

17  
28

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

PLANTEL "ARAGON"

FALLA DE ORIGEN

FABRICACION DE UN REACTOR CON  
CHAQUETA DE MEDIA CAÑA DE  
2,000 GALONES DE CAPACIDAD  
EN ACERO INOXIDABLE.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICO**  
ESPECIALIDAD EN AREA INDUSTRIAL

Presenta:

**RAUL DIAZ HERNANDEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

*Ing. Federique Jauregui Renaud.*

México D.F. 1995.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

FABRICACION  
DE UN  
REACTOR CON  
CHAQUETA DE  
MEDIA CAÑA  
DE 2,000  
GALONES DE  
CAPACIDAD EN  
ACERO  
INOXIDABLE

A mis padres con respeto, cariño y agradecimiento del que son objeto por su apoyo, sacrificio y esfuerzo.

*Sr. Ramón Díaz Azuara y*

*Sra. Dolores Hernández de Díaz*

A mi novia, por tantas y tantas alegrías que me ha dado, y por el amor mutuo que nos profesamos.

*Srita. Miroslava del P. de Diego Parroquín.*

A todos mis hermanos, familiares y amigos por el apoyo mutuo que compartimos y por la confianza que en mí depositaron, y en especial al *Ing. Justino Rendón Pantaleón* por su ayuda desinteresada en la elaboración de este trabajo de tesis.

**A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Plantel Aragón, por darme la oportunidad de aprender tan valiosos conocimientos.**

**A mi director de tesis quien me brindó sus conocimientos, su valioso tiempo y su colaboración en el desarrollo del presente trabajo.**  
*Ing. Federique Jauregui Renaud.*

**Al honorable jurado por su apoyo en la revisión del presente trabajo.**  
*M. en C. Daniel Aldama Avalos.*  
*Ing. Eduardo Rodríguez Flores.*  
*Ing. Miguel Ángel Maldonado Muñoz.*  
*Ing. Benjamín Venegas Torres.*

# C O N T E N I D O

INDICE.

JUSTIFICACION.

INTRODUCCION.

ALCANCE.

1. GENERALIDADES SOBRE REACTORES.
2. SELECCION Y MEMORIA DE CALCULO.
3. FABRICACION.
4. CONCLUSIONES.

ANEXOS.

BIBLIOGRAFIA

# INDICE

	<i>Página</i>
<b>JUSTIFICACION.</b>	7
<b>INTRODUCCION.</b>	9
<b>ALCANCE.</b>	
1.- GENERALIDADES.	12
2.- DEFINICION DE CONCEPTOS.	12
3.- CAMPO DE APLICACION.	14
4.- LIMITACIONES.	14
<b>1. GENERALIDADES SOBRE REACTORES.</b>	
1.1. DEFINICION.	17
1.2. CLASIFICACION.	17
1.3. CARACTERISTICAS.	21
1.4. PARTES COMPONENTES.	21
1.5. MATERIALES DE CONSTRUCCION.	33
1.6. PROCESOS DE FABRICACION DE LOS REACTORES QUIMICOS.	46
1.7. PRUEBAS A REACTORES QUIMICOS.	64
<b>2. SELECCION Y MEMORIA DE CALCULO.</b>	
2.1. TIPO DE REACTOR A FABRICAR DE ACUERDO CON LAS NECESIDADES DEL CLIENTE.	70
2.2 SELECCION DE PARTES Y COMPONENTES DEL RECIPIENTE.	71
2.3. CALCULO DEL TAMAÑO DEL REACTOR.	72
2.4. MEMORIA DE CALCULO.	74
2.5. CALCULO DE ESPESORES DEL RECIPIENTE.	77

