $r = 0.5$  y  $V = 10000$  c.p., con 15 HP y 100 RPM.

Se obtiene entonces finalmente el diámetro de la flecha de los agitadores tipo turbina :  $d = 1.75$  (in).

Para el impulsor tipo turbina con inclinación de  $45^\circ$ , se presentan las aspas con una solera de refuerzo exactamente colocada a la mitad del aspa, y sirven para darle mayor rigidez y no se doble.

Como se puede observar en la figura (29,30)

## 2.10 Deflectores o Manparas. (25)

Para la operación efectiva del agitador son requeridos los deflectores.

Los deflectores son unas bandas metálicas, colocadas en la pared interior del tanque en forma vertical.

Su función es aumentar la turbulencia creando corrientes de circulación, que mejora la agitación, y evita la vorticidad.

Para tanques mayores de 3 (ft) se utilizan 4 deflectores espaciados  $90^\circ$  grados entre si.

Si se observa la figura (31,32)

Se tiene que el ancho es  $= bw = T/12 = T/10$

El claro es  $= bc$ , el cual debe tener un mínimo de 1 (in) y un máximo de 3 (in).

La distancia del fondo a la parte inferior del deflector es  $= ba = 1/2 (bw)$ .

## AGITADOR TIPO TURBINA

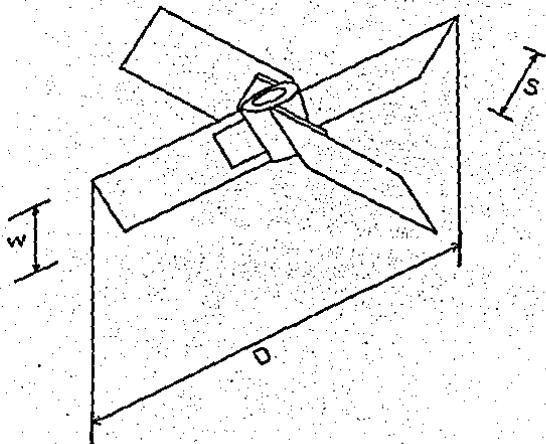


FIGURA 29

SOLERA DEL ASPA  
EN 2 VISTAS.

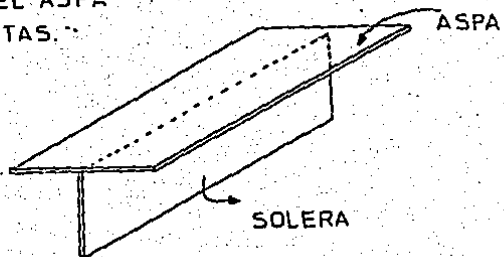
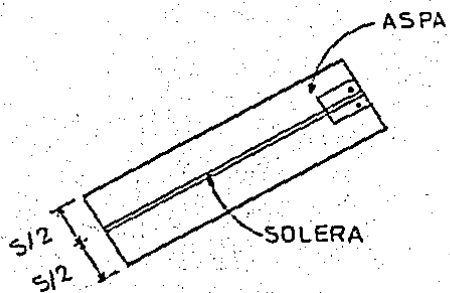


FIGURA 30



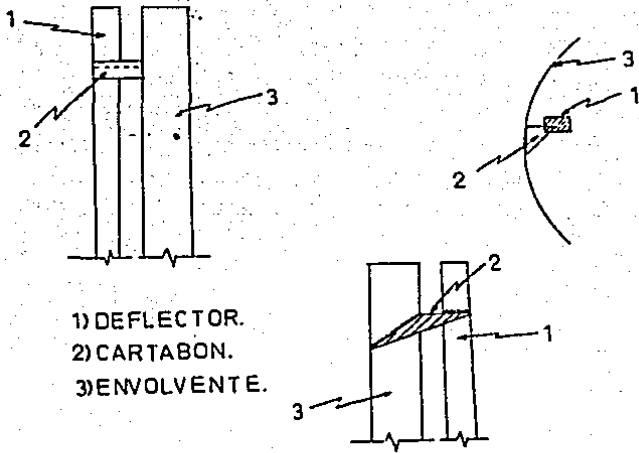


FIGURA 31

4 DEFLECTORES ESPACIADOS  
90° ENTRE SI.

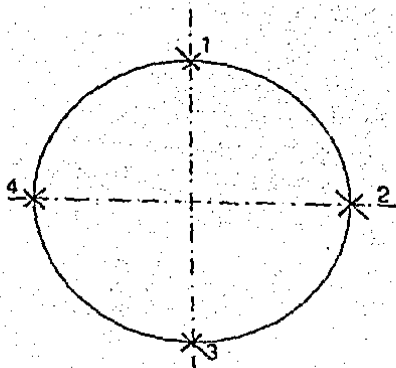
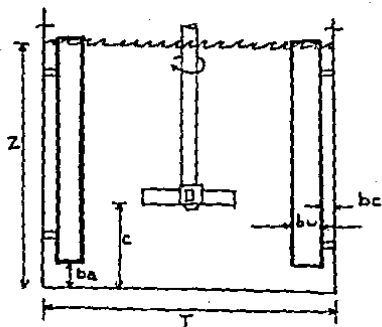


FIGURA 32



$$T=76.4 \text{ (in)}$$

$$bw= 76.4 / 12 = 6.366(\text{in})= 161.7 \text{ (mm)}$$

bc, tomamos el valor medio entre 1 y 3 (in)  
 $bc= 2 \text{ (in)}= 50.8(\text{mm})$ .

$$ba= 3.183 \text{ (in)}= 80.8(\text{mm})$$

El espesor de los deflectores es igual al espesor de la envolvente cilíndrica de acero inoxidable que es igual a  $6 \text{ (mm)}= 1/4 \text{ (in)}$ .

Se pondrán en este caso 4 deflectores espaciados 90 grados entre sí.

Para la colocación de los mamparas se utilizan en este caso cartabones con ángulo de 45 grados. Se colocan uno arriba, uno abajo, y se divide para ver cuantos cartabones se colocarán. El cartabón tiene un espesor de  $1/4 \text{ (in)} = 6 \text{ (mm)}$  del mismo material de la envolvente en acero inoxidable para este caso en particular.

## 2.11 Selección del Sistema Motoreductor.

Para la elección del sistema motoreductor se analiza primero la siguiente expresión:

$$\text{RPM} = \frac{f (120)}{N}$$

Donde:

RPM=Revoluciones por minuto.  
 $f$ = Frecuencia ( Htz = ciclos /seg)  
 $N$ = Número de polos.

La frecuencia con la que trabajan los motores es de 50 ó 60 ( Htz= ciclos/segundo) , y los números de polos pueden ser desde 1 a 10

Si el número de polos crece automáticamente se convierte en un motor más grande, es más robusto y tiene más cobre.

A continuación se presenta una tabla sencilla con variación del número de polos y RPM. En esta tabla se puede notar como al aumentar el número de polos disminuyen las RPM considerablemente.

TABLA VI: Variación del número de polos y obtención de las RPM, para las frecuencias de 50 y 60 (Htz)

| f= 60 (Htz) |      | f= 50 (Htz) |      |
|-------------|------|-------------|------|
| N           | RPM  | N           | RPM  |
| 2           | 3600 | 2           | 3000 |
| 4           | 1800 | 4           | 1500 |
| 6           | 1200 | 6           | 1000 |
| 8           | 900  | 8           | 750  |
| 10          | 720  | 10          | 600  |

Debido a que los motores eléctricos aumentan de precio considerablemente conforme aumenta el número de polos, para el presente caso se selecciona un motor de 1200 RPM, al cual se van a reducir sus RPM a B4 ó 100 RPM según convenga, por medio de una reducción por poleas y por medio de un reductor de velocidad que actuará conjuntamente con el sistema motoreductor, ya que como se mencionó el utilizar un motor con muchos polos saldría muy costoso.