2.6. CALCULO DE ESPESORES DE LA CHAQUETA DE MEDIA CAÑA .	80
2.7. CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL SISTEMA DE AGITACION.	82
2.8. CALCULO DE LA HABILITACION DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.	86
2.9. DIBUJOS GENERALES Y DE DETALLE DEL REACTOR QUIMICO.	89
2.10. LISTA DE LOS PRINCIPALES MATERIALES DE CONSTRUCCION.	96
<b>3. FABRICACION.</b>	
3.1. FABRICACION.	99
3.2. FABRICACION DEL RECIPIENTE O TANQUE BASE.	100
3.3. CONSTRUCCION DEL MEDIO CALEFACTOR.	107
3.4. FABRICACION DEL SISTEMA DE AGITACION.	108
3.5. ARMADO GENERAL Y PRUEBAS.	109
3.6. CONTROL DE CALIDAD.	114
3.7. COSTO DE FABRICACION DEL REACTOR.	114
<b>4. CONCLUSIONES.</b>	115
<b>ANEXOS.</b>	
ANEXO A (TABLAS)	123
ANEXO B (GRAFICAS)	127
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	136



## JUSTIFICACION

Debido al avance industrial que se está dando en nuestro país y en el mundo en general, así como a la necesidad de incrementar la productividad en nuestras empresas a fin de reducir costos para ser más competitivos y poder así aliviar la demanda creciente de satisfactores a precios accesibles dentro del mercado nacional e internacional, es de vital importancia desarrollar procesos productivos más eficientes, utilizando equipos de proceso más sofisticados cada día.

Dentro de las industrias de proceso como la química, farmacéutica, de alimentos, de papel, entre otras, encontramos una gran cantidad de equipos, principalmente reactores químicos, los cuales hacen reaccionar compuestos o sustancias químicas que se vierten en su interior para obtener productos o materias primas intermedias, siendo estos los equipos principales dentro del proceso pues realizan las etapas más importantes del mismo, por lo que deben de ser construidos para resistir severas condiciones de operación tales como corrosión, altas temperaturas y presiones.

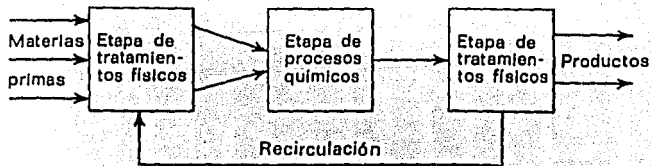
Por ser el reactor el equipo principal dentro de un proceso químico, debe ser fabricado con calidad y un alto grado de confiabilidad, a fin de que su utilización sea óptima, siendo la elección de sus características, el diseño, los materiales de construcción, así como los métodos apropiados para su fabricación, los factores más importantes que deben ser tomados en cuenta para determinar un equipo de cualidades superiores que le permitan cumplir con el cometido para el que fue creado.

**El objetivo de este trabajo de tesis es resaltar los requisitos mínimos que se deben satisfacer en el diseño y principalmente en la fabricación de un reactor químico, tomando como base condiciones reales de operación, y debido a que la fabricación de un tipo de reactor varía algunas veces mucho de otro, nos enfocaremos únicamente a la fabricación de un reactor químico con chaqueta de media caña de 2,000 galones de capacidad en acero inoxidable.**

## INTRODUCCION

Hoy en día, la mayor parte de las industrias de proceso utilizan reactores en sus procesos químicos con el objeto de producir materias primas y/o productos de consumo general, de ahí la importancia que tiene la adecuada selección del tipo de reactor a utilizar, los materiales de construcción, así como el diseño y fabricación del mismo.

Los procesos químico-industriales se proyectan para obtener económicamente un determinado producto a partir de diferentes materias primas, que se someten a diferentes etapas de tratamiento, como se indica en el esquema general de la *Figura 1*. Las materias primas se someten primero a una serie de tratamientos físicos para adecuarlas y que puedan reaccionar químicamente y en forma más eficiente dentro del reactor. Los productos de reacción han de someterse después a nuevos tratamientos físicos (separaciones, purificaciones, etc.) para obtener el producto deseado.



*Esquema general de un proceso químico.*

*Figura 1*

La construcción de un reactor no es cuestión de rutina, por lo que la ingeniería de reactores ha llegado a ser una especialidad en la cual convergen conocimientos que son afines a las diferentes ramas de la ingeniería, debido a ésto, para un mismo proceso pueden proponerse diferentes diseños, dependiendo de las necesidades a satisfacer, del tipo de producto que será obtenido, de las condiciones de operación tales como temperatura y presión, de las necesidades de mezclado, así como de los requerimientos de transferencia de calor. Puesto que todos los procesos químicos giran en torno al reactor, uno de los factores más importantes para determinar la economía global del proceso es el diseño mismo, sin dejar de resaltar la importancia que tiene la inspección y el control de la calidad en su fabricación para reducir a un mínimo los riesgos y fallas en la operación.

En el primer capítulo se da una breve descripción de los reactores químicos, su clasificación y características, así como sus principales partes componentes, los materiales de construcción, los procesos de fabricación, incluyendo los procesos de soldadura que comunmente son empleados y las pruebas a las cuales deben de someterse para su inspección y aprobación. Así también, en éste capítulo se definen los términos más importantes que son utilizados o se encuentran relacionados con el diseño y la fabricación de reactores químicos.

En el segundo capítulo se procede a definir o seleccionar las características del reactor químico a fabricar, tomando en consideración las necesidades del usuario las cuales determinarán el dimensionamiento, los materiales de construcción, así como los procedimientos de soldadura e inspección más adecuados dentro del proceso de fabricación, además se dan las consideraciones generales para efectuar el diseño mecánico de los componentes más importantes y se muestran los cálculos de cada uno de dichos componentes de acuerdo a las normas y códigos establecidos.

En el tercer capítulo se indican los procedimientos que se deben de seguir en la fabricación de los reactores químicos, así como la forma en que deben de fabricarse cada uno de sus elementos, el control de calidad al que deben de sujetarse y las pruebas a las cuales deben de someterse.

Para finalizar, se da una serie de conclusiones en las que se hace incapié de los detalles de mayor importancia, los cuales serán tratados en este trabajo de tesis. Por lo que espero que la información presentada sirva para todas aquellas personas que deseen incursionarse en el diseño y fabricación de los reactores químicos.

# ALCANCE

## 1.- GENERALIDADES.

Este trabajo cubre solamente la teoría sobre reactores sujetos a presión de pared delgada, ya que es la que se aplica en el diseño de reactores cilíndricos verticales. Además de proporcionar la información necesaria para su cálculo, incluyendo tablas, gráficas y figuras, de acuerdo a los datos proporcionados por el usuario, los cuales se muestran en el capítulo dos.

Por otra parte el sistema de unidades utilizado en el presente trabajo es el MKS, debido a que así lo solicita la Secretaría del Trabajo y Previsión Social para la aprobación de la memoria de cálculo en el diseño de recipientes sujetos a presión. Sin embargo algunas de las tablas que se proporcionan están hechas en unidades del Sistema Inglés, debido a que se considera que el lector para el cual pueda ser de utilidad este trabajo no tendrá ningún problema en realizar la conversión de unidades correspondiente.

## 2.- DEFINICION DE CONCEPTOS.

A continuación se definen los términos que se manejarán en el presente trabajo, o están relacionados con la fabricación de reactores químicos:

**Coalescencia:** Significa adherirse uno a otro o adherir a un cuerpo los materiales que se sueldan.

**Eficiencia en la soldada (E):** Es el valor en porcentaje que multiplica al valor del esfuerzo máximo permisible del material utilizado y significa que tanto por ciento de dicho esfuerzo resiste la junta soldada siendo su valor máximo 1 (100%).

**Ensamble de soldadura:** Es un conjunto de partes unidas con soldadura, y puede hacerse apartir de muchas o de pocas partes metálicas.

**Esfuerzo del material (S):** Es el máximo esfuerzo permitido para cualquier material específico que puede ser usado en el diseño del reactor químico.

**Espesor requerido:** Es el calculado mediante las fórmulas establecidas por el Código ASME.

**Espesor mínimo de diseño:** Es el calculado mediante las fórmulas establecidas por el Código ASME más la tolerancia por corrosión.

**Espesor nominal:** Es el espesor seleccionado entre los comercialmente disponibles.

**Fusión:** Es el efecto de fundir simultáneamente el metal de aporte y el metal base, o únicamente este último por lo que resulta la unión de las partes.