TABLA VII: Casos de tipos de reducción, variando HP y RPM.

|                             | CASO 1<br>10 HP<br>B4 RPM | CASO 2<br>15 HP<br>100 RPM | CASO 3<br>20 HP<br>B4 RPM | CASO 4<br>25 HP<br>100 RPM |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| A) MOTOR                    | 1200 RPM                  | 1200 RPM                   | 1200 RPM                  | 1200 RPM                   |
| A) REDUCCION<br>POR POLEAS. | 1:4<br>1200<br>a<br>300   | 1:4<br>1200<br>a<br>300    | 1:4<br>1200<br>a<br>300   | 1:4<br>1200<br>a<br>300    |
| A) REDUCTOR                 | 1:3.57<br>300<br>a<br>B4  | 1:3<br>300<br>a<br>100     | 1:3.57<br>300<br>a<br>B4  | 1:3<br>300<br>a<br>100     |



Continuación de la tabla VII

|              | CASO 1<br>10 HP<br>84 RPM | CASO 2<br>15 HP<br>100 RPM | CASO 3<br>20 HP<br>84 RPM | CASO 4<br>25 HP<br>100 RPM |
|--------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| *****        |                           |                            |                           |                            |
| B) MOTOR     | 1200 RPM                  | 1200 RPM                   | 1200 RPM                  | 1200 RPM                   |
| B) REDUCCION | 1:3                       | 1:3                        | 1:3                       | 1:3                        |
| POR POLEAS.  | 1200                      | 1200                       | 1200                      | 1200                       |
|              | a                         | a                          | a                         | a                          |
|              | 400                       | 400                        | 400                       | 400                        |
| B) REDUCTOR. | 114.76                    | 114                        | 114.76                    | 114                        |
|              | 400                       | 400                        | 400                       | 400                        |
|              | a                         | a                          | a                         | a                          |
|              | 84                        | 100                        | 84                        | 100                        |
| *****        |                           |                            |                           |                            |
| C) MOTOR.    | 1800 RPM                  | 1800 RPM                   | 1800 RPM                  | 1800 RPM                   |
| C) REDUCCION | 1:4                       | 1:4                        | 1:4                       | 1:4                        |
| POR POLEAS.  | 1800                      | 1800                       | 1800                      | 1800                       |
|              | a                         | a                          | a                         | a                          |
|              | 450                       | 450                        | 450                       | 450                        |
| C) REDUCTOR. | 115.36                    | 114.5                      | 115.3                     | 114.5                      |
|              | 450                       | 450                        | 450                       | 450                        |
|              | a                         | a                          | a                         | a                          |
|              | 84                        | 100                        | 84                        | 100                        |
| *****        |                           |                            |                           |                            |
| D) MOTOR.    | 1800 RPM                  | 1800 RPM                   | 1800 RPM                  | 1800 RPM                   |
| D) REDUCCION | 1:3                       | 1:3                        | 1:3                       | 1:3                        |
| POR POLEAS.  | 1800                      | 1800                       | 1800                      | 1800                       |
|              | a                         | a                          | a                         | a                          |
|              | 600                       | 600                        | 600                       | 600                        |
| D) REDUCTOR. | 117.143                   | 116                        | 117.143                   | 116                        |
|              | 600                       | 600                        | 600                       | 600                        |
|              | a                         | a                          | a                         | a                          |
|              | 84                        | 100                        | 84                        | 100                        |

La elección es la del caso 2 con:

15 HP  
100 RPM

Y el tipo B con:

Motor = 1200 RPM.

Reducción por poleas:  
 1:3  
 1200 a 400 RPM.  
 Reducción:  
 1:4  
 400 a 100 RPM.

2.12 Selección de bandas, poleas y tipo de reductor para el accionamiento del agitador. (11, 14)

Los pasos para encontrar las bandas para las poleas en el sistema motoreductor son:

- 1.- Obtención de los HP para el cálculo.
- 2.- Encontrar la relación de velocidades.
- 3.- Seleccionar la sección adecuada de las bandas.
- 4.- Encontrar los HP por banda.
- 5.- Obtención del número de bandas en la transmisión.
- 6.- Escoger la distancia entre centros.

En el sistema motoreductor para el accionamiento del agitador se plantea la posibilidad de que a partir de diferenciales de coche se pueda hacer un reductor de velocidad tal, que su costo reduzca notablemente el sistema.

Para encontrar las bandas de las poleas en el sistema motoreductor se escoge a manera de ejemplo el diferencial del automóvil Fairmont modelo 1980, con una relación de transmisión de 3.07:1 y con un motor de 1200 RPM y teniendo en la flecha del agitador 100 RPM.

1200 a 307.....para  $r = 1:3.9$

307 a 100.....para  $r = 3.07:1$

Se considera el caso en el que se tienen:

15 HP

100 RPM

Paso 1:

Para las flechas de transmisión existe un factor de 1.4

Para un trabajo intermitente o temporal se le resta al anterior factor 0.2

Se obtiene entonces un factor de 1.2, el cual se multiplica por los HP que se tienen para este caso.

Entonces:

$$\text{HP para el cálculo} = 15 \times 1.2 = 18 \text{ HP}$$

Paso 2:

Se encuentra la relación de velocidad, que para este caso es:

$$1:3.9$$

Paso 3:

Seleccionar la sección de banda .

El tipo de banda puede ser de sección tipo: A,B,C,D,E.

Para el caso en cuestión se selecciona el tipo de banda considerando los HP y las RPM:

$$\text{RPM} = 1200$$

$$\text{HP} = 18$$

De acuerdo a esto se encuentra que el tipo de banda a emplear es:

Banda Tipo "B".

El rango de la polea menor esta entre los valores: 5.2 (in) y 7.5 (in).

Paso 4:

Si el diámetro de la polea menor es de 6.2 (in) y a las RPM=1200 entonces los HP por banda serán igual a 2.7.

Con estos HP por banda se obtienen los HP por banda corregidos , los cuales serán igual a:

$$\text{HP por banda corregido} = (\text{HP por banda}) (\text{Factor de corrección por arco de contacto})$$

El factor de corrección por arco de contacto se denota por "B"

De donde se obtiene que:

$$\text{HP por banda corregido} = 2.7 (0.9) = 2.4 \text{ HP.}$$

Paso 5:

|                       |                        |     |   |     |
|-----------------------|------------------------|-----|---|-----|
| El número de bandas = | HP calculados          | 18  | = | 7.5 |
|                       | HP por banda corregido | 2.4 |   |     |

Y si sale un número fraccionario se toma el entero inmediato superior.

$$\text{El número de bandas} = 7.5$$

Entonces , el número de bandas será = 8

Paso 6:

La distancia entre centros. Si la relación de velocidad es  $< 3$  entonces la distancia entre centros ideal es de la mitad de la suma de los dos diámetros, más el diámetro de la polea menor.

Si la relación de velocidad es  $> 3$ , entonces la distancia entre centros es igual al diámetro de la polea mayor.

Diámetro de la polea menor =  $d = 6.2$  (in)

Diámetro de la polea mayor =  $D = 23.44$  (in)

Siendo  $L =$  Longitud de banda.

$C =$  Distancia entre centros

Se puede aplicar para encontrar la longitud de banda la siguiente fórmula:

$$L = 2C + 1.57 (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$L = 96.6 \text{ (in)}$$

En la tabla VIII, se muestran algunas alternativas de diferenciales de coche con la relación de transmisión, para escoger la que más convenga.

El número de RPM en el agitador es igual a: 100 RPM

Los HP = 15 HP.

La entrada en el motor es de 1200 RPM nominal, el cual dará un valor real de 1160 RPM (Tomado en cuenta en los cálculos de la tabla VIII).

El análisis se realizará en los diferenciales de los automóviles siguientes:

-Ford Fairmont.

-Chrysler Dart.

-VAM Rambler (motor de 258 in<sup>3</sup> de desplazamiento).

-Datsun automático y Datsun estándar.

TABLA VIII: Alternativas de tipo de reductor de velocidad por medio de un diferencial de coche, y obtención del # de bandas y diámetro de poleas.

|                                  | 15 HP         |      | MOTOR DE 1200 RPM nominal.<br>1600 RPM real. |      |         |      |                   |      |                 |      |
|----------------------------------|---------------|------|--|------|---------|------|-------------------|------|-----------------|------|
|                                  | FORD FAIRMONT |      | CHRYSLER                                     |      | RAMBLER |      | DATSUN AUTOMATICO |      | DATSUN ESTANDAR |      |
| RELACION TRASMISION              | 3.07:1        |      | 3.23:1                                       |      | 3.31:1  |      | 4.11:1            |      | 3.7:1           |      |
| FACTOR DE SERVICIO.              | 1.4           |      | 1.4  |      | 1.4     |      | 1.4               |      | 1.4             |      |
| RESTA POR TRABAJO.               | 0.2           |      | 0.2  |      | 0.2     |      | 0.2               |      | 0.2             |      |
| FACTOR FINAL.                    | 1.2           |      | 1.2  |      | 1.2     |      | 1.2               |      | 1.2             |      |
| HP CALCULADOS.                   | 18            |      | 18   |      | 18      |      | 18                |      | 18              |      |
| RELACION DE VELOCIDAD DE POLEAS. | 3.78          |      | 3.6  |      | 3.5     |      | 2.82              |      | 3.135           |      |
| TIPO DE BANDAS.                  | B en V        |      | B en V                                       |      | B en V  |      | B en V            |      | B en V          |      |
|                                  | FAIRMONT      |      | CHRYSLER                                     |      | RAMBLER |      | DATSUN AUTOMATICO |      | DATSUN ESTANDAR |      |
| DIAMETRO DE LA POLEA MENOR       | 6.2           | 6.4  | 6.2  | 6.4  | 6.2     | 6.4  | 6.2               | 6.4  | 6.2             | 6.4  |
| HP POR BANDA                     | 2.4           | 2.6  | 2.4  | 2.6  | 2.4     | 2.6  | 2.4               | 2.6  | 2.4             | 2.6  |
| # BANDAS                         | 8             | 7    | 8  | 7    | 8       | 7    | 8                 | 7    | 8               | 7    |
| DIAMETRO DE LA POLEA MAYOR .     | 23.4          | 24.2 | 22.3   | 23.0 | 21.7    | 22.4 | 17.5              | 18.0 | 19.4            | 20.0 |
| L=LONGITUD DE BANDAS             | 96.6          | 99.7 | 92.3   | 95.3 | 82.0    | 92.8 | 75.0              | 77.4 | 81.0            | 81.8 |
| C=DIST. ENTRE CENTROS.           | 23.4          | 24.2 | 22.3   | 23.0 | 21.7    | 22.4 | 18.0              | 18.6 | 19.4            | 19.0 |

La tabla VIII tiene la siguiente notación y formulación:

D= Diámetro de la polea mayor (in)  
 d= Diámetro de la polea menor (in)  
 HP calculados= Factor Final (HP)

HP calculados  
 -----  
 # Bandas= HP por Banda corregido

$$L = 2C + 1.57 (d+D) + \frac{(D-d)^2}{4C}$$

C: Para relación de velocidad <3 , se tiene que:

$$C = \frac{(D+d)}{23} + d$$

Para relación de velocidad >3, se tiene que:

$$C = \text{Diámetro de la polea mayor.}$$

B= Factor de corrección por arco de contacto.

La banda a utilizar es la Dodge B-81 o su equivalente.

El diferencial del Datsun estándar se acopla a las necesidades requeridas, y no es difícil conseguirlo. Además los tamaños de la polea mayor y menor son muy razonables , por lo tanto es este último el que se escoge. fig(33,34)

La relación de transmisión del Datsun estándar = 3.70 : 1

La relación de transmisión de las poleas = 3.135 : 1

## SISTEMA MOTOR, POLEAS Y REDUCTOR CON AGITADOR.

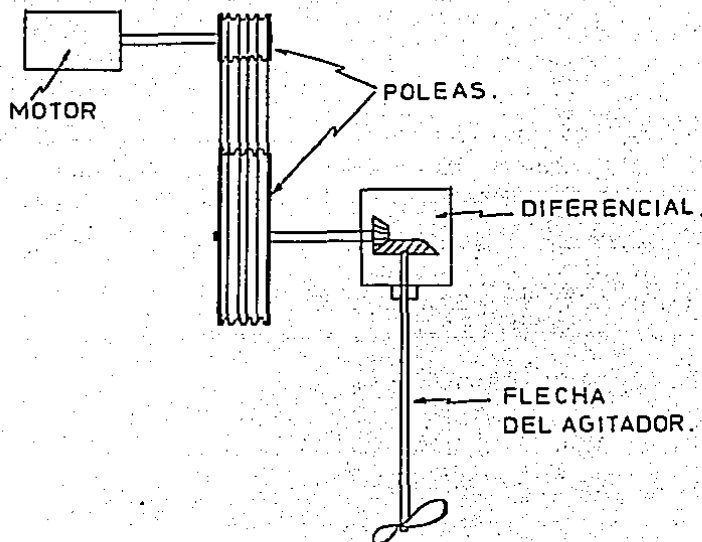


FIGURA 33

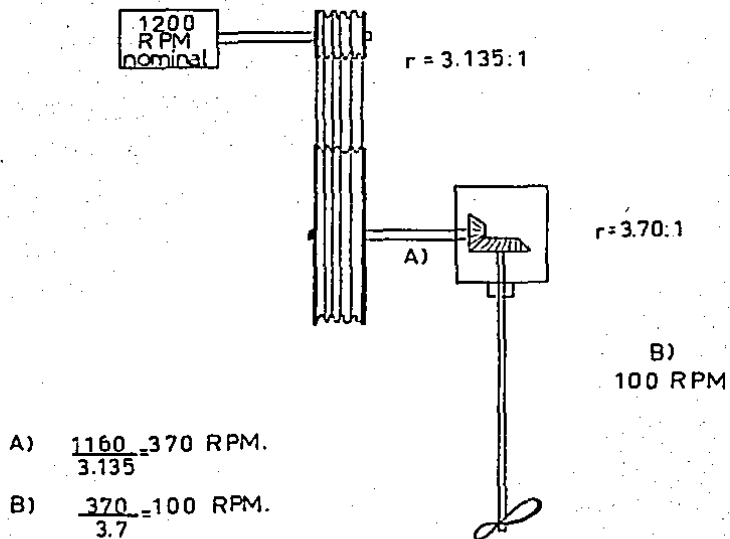


FIGURA 34



## 2.13 Sistema de Calentamiento y Enfriamiento del Reactor por Medio de Aceite.

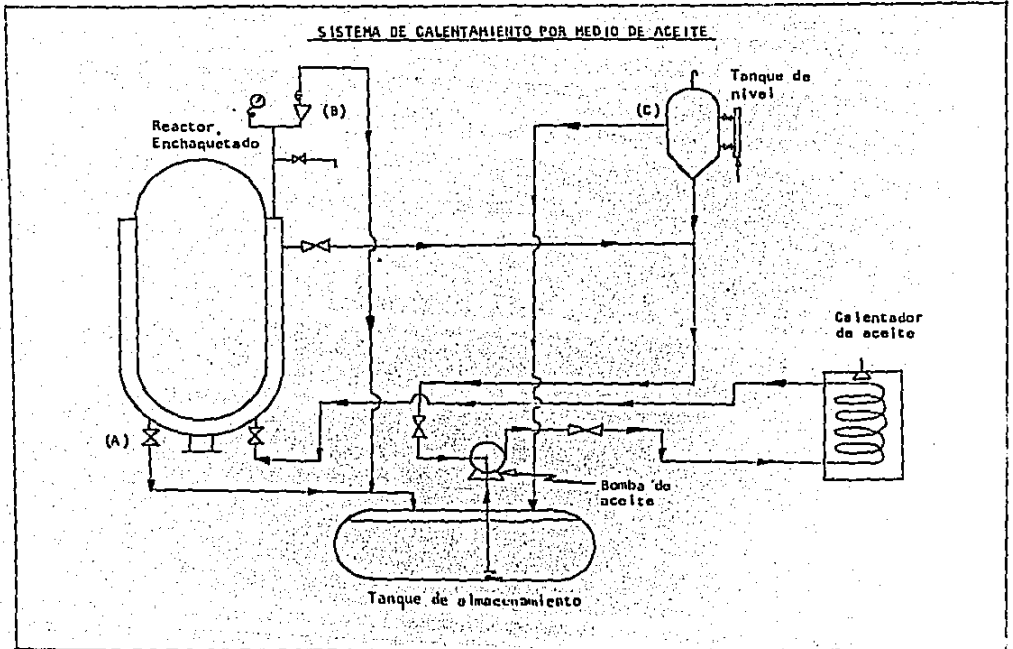
### 2.13.1 Sistema de calentamiento por medio de aceite en el reactor enchaquetado. fig (35)

El funcionamiento del sistema de calentamiento comienza con el llenado inicial del mismo, en este llenado se tiene primero que el aceite se toma del tanque de almacenamiento por medio de la succión de la bomba, después de que este último ya pasó por la válvula de retención. Una vez que la bomba centrífuga de aceite la ha tomado, lo manda al calentador de aceite. El aceite sale del calentador a una mayor temperatura que puede oscilar desde 100(°C) a 300(°C) y se introduce a la chaqueta del reactor. Ya que ésta última se ha llenado, se purga el aire, y el aceite llega a la salida del tanque de nivel ubicado a aproximadamente entre 8 y 10 metros de altura de la salida superior de la chaqueta, en este punto el aceite es mandado a la succión de la bomba centrífuga de aceite (en donde ya no se toma aceite de la válvula de retención), iniciándose una vez más el ciclo y convirtiéndose en un circuito cerrado de calentamiento del aceite en la chaqueta del reactor.

Este sistema también requiere lo siguiente:

- Una válvula de descarga de la chaqueta en caso de fuga, y que llega al tanque de almacenamiento (letra A).
- Una válvula de seguridad en caso de aumentar la presión de la chaqueta, con su retorno libre al tanque de almacenamiento (letra B).
- Un derramo al tanque de almacenamiento proveniente del tanque de nivel (letra C).