**Metal base:** Metal para ser soldado o cortado.

**Metal de aporte:** Metal que va a añadirse en la elaboración de una junta con soldadura, e incluye electrodos y varillas de soldadura.

**Metal de soldadura:** Metal que se ha fundido durante el proceso de soldado.

**Operación de soldar:** Es un proceso de unión de materiales que produce su coalescencia calentandolos a temperatura de soldado, con o sin la aplicación de presión, o por medio de la aplicación de presión solamente y con o sin el uso de material de aporte, el cual se usa en los trabajos de soldadura.

**Penetración en la junta:** Profundidad mínima de una soldadura de ranura cuya longitud se mide desde la cara hacia la interior de la junta.

**Presión de carga hidrostática (Ph):** Es la presión ejercida por la columna de agua dentro del reactor químico.

**Presión de diseño:** Es la presión utilizada en los reactores químicos sujetos a presión, con el fin de determinar el espesor mínimo permisible o las dimensiones sus elementos principales.

**Presión de operación:** Es la presión en la parte superior del recipiente cuando se tiene una presión de trabajo normal. Esta presión no debe de exceder la presión máxima permisible de trabajo.

**Presión hidrostática:** Es la presión a la que se prueba el reactor químico sujeto a presión, así como a sus elementos principales.

**Presión máxima permisible de trabajo:** Es la presión interna a la que está sujeto el elemento más débil del reactor químico sujeto a presión.

**Soldabilidad:** Es la capacidad de los materiales para ser soldados bajo las condiciones impuestas de fabricación, para formar una estructura específica y convenientemente diseñada y para prestar satisfactoriamente el servicio prometido.

**Soldadura:** Es una coalescencia localizada de los metales o de no metales producida ya sea calentando los materiales a temperatura de soldado, aplicando o no presión, o aplicando presión solamente, con o sin uso de metal de aporte.

**Soldadura de filete:** Es la soldadura que tienen sección transversal aproximadamente triangular y que une dos superficies situadas en ángulo recto como en juntas en T, esquina o traslape.

**Soldadura en junta a tope:** Es la soldadura que se deposita en la ranura entre dos elementos situados en el mismo plano y cuyos bordes quedan en contacto. Los bordes pueden ser rectangulares en V, U o J.

**Soldadura por puntos:** Es aquella soldadura que se utiliza para mantener alineados los elementos a unir mientras se soldan definitivamente.

**Temperatura de trabajo:** Es aquella temperatura de operación en condiciones normales de operación del reactor químico.

**Unión:** Es la unión de los miembros o de los filos de los miembros que se van a unir o que han sido unidos.

### **3.- CAMPO DE APLICACION**

El campo de aplicación de los reactores químicos es muy extenso ya que va desde reactores químicos para laboratorios académicos, industriales y laboratorios científicos hasta reactores químicos utilizados en la industria química, farmacéutica, de alimentos, petrolera, petroquímica, etc. Así como cualquier desarrollo que requiera la transformación de sustancias.

### **4.- LIMITACIONES**

Es importante hacer notar que nuestro concepto de diseño estará limitado únicamente al diseño mecánico de la estructura principal del reactor químico vertical, esto es, el recipiente (envolvente o casco y las cabezas), el medio calefactor, el sistema de agitación, tipos de soldadura y juntas de unión que se utilizarán. Por lo anterior queda excluido el diseño de aberturas tales como boquillas, soportes y accesorios.



Por lo que respecta a la fabricación de los reactores cilíndricos verticales sujetos a presión, deben cumplir con diferentes códigos y normas de las asociaciones de ingeniería.

Las especificaciones y códigos que se utilizan con mayor frecuencia y a las cuales nos apegaremos en el presente trabajo, son las preparadas por la American Society for Testing of Materials (ASTM), la American Welding Society (AWS) y la American Society of Mechanical Engineers (ASME).