FIGURA 35



2.13.2 Sistema de enfriamiento por medio de aceite en el reactor enchaquetado. fig(36).

El funcionamiento del sistema de enfriamiento comienza con el llenado inicial del sistema, en el cual se toma el aceite del tanque de almacenamiento hacia la succión de la bomba centrífuga de aceite después de que el aceite ya pasó por la válvula de retención. El aceite a una temperatura alta se alimenta al enfriador de aceite, después sale del enfriador y es introducido a la chaqueta del reactor. Ya que esta última se ha llenado se purga el aire y el aceite llega a la salida del tanque de nivel el cual está alrededor de 8 a 10 metros de altura sobre la salida superior del aceite en la chaqueta. En este punto el aceite es mandado a la succión de la bomba centrífuga de aceite. (aquí ya no se toma aceite por la válvula de retención), iniciándose una vez más el ciclo y convirtiéndose en circuito cerrado el enfriamiento en la chaqueta del reactor.

Este sistema también requiere lo siguiente:

- Una bomba centrífuga de agua, la cual toma agua fría del tanque de almacenamiento de agua fría y lo manda al enfriador de aceite.

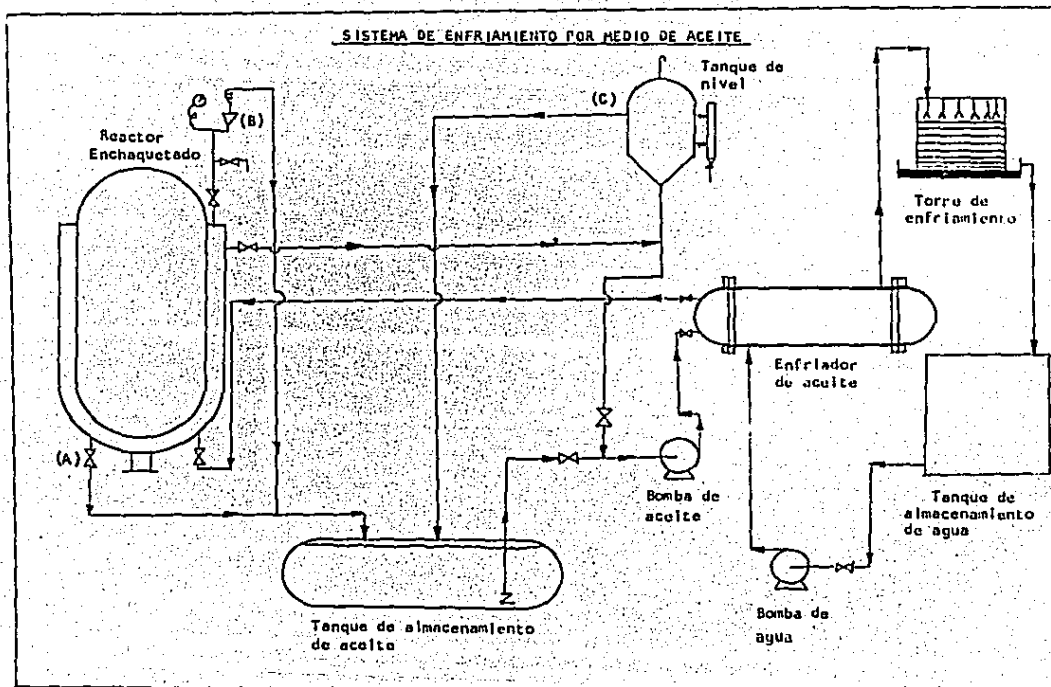
- Una torre de enfriamiento con un derrame hacia el tanque de almacenamiento de agua fría.

- Una válvula de descarga de la chaqueta en caso de fuga y cuyo derrame es al tanque de almacenamiento (letra A).

- Una válvula de seguridad en el caso de aumentar la presión en la chaqueta con retorno libre al tanque de almacenamiento (letra B).

- Un derrame del tanque de almacenamiento proveniente del tanque de nivel (letra C).

FIGURA 36



### 3. ESTIMACION DEL COSTO DE FABRICACION DEL REACTOR.

## 3. ESTIMACION DEL COSTO DE FABRICACION DEL REACTOR.

( En Octubre de 1987 )

1) Para la construcción del reactor, la colocación de boquillas y del anillo de acero inoxidable, se tienen los siguientes costos:

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| Materiales .....              | 17'576,488 |
| Rolado .....                  | 669,600    |
| Construcción de tapas .....   | 411,078    |
| Soldadura .....               | 1'129,988  |
| Bridas .....                  | 773,720    |
| Mano de obra del reactor..... | 5'331,548  |

SUBTOTAL (1)..... \$ 25'892,458

2) Para la construcción de la chaqueta, la colocación de las boquillas y de los anillos de refuerzo, se tienen los siguientes costos:

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| Materiales .....            | 2'062,928 |
| Rolado .....                | 747,318   |
| Soldadura y boquillas ..... | 107,727   |
| Mano de obra .....          | 4'705,176 |

SUBTOTAL (2)..... \$ 7'623,149

3) Para la construcción de los agitadores, la adaptación de la flecha y el accionamiento del sistema de agitación se tienen los siguientes costos:

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| Deflectores .....             | 1'132,761 |
| Costo de la flecha .....      | 544,350   |
| Agitadores dos turbinas ..... | 1'115,700 |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| Maquinado y mano de obra..... | 2'792,311 |
|                               | -----     |
| SUBTOTAL (3).....             | 5'585,622 |
|                               | -----     |

Se tienen las siguientes cuatro opciones. De acuerdo a los costos, el orden de las inversiones de manera creciente es:

## OPCION (1)

|   |              |
|---|--------------|
| Poleas .....  | 678,369      |
| Bandas .....  | 55,783       |
| Diferencial de Datsun<br>estandar usado y adap-<br>tación. .... | 450,000      |
| Instalación en el reactor.....                                  | 450,000      |
|   | -----        |
|   | \$ 1'634,152 |

El costo total del reactor con la opción (1) es:

CTO. DEL REACTOR= SUBTOTAL (1)+SUBTOTAL (2)+SUBTOTAL (3)+OPCION (1)  
(OPCION 1)

$$= 25'892,458 + 7'623,149 + 5'585,622 + 1'634,152$$

.....  
CTO. DEL REACTOR= \$ 40'735,381 + IVA.  
(OPCION 1) .....

\*\*\*\*\*

## OPCION (2)

|   |              |
|---|--------------|
| Poleas .....  | 678,369      |
| Bandas .....  | 55,783       |
| Diferencial de Datsun<br>estandar nuevo y adap-<br>tación. .... | 661,270      |
| Instalación en el reactor.....                                  | 450,000      |
|   | -----        |
|   | \$ 1'845,422 |

El costo total del reactor con la opción (2) es:

CTO. DEL REACTOR= SUBTOTAL (1)+SUBTOTAL (2)+SUBTOTAL (3)+OPCION (2)  
(OPCION 2)  
= 25'892,498 + 7'623,149 + 5'585,622 + 1'845,422

CTO. DEL REACTOR= \$ 40'946,651 + IVA.  
(OPCION 2) \*\*\*\*\*  
.....

\*\*\*\*\*

OPCION (3)

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| Poleas .....                   | 678,369      |
| Bandas .....                   | 55,783       |
| Reductor Falk<br>3.7 ii .....  | 2'044,000    |
| Instalación en el reactor..... | 250,000      |
|                                | <hr/>        |
|                                | \$ 3'048,152 |

El costo total del reactor con la opción (3) es:

CTO. DEL REACTOR= SUBTOTAL (1)+SUBTOTAL (2)+SUBTOTAL (3)+OPCION (3)  
(OPCION 3)  
= 25'892,458 + 7'623,149 + 5'585,622 + 3'048,152

CTO. DEL REACTOR= \$ 42'149,381 + IVA.  
(OPCION 3) \*\*\*\*\*  
.....

\*\*\*\*\*

OPCION (4)

|  |               |
|--|---------------|
| Reductor Falk relación<br>de 12 ii (1200 a 100 RPM)..... | 12'361,094    |
| Instalación en el reactor.....                           | 293,184       |
|  | <hr/>         |
|  | \$ 12'654,278 |

El costo total del reactor con la opción (4) es:

CTO. DEL REACTOR= SUBTOTAL (1)+SUBTOTAL (2)+SUBTOTAL (3)+OPCION (4)  
(OPCION 4)

= 25'892,458 + 7'623,149 + 5'585,622 + 12'654,278



.....  
 .CTO.DEL REACTOR= \$ 51'755,507 + IVA.  
 . (OPCION 4) =====  
 .....

\*\*\*\*\*

A continuación se mencionan las ventajas y las desventajas de --  
 cada opción

OPCION (1); Tiene un bajo costo inicial. Un diferencial de automé  
 vil usado aparentemente puede dar problemas aunque la experiencia in-  
 dica que dichos problemas no se presentan.

OPCION (2); Con una inversión baja se tiene un reductor con com-  
 ponentes nuevas.