Por lo que el reactor en estudio será diseñado bajo la última edición del Código ASME Sección VIII División I (adenda 1993), siendo ésta la que determina los requerimientos mínimos de diseño, fabricación, inspección y pruebas, especificando claramente algunas limitaciones como son principalmente:

- a) Los recipientes diseñados y construidos bajo este código no deberán tener elementos principales móviles, ya sea rotatorios o reciprocantes.
- b) La presión mínima a la que deberán diseñarse los recipientes será de 1.05 kg/cm<sup>2</sup> (15 psi).
- c) El diámetro mínimo interior será de 152.4 mm (6 pulg).
- d) La presión máxima de diseño será de 210 kg/cm<sup>2</sup> (3,000 psi).
- e) Los recipientes deberán ser estacionarios.

Por otro lado, nos apegaremos también a la Sección II Parte D (Propiedades de los materiales), la cual expresa los esfuerzos permisibles de los materiales y sus propiedades físicas por medio de tablas, así como gráficas de materiales sujetos a presión externa.

Además como ya se mencionó anteriormente, nuestro estudio estará limitado a los datos proporcionados por el usuario, ya que el campo de reactores químicos es muy amplio.

## **1.- GENERALIDADES SOBRE REACTORES.**

## **1.- GENERALIDADES SOBRE REACTORES.**

### **1.1. DEFINICION**

Un reactor químico es el espacio en el que se efectúa la transformación de sustancias por medio de una reacción química bajo condiciones controladas de presión, temperatura, concentración y volumen.

### **1.2. CLASIFICACION**

Los reactores químicos se han clasificado de una manera general en tres formas, la primera se relaciona con el tipo de operación, la segunda de acuerdo a su presión de operación y la última según su forma y configuración.

La primera clasificación se asocia primordialmente al tipo de operación y divide a los reactores químicos en las siguientes clases:

**Reactor discontinuo.** Este reactor admite todos los reactivos al principio y los procesa según un curso predeterminado de reacción durante el cual no se alimenta ni se extrae ningún material. Por lo común, el reactor tiene la forma de un tanque con o sin agitación, y se usa primordialmente en una producción a pequeña escala. También llamado por lotes o tipo intermitente.

**Reactor continuo.** Los reactivos se introducen y los productos se extraen simultáneamente y en forma continua en los reactores de esta índole. Este puede tener la forma de un tanque, una estructura tubular o una torre.

**Reactor semicontinuo.** A esta categoría pertenecen aquellos reactores que no satisfacen por completo las dos clases antes mencionadas. En uno de los casos los reactivos se cargan al principio, en tanto que los reactantes se dosifican continuamente conforme se desarrolla la reacción.

Una segunda clasificación se establece de acuerdo con su presión de operación donde los tenemos clasificados de la siguiente manera:

**Atmosféricos.** Estos recipientes generalmente abiertos, operan a presiones iguales a  $1.05 \text{ kg/cm}^2$  (15 PSI). Los cuales se emplean para obtener productos de reacciones no muy críticas.

**Sometidos a presión.** Son depósitos cerrados de longitud limitada (en contraste con la longitud indefinida de las tuberías) y están sujetos a presiones por encima de  $1.05 \text{ kg/cm}^2$  (15 PSIG).

Aunado a lo anterior, dentro de los cilindros sometidos a presión<sup>1</sup> se considerará que un cilindro es de pared delgada cuando la razón de su espesor ( $t$ ) entre el diámetro interior ( $D$ ), es menor a 0.05 unidades y de pared gruesa cuando dicha razón es mayor de 0.05 unidades esto es:

$$\begin{aligned} t/D < 0.05 & \text{ Cilindro de pared delgada.} \\ t/D > 0.05 & \text{ Cilindro de pared gruesa.} \end{aligned}$$

Los reactores químicos se han clasificado también de acuerdo con su forma y configuración de la manera siguiente:

**Tanque reactor.** Este es el tipo de reactor de uso más común en la industria química. En la mayoría de los casos, está equipado con algún medio de agitación (por ejemplo, mezclador centrífugo, oscilación o sacudidas) así como de elementos para la transferencia de calor (por ejemplo, intercambiadores de calor de cubierta, externos e internos, chaquetas, etc.). Esta clase admite tanto la operación discontinua (figura 1.2.1.a) como la continua (figura 1.2.1.b) en amplias gamas de temperaturas y presiones.

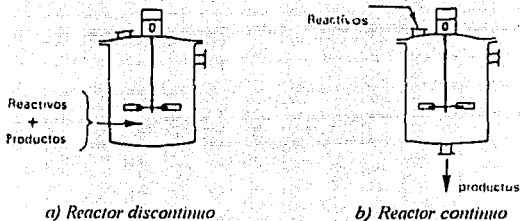
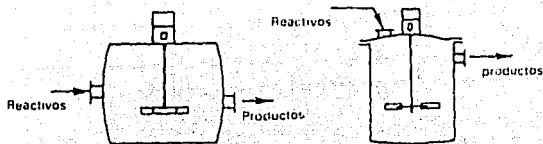


Figura 1.2.1.

Los reactores químicos tipo tanque se encuentran subdivididos de acuerdo a la forma de su estructura, principalmente en dos tipos. Los cilíndricos, que son comúnmente utilizados gracias a su gran facilidad de construcción y los esféricos, los cuales no son empleados debido a su costo de fabricación más elevado.

Dichos reactores químicos cilíndricos se subdividen de acuerdo a su configuración en reactores horizontales y verticales Figura 1.2.2. Los horizontales generalmente soportados por silletas o ángulos laterales, en cambio los verticales están soportados por medio de patas de tubo, ángulos laterales y/o faldones, estos últimos pueden ser rectos o cónicos. Estos recipientes tienen variantes como son el tener uno o más diámetros, así como el tener una o varias secciones (torres).

<sup>1</sup>Resistencia de Materiales de Ferdinand I. Singer y Andrew Pytel, Tercera edición 1982

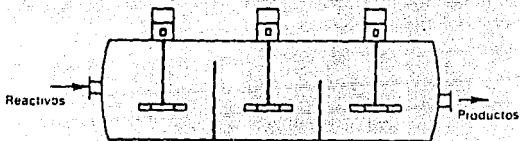


*Reactores horizontales*

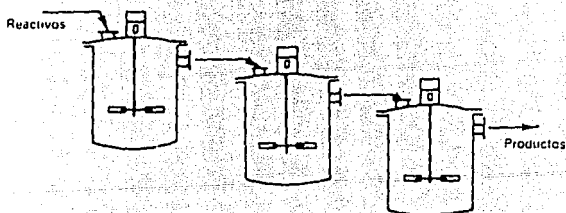
*Reactores verticales*

*Figura 1.2.2.*

El reactor con agitación produce un mezclado casi perfecto. En una operación continua se pueden conectar en serie varios reactores de este tipo (*figura 1.2.3.a*). También existen depósitos de reacción unitarios de funcionamiento continuos, divididos en cierta cantidad de compartimientos, cada uno de los cuales equivale a un tanque con agitación (*figuras 1.2.3.b y 1.2.4*).



*a) Bateria de reactores continuos*

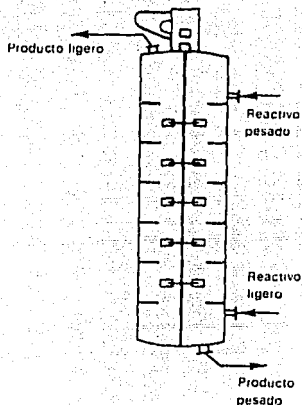


*b) Reactor continuo por etapas tipo horizontal.*

*Figura 1.2.3*

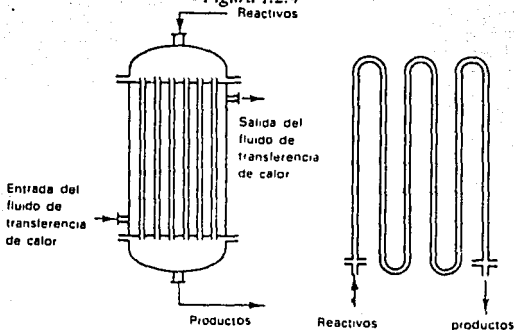
**Reactor tubular.** Este tipo de reactor se construye ya sea de un solo tubo continuo (*figura 1.2.5.b*) o varios tubos en paralelo (*figura 1.2.5.a*). Los reactivos penetran por

un extremo del reactor y el producto sale por el otro, con una variación continua en la composición de la mezcla de reacción entre estos dos puntos. La transferencia de calor hacia el reactor o desde éste, se logra por medio de una camisa o un diseño de tubos y carcasa (figura 1.2.5.a).