OPCION (3); Con un reductor de fábrica utilizado para operar bajo  
 las necesidades del sistema, la inversión resulta moderada.

OPCION (4); Esta opción es la que tiene más ventajas puesto que  
 su acoplamiento es sencillo y es directo. Además dá la opción de bajar  
 las RPM, a la salida del reductor, poniendo poleas y bandas a la en-  
 trada del mismo. Por lo tanto tiene mayor flexibilidad para que en un  
 futuro se puedan bajar las RPM.

En las opciones 1,2,y 3 si se pueden bajar las RPM, pero la di-  
 mensión de las poleas crecerían mucho y sería muy difícil adaptarlo al  
 sistema de agitación sobre el reactor. Lo que se puede hacer para bajar  
 las RPM, es quitar el reductor y poner un motor de velocidad varia-  
 ble.

Por otro lado la inversión en la opción (4) es más alta que en  
 las demás en cuanto a transmisión se refiere.

Como referencia el costo de este reactor cotizado por varias em-  
 presas es del orden de \$80'000,000.

De acuerdo a los comentarios anteriores, el equipo para el accio-  
 namineto del sistema de agitación que se selecciona es la opción (2)

en el que se adapta el diferencial de automóvil nuevo, teniendo como otra ventaja que los caballos que puede transmitir son superiores a la opción 3 y 4 aproximadamente 60 H.P.

Por lo tanto el costo del reactor de acuerdo con la opción (2), sin considerar la utilidad que se puede tener por el mismo será de :

.....  
 : CTO.DEL REACTOR = \$ 40'946,651 + IVA.  
 : \*\*\*\*\*  
 : .....

NOTAS: El estimado del costo del reactor tiene un margen de error de + 10% .

En estos costos no se contempló el costo del aislamiento, pero se hace la recomendación de utilizar lana mineral para disminuir las pérdidas de calor y evitar quemaduras al personal de operación.

Para obtener el costo después de octubre de 1987, será necesario aplicar los índices de todos aquellos factores que intervienen en la estimación del mismo como son:

- Mano de obra
- Acero al Carbón.
- Acero Inoxidable
- Deslizamiento del peso-  
frente al dolar.
- Inflación propia del país

#### 4. CONCLUSIONES.

#### 4. CONCLUSIONES.

- En México se pueden diseñar y consecuentemente construir diferentes tipos de equipo, con los conocimientos de Ingenieros mexicanos, tomando una gran relevancia este punto ya que en México se importan muchos equipos y se convierte esto en una necesidad. En un tiempo como el que se vive se debe ser más autónomo y no depender de la importación.

- El criterio que se fija para el diseño de este equipo, consier-niente al uso de placas completas es Única y exclusivamente para eliminar el desperdicio y optimizar los costos, es muy importante hacer esta consideración en los diseños, siempre que sea posible.

- El diseño y construcción de un equipo de esta índole con la supervisión de un Ingeniero conlleva a un gran ahorro en comparación con equipos llamados de "línea" de fábricas grandes. Dicho ahorro se obtiene encontrando la alternativa más económica que no afecte al equipo. Así se ha obtenido la inversión óptima necesaria que satisfaga las condiciones expuestas en el presente trabajo.

-El aceite permite que el sistema de calentamiento pueda ser un circuito cerrado, con lo que se pueden alcanzar altas temperaturas y bajas presiones haciendo más económico el sistema.

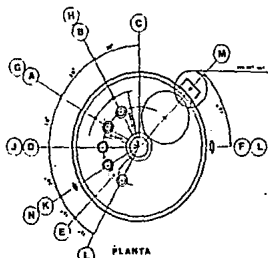
-Partiendo de diferenciales de coche se puede diseñar un reductor de velocidad, que es una parte esencial del sistema de agitación en el reactor. A nivel nacional los reductores de velocidad son muy caros y por lo tanto se pueda reducir con este tipo de reductor el costo.

- El trabajo en cuestión es una especie de guía que puede ser utilizada para la construcción de equipos similares, es decir se enuncian una serie de pasos esenciales para la construcción de reactores enchquetados, partiendo de una cinética de reacción ya conocida así como -

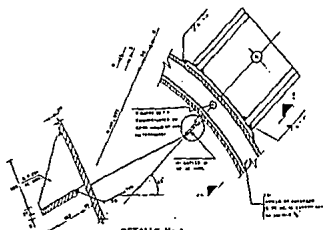
de otros parámetros propios de la tecnología.

- Se ha seleccionado el sistema de agitación más conveniente para la obtención del producto en cuestión, haciéndose una importante observación, la cual es que este sistema de agitación así como el empleo del reactor puede ser no sólo para un producto, sino para varios productos. Por lo tanto se puede concluir que es un reactor con gran versatilidad, según el sistema de reacción deseado.

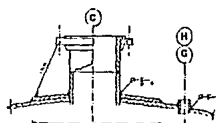
**5. ANEXOS.**



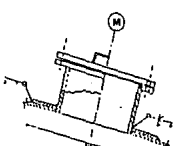
PLANTA



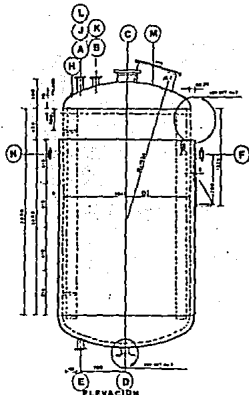
DETALLE No. 1



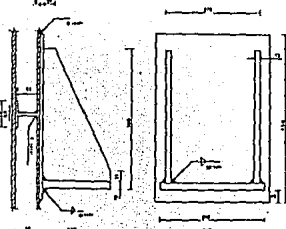
DOQUILLA PARA ENTRADA DE AGITADOR



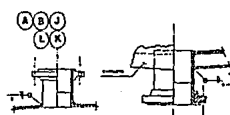
REGISTRO DE HOMBRE



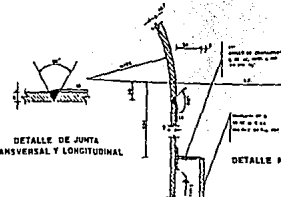
ELEVACION



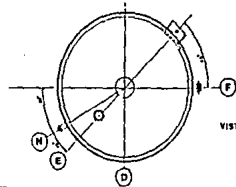
CORTE No. 1



DETALLE No. 3



DETALLE DE JUNTA TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL



VISTA TAPA INFERIOR

LISTA DE MATERIALES

| ITEM | DESCRIPCION  | UNIDAD | CANTIDAD |
|------|--|--------|----------|
| 1    | 1112 TUBO INDUSTRIAL DE AC. INOXIDABLE 1 1/2" x 1/8" x 10' (1.50 x 0.125 x 3048) | pie    | 100      |
| 2    | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 3    | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 4    | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 5    | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 6    | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 7    | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 8    | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 9    | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 10   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 11   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 12   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 13   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 14   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 15   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 16   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 17   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 18   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 19   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 20   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 21   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 22   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 23   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 24   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |
| 25   | 1 PIA 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048)                                     | pie    | 100      |

TABLA DE DOQUILLAS

| ITEM | DESCRIPCION             | CANTIDAD |
|------|-------------------------|----------|
| 1    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 2    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 3    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 4    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 5    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 6    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 7    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 8    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 9    | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 10   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 11   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 12   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 13   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 14   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 15   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 16   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 17   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 18   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 19   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 20   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 21   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 22   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 23   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 24   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |
| 25   | 2" x 2" x 1/4" DOQUILLA | 100      |