Reactor continuo por etapas tipo vertical.

Figura 1.2.4



a) Reactor multitubular.

b) Reactor tubular de serpiente simple.

Figura 1.2.5.

**Reactor en torre.** Esta clase de reactor se caracteriza por su estructura cilíndrica vertical, ya que tiene una relación entre la altura y el diámetro mayor a 1.5. Se utiliza para procesos continuos de reacciones heterogéneas.

### 1.3. CARACTERISTICAS

Una de las características de los reactores son los grandes espesores de pared con que son contruidos, debido a las altas temperaturas y presiones que se presentan durante su operación.

Los reactores cilíndricos con cabezas moldeadas son empleados cuando la presión interior a que está sujeto el recipiente, es mayor a la presión atmosférica y su disposición puede ser vertical u horizontal.

### 1.4 PARTES COMPONENTES.

Las principales partes componentes de un reactor cilindrico vertical más comunes son: el recipiente, el medio calefactor y el sistema de agitación, los cuales se ilustran en la *figura 1.4.1.* y se describen a continuación:

#### 1.4.1 Recipiente.

El recipiente es considerado como la parte principal de un reactor y este está constituido por una envolvente y dos cabezas soldadas a sus extremos. a continuación explicaremos cada una de ellas.

##### 1.4.1.1 Envolvente cuerpo.

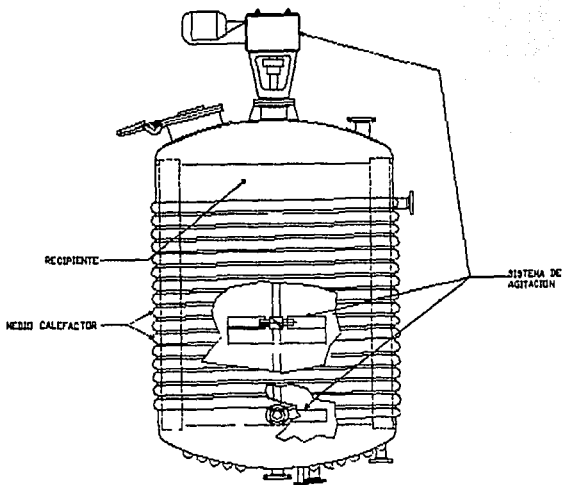
La envolvente de un reactor comunmente es cilíndrica y frecuentemente se encuentra sometida a presiones internas y externas, las cuales crean tres esfuerzos principales mutuamente perpendiculares en el material del cilindro que son: el esfuerzo circunferencial, el esfuerzo radial y el esfuerzo longitudinal.

Los esfuerzos circunferencial y longitudinal son constantes en las paredes del cilindro y la magnitud del esfuerzo radial que se crea es tan pequeña en comparación con la magnitud de los esfuerzos circunferencial y longitudinal que puede ser despreciada.

La presión uniforme interna o externa, introduce en la costura longitudinal un esfuerzo unitario igual al doble del que obra en la costura circunferencial, por la geometría misma del cilindro.

### 1.4.1.2 Tapas o Cabezas

Las tapas o cabezas se emplean para cerrar los recipientes cilíndricos, éstas son soldadas en la parte superior e inferior de la envolvente. Existe una gran variedad de ellas, siendo el tipo abombado la más utilizada para recipientes a presión. Actualmente se cuenta con varias clases de cabezas abombadas o tapas prefabricadas, las cuales son elaboradas a partir de una placa circular plana. Las cabezas que generalmente son aprobadas por el código ASME son las semiesféricas, semielípticas (2:1) y cabezas torisféricas las cuales se describen a continuación