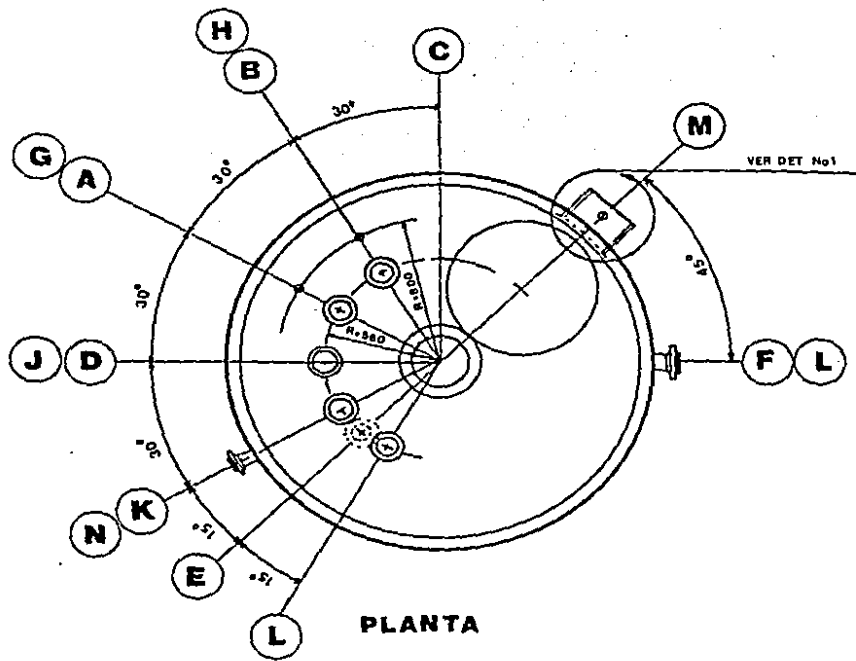
DATOS DE DISEÑO

|    |  |
|----|--|
| 1  | FLUIDO: Agua y vapor de agua.              |
| 2  | TEMPERATURA DE OPERACION: 200°C (392°F).   |
| 3  | PRESION DE OPERACION: 100 PSIG (6.89 bar). |
| 4  | MATERIAL DE DISEÑO: AC 304.                |
| 5  | ESPECIFICACION DE DISEÑO: ASME VIII.       |
| 6  | EFICIENCIA DE LA JUNTA SOLDADA: 100%.      |
| 7  | ALONGOS DE SOLDADURA: 100%.                |
| 8  | COMPROMISO DE MATERIALES: Ninguno.         |
| 9  | WELDING CODE: ASME IX.                     |
| 10 | WELDING PROCEDURE: ASME IX.                |
| 11 | WELDING QUALIFICATION: ASME IX.            |
| 12 | WELDING INSPECTION: ASME IX.               |
| 13 | WELDING RECORD: ASME IX.                   |
| 14 | WELDING CERTIFICATION: ASME IX.            |
| 15 | WELDING APPROVAL: ASME IX.                 |
| 16 | WELDING ACCEPTANCE: ASME IX.               |
| 17 | WELDING REJECTION: ASME IX.                |
| 18 | WELDING REWORK: ASME IX.                   |
| 19 | WELDING REPAIR: ASME IX.                   |
| 20 | WELDING RE-EVALUATION: ASME IX.            |
| 21 | WELDING RE-INSPECTION: ASME IX.            |
| 22 | WELDING RE-CERTIFICATION: ASME IX.         |
| 23 | WELDING RE-APPROVAL: ASME IX.              |
| 24 | WELDING RE-ACCEPTANCE: ASME IX.            |
| 25 | WELDING RE-REJECTION: ASME IX.             |

ESPECIFICACION DE MATERIAL

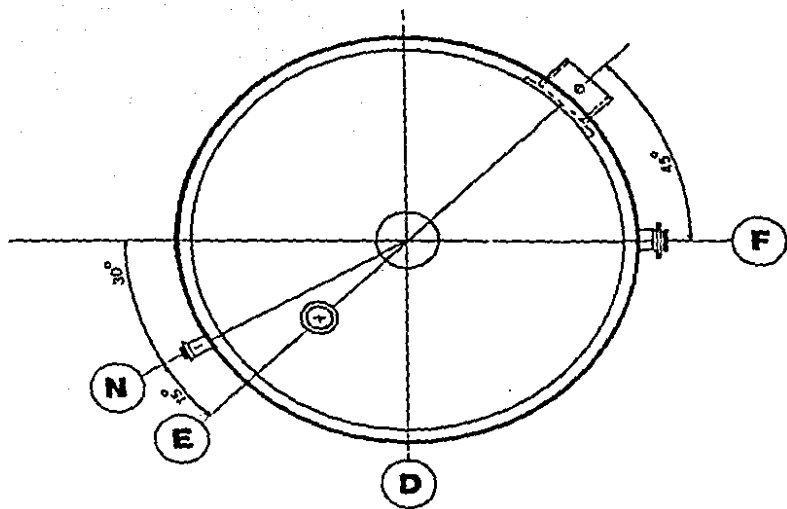
|    |  |
|----|--|
| 1  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 2  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 3  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 4  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 5  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 6  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 7  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 8  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 9  | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 10 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 11 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 12 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 13 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 14 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 15 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 16 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 17 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 18 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 19 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 20 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 21 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 22 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 23 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 24 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |
| 25 | AC 304: 1/4" x 1/4" x 10' (6.35 x 6.35 x 3048) |

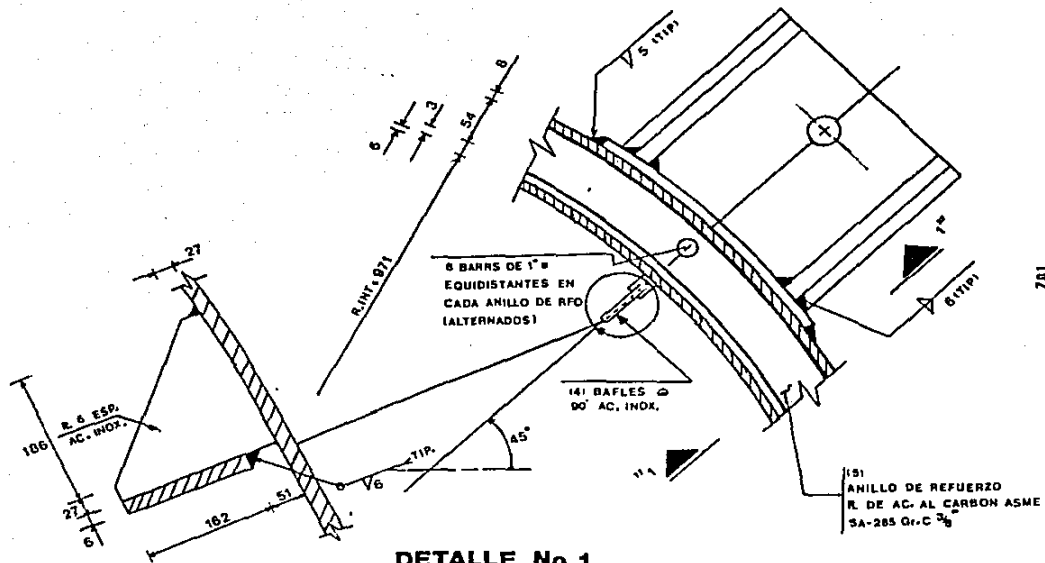
UNIVERSIDAD PANAMERICANA (ING. UNAM)  
 ESC. DE INGENIERIA EN ELECTROMECANICA  
 PASANTE: GABRIEL EGUIARRTE PRUNO  
 TESIS PROFESIONAL  
 Diseño Mecánico de un Reactor Enchufado



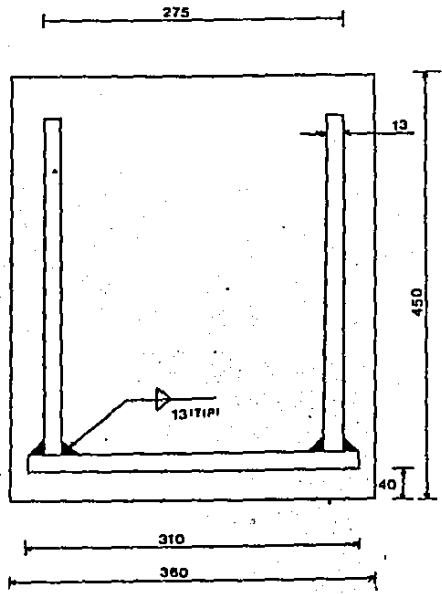
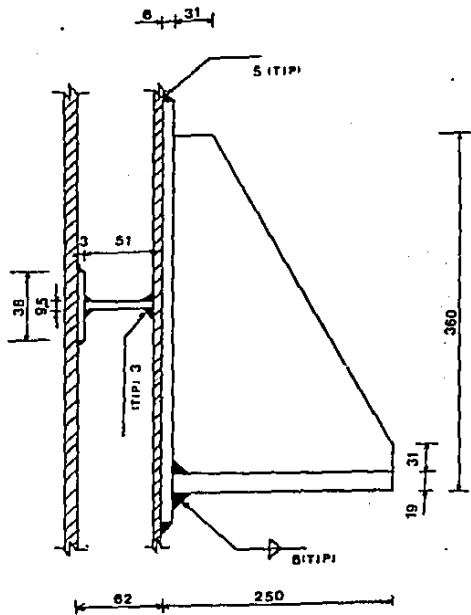




**VISTA TAPA INFERIOR**

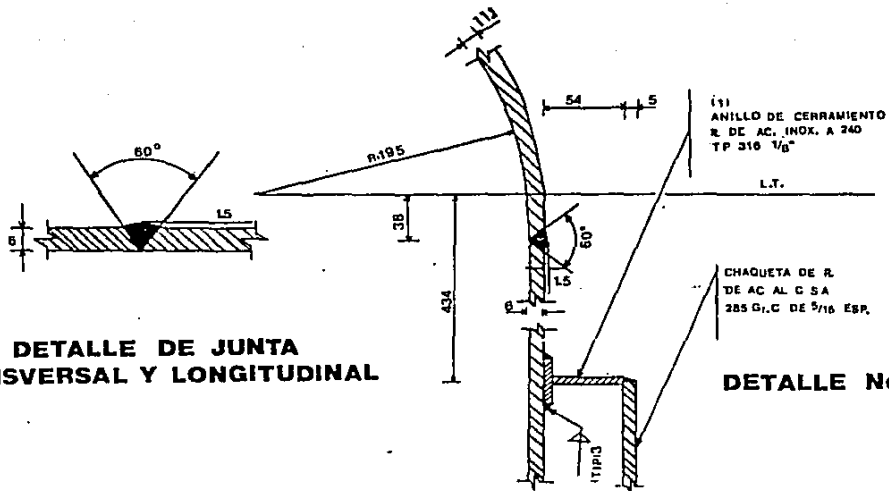


**DETALLE No.1**



**CORTE "1-1"**

**DETALLE DE JUNTA  
TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL**

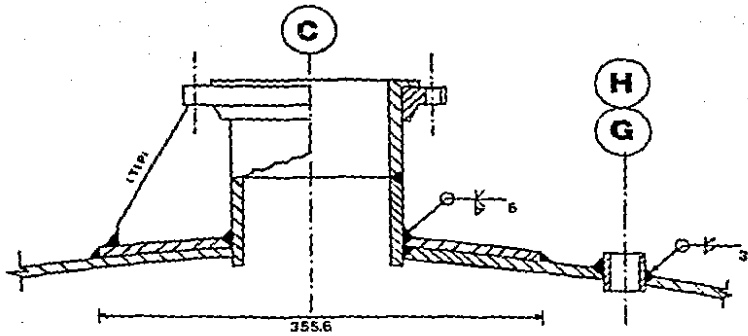


(1)  
ANILLO DE CERRAMIENTO  
E DE AC. INOX. A 240  
TP 316 1/8"

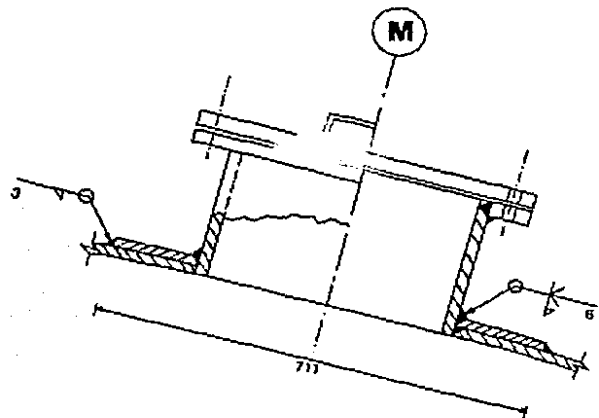
L.T.

CHAQUETA DE R.  
DE AC AL C SA  
285 G1.C DE 9/16 Esp.

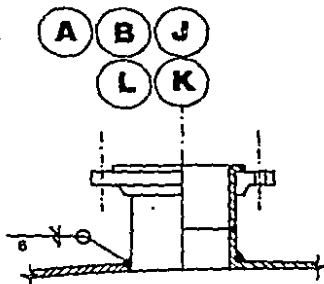
**DETALLE No. 2**



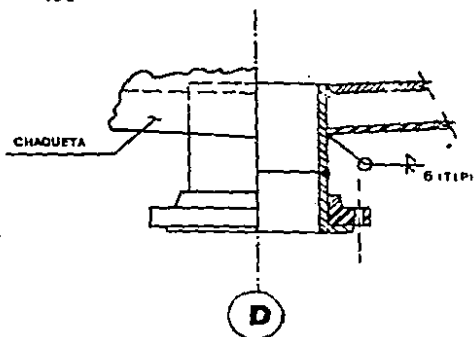
**BOQUILLA PARA  
ENTRADA DE AGITADOR**



**REGISTRO DE HOMBRE**



**DETALLE DE BOQS.  
SOBRE TAPA**



**DETALLE No. 3**

### **NOTAS:**

- 1 Diseño basado en código ASME sección VIII, div. 1 (1983) y deberá fabricarse, según código antes mencionado.
- 2 Acotaciones en milímetros.
- 3 Los Barrs. de las bridas quedarán simétricamente distribuidos respecto a los ejes normales del equipo sin coincidir con ellos.
- 4 Las superficies maquinadas y conexiones roscadas se protegerán con un material antioxidante.
- 5 Protéjense las bridas con tapas de madera antes de embarcar.
- 6 Ninguna boquilla deberá caer en cordones de soldadura.
- 7 El fabricante proporcionará la placa de aprobación del equipo por parte de la Sria. del Trabajo y Previsión Social.
- 8 La fabricación y aceptación del equipo estará sujeta a inspección por representantes del cliente.
- 9 Abreviatura: L.T. Línea de Tangencia.
- 10 Se requieren: 1 (una) pieza.

## LISTA DE MATERIALES

| MCA.   | CANT. | UNID. | DESCRIPCION  | PESO Kg | OBSV |
|--------|-------|-------|--|---------|------|
| 1      | 2     | PZA.  | TAPA TORISFERICA DE AC. INOX. A 240 TP-316 PARA UN $\phi$ EXT. DE 1954 x 1" ESP y 3" PARTE RECTA.    | 7165    |      |
| 2      | 1     | PZA.  | TAPA TORISFERICA DE AC. AL C. 285 Gr. C. PARA UN $\phi$ EXT. DE 2078.5 x 5/16" ESP y 3" PARTE RECTA. | 287.2   |      |
| 3      | 1     | PZA.  | R. AC. INOX. DE 1/4" ESP x 1524 x 6,096 LG.  | 465     |      |
| 4      | 1     | PZA.  | R. AC. INOX. DE 1/4" ESP x 1219 x 6,096 LG.  | 372     |      |
| 5      | 1     | PZA.  | R. AC. AL C. DE 5/16" ESP x 1524 x 3,658 LG.   | 348.5   |      |
| 6      | 1     | PZA.  | R. AC. AL C. DE 5/16" ESP x 1219 x 3,658 LG.   | 278.7   |      |
| 7      | 1     | PZA.  | R. AC. AL C. DE 5/16" ESP x 1524 x 3,048 LG.   | 290.3   |      |
| 8      | 1     | PZA.  | R. AC. AL C. DE 5/16" ESP x 1219 x 3,048 LG.   | 232.2   |      |
| 9      | 4     | PZA.  | ANILLO DE R. AC. AL C. 1/8" ESP x 2075 DE $\phi$ EXT. 1960 $\phi$ INT.                               | 36.6    |      |
| 10     | 1     | PZA.  | ANILLO DE AC. INOX 1/8" ESP x 2075 $\phi$ EXT. 1960 $\phi$ INT.                                      | 9.15    |      |
| 11     | 1     | PZA.  | BRIDA DESLIZABLE AC. FORJADO 150# 20" $\phi$   | 66.3    |      |
| 12     | 1     | PZA.  | BRIDA CIEGA AC. INOX. 150# 20" $\phi$  | 124     |      |
| 13     | 6     | PZA.  | BRIDA A TRASLAPE AC. FORJADO 150# 3" $\phi$  | 24.6    |      |
| 14     | 1     | PZA.  | BRIDA A TRASLAPE AC. FORJADO 150# 1" $\phi$  | 1       |      |
| 15     | 1     | PZA.  | BRIDA A TRASLAPE AC. FORJADO 150# 4" $\phi$  | 6       |      |
| 16     | 1     | PZA.  | BRIDA DESLIZABLE AC. FORJADO 150# 4" $\phi$  | 4       |      |
| 17     | 1     | PZA.  | BRIDA A TRASLAPE FORJADO 150# 8" $\phi$  | 16      |      |
| 18     | 2     | PZA.  | COPE 3,000 # AC. FORJADO 105#  | 1       |      |
| 19     | 1     | PZA.  | S.E. AC. INOX. A 312 TP - 316; 2" $\phi$   | 5.5     |      |
| 20     | 3     | PZA.  | COPE 40 AC. AL C.A. 53 A 3" $\phi$   | 24      |      |
| 21     | 4     | PZA.  | S.E. AC. INOX. A 312 TP - 316; 3" $\phi$   | 32.4    |      |
| 22     | 1     | PZA.  | S.E. AC. INOX. A 312 TP - 316; 8" $\phi$   | 22      |      |
| 23     | 1     | PZA.  | S.E. AC. INOX. A 312 TP - 316; 20" $\phi$  | 54.4    |      |
| TOTAL: |       |       |  | 341735  |      |



## DATOS DE DISEÑO

- 1 FLUIDO: Brea y anhídrido maléico.
- 2 CAPACIDAD: 8.34 m<sup>3</sup>.
- 3 PRESION DE OPERACION: 4 kg/cm<sup>2</sup> CHAQUETA: 2 kg/cm<sup>2</sup>.
- 4 TEMPERATURA DE OPERACION: 200 °c.
- 5 PRESION DE DISEÑO: 6.12 kg/cm<sup>2</sup>.
- 6 TEMPERATURA DE DISEÑO: 230 °c.
- 7 PRUEBA HIDROSTATICA: Lleno de agua.
- 8 EFICIENCIA DE LA JUNTA SOLDABLE: 100 %
- 9 RADIOGRAFIADO: 100 %
- 10 ALIVIO DE ESFUERZOS: No.
- 11 CORROSION PERMISIBLE: 1/8" (3.175 mm) en la chaqueta.
- 12 PESO VACIO: 3417.35 kg.
- 13 PESO LLENO DE AGUA: 11,757 kg.
- 14 PESO EN OPERACION: 10,506 kg.
- 15 TIPO DE TAPAS: Torisféricas.

## ESPECIFICACION DE MATERIAL

- 1 CUERPO: Placa de 6 mm. (1/4") ac. inox. a 240 tipo 316.
- 2 PLACA: De 8 mm. ac. al c. SA 285 grado-c.
- 3 TAPAS: Placa 11.1 mm. (3/8") ac. inox. a-240 tipo 316.
- 4 FONDO CHAQUETA: Placa de 8 mm. (5/16") ac. al c. SA - 285 grado-c.
- 5 AISLAMIENTO: Lana mineral.
- 6 BRIDAS: Ac. forjado a 105 II y ac. inox. a-312 TP-316.
- 7 CUELLOS DE BOQUILLAS: Ac. forjado a 105 II y ac. inox. 312 TP 316.
- 8 REFUERZO DE BOQUILLAS: Ac. inox. a-312 TP-316.
- 9 TORNILLOS ESPARRAGOS: 5 a - 193 - b7.
- 10 TUERCAS EXTERIORES: 5 a 194 - 2 h
- 11 FALDON SOPORTE: SA 36.
- 12 ANILLOS DE REFUERZO: Ac. inox. a-240-TP 316. ac. al c. SA 285 grado c.
- 13 EMPAQUES: Asbesto.
- 14 MATERIAL DE SOLDADURA: 5 Fa. 54 e. 3/8 Mo.
- 15 PINTURA: Int-No: Ext. primer rojo anticorrosivo.

### TABLA DE BOQUILLAS

| MCA. | CANT. | DIAM. | PROY. |         |       | BRIDA            |          | CUELLO                       |      | SERVICIO                  |
|------|-------|-------|-------|---------|-------|------------------|----------|------------------------------|------|---------------------------|
|      |       |       | EXT.  | TIPO    | RANCO | MAT.             | SE       | INCL.                        | CED. |                           |
| A    | 1     | 3"    | 152   | trasla. | 150#  | AC.FORL. A 104 D | SE 10    | AC.INCL. A 318 T 2 316       |      | ENTRADA DE PRODUCTO.      |
| B    | 1     | 3"    | 152   | Idem    | 150#  | Idem             | SE 10    | Idem                         |      | SOBREPRESION.             |
| C    | 1     | 8"    | 254   | Idem    | 150#  | Idem             | SE 10    | Idem                         |      | ENTRADA DE AGITADOR.      |
| D    | 1     | 4"    | 152   | Idem    | 150#  | Idem             | SE 10    | Idem                         |      | SALIDA DE PRODUCTO.       |
| E    | 1     | 3"    | 152   | desliz. | 150#  | Idem             | CD 40    | AC.ALC. A 31 A               |      | ENTRADA DE ACEITE A CHAO. |
| F    | 1     | 3"    | 152   | Idem    | 150#  | Idem             | CD 40    | Idem                         |      | SALIDA DE ACEITE A CHAO.  |
| G    | 1     | 1"    | —     | —       | —     | —                | —        | COPL. AC.FORL. 3000# A 103 D |      | INDICADOR DE PRESION.     |
| H    | 1     | 1"    | —     | —       | —     | —                | Idem     | Idem                         |      | INDICADOR DE TEMPERATURA. |
| J    | 1     | 3"    | 152   | trasla. | 150#  | AC.FORL. A 104 D | SE 10    | AC.INCL. A 318 T 2 316       |      | SALIDA DEL PRODUCTO.      |
| K    | 1     | 3"    | 152   | Idem    | 150#  | Idem             | SE CD 10 | Idem                         |      | VALVULA DE ALIVIO.        |
| L    | 1     | 2"    | 152   | Idem    | 150#  | Idem             | SE CD 10 | Idem                         |      | MUESTREO.                 |
| M    | 1     | 20"   | 152   |         |       | PLACA DE FON.    | Idem     | CD 10                        | Idem | ENTRADA HOMBRE.           |
| N    | 1     | 3"    | 152   | desliz. | 150#  | Idem             | CD 40    | AC.ALC. A 31 A               |      | VALVULA DE ALIVIO PLACHAO |

**6. BIBLIOGRAFIA.**

## 6. BIBLIOGRAFIA

- 1.- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS  
A.S.M.E. Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII,  
Rules for Construction of unfired pressure vessels. U.S.A  
(1983), edition.
- 2.- ARIS R.  
Análisis de Reactores, editorial Alhambra , España (1973)
- 3.- AVNER SYDNEY H.  
Introducción a la Metalurgia Física,  
Mc.Graw Hill, México (1974)
- 4.- BEER FERDINAND P, JOHNSTON RUSSELL E.  
Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática,  
Mc.Graw Hill, México (1986), 4a. Edición.
- 5.- BUECHE FREDERICK  
Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería ,  
Tomo I, Mc.Graw Hill, México (1972).
- 6.- BRONNELL, LLOYD E. YOUNG EDWIN  
Process Equipment Design, ed. John Wiley & Sons, Inc  
U.S.A. (1959).
- 7.- CARELL W. VANDER MERRWE.  
Física General, serie Schaum,  
Mc. Graw Hill, México (1969), primera edición.

- 8.- CLAUNSEN, MATTSON  
Fundamentos de Química Industrial  
ed. Limusa, México (1979)
  
- 9.- DISEÑO DE EQUIPO  
CUADERNO DE POSGRADO #9  
Facultad de Química, capítulo 4, "Tecnología de los  
Reactores Químicos", México (1983)
  
- 10.- GAMERTSFELDER, C.  
Gran Enciclopedia del Mundo, tomo 19,  
ed. Marín, España (1969)
  
- 11.- MANUAL SELMEC  
Datos Técnicos, Sociedad Electromecánica S.A.  
México, 3a. Edición.
  
- 12.- MANUAL DE LA COMPAÑIA FUNDIDORA DE FIERRO Y ACERO  
MONTERREY.
  
- 13.- MANUAL DE DISEÑO DE AGITADORES  
Bufete Industrial.
  
- 14.- MANUAL DODGE DE BANDAS  
Edición (1960)
  
- 15.- MARKS, LIONELL S.  
Mechanical Engineers Handbook, Mc.Graw Hill Book  
Company, U.S.A. (1951), fifth edition.

- 16.- Mc.KELVEY JOHN.  
Física para Ciencias e Ingeniería  
ed. Harla, México (1980), primera edición.
- 17.- MEGYESY, EUGENE E.  
Pressure Vessel Handbook.  
Pressure Vessel Handbook Publishing Inc.  
U.S.A. (1975), 3a. edición.
- 18.- POPOV, EGOR P.  
Fundamentos de Mecánica de Sólidos  
ed. Limusa, México (1983), 5a. reimpresión.
- 19.- RUSHTON HESSE  
Process Equipment Design  
D. Van Nostrand Company Inc.  
U.S.A. (1945), 2a. reimpresión.
- 20.- SPOTTS, M.F.  
Design of Machine Elements.  
Prentice Hall, U.S.A. (1978). fifth edition.
- 21.- STREETER- WYLE  
Mecánica de Fluidos.  
Mc.Graw Hill, México (1984), 6a. edición.
- 22.- TARHAM ORHAN M.  
Catalytic Reactor Design.  
Mc.Graw Hill, U.S.A. (1983)

- 23.- ZDEMEC, STERBACEK  
Mixing in Chemical Industry  
Copyright Pergamon Press Ltd. U.S.A. (1965)
- 24.- CASTO, LEO V.  
Practical Tips on Designing Turbine -Mixer Systems,  
Chem. Eng. Jan. 10, 1972.
- 25.- MORTON JERRY R, HICKS W, FENIC J.  
How to Design Agitator for Desired Process Response.  
Chem. Eng. April. 26, 1976.
- 26.- DLOSHUE J.R.  
Mixing Fundamentals and Equipment  
Chem. Eng. June. 13, 1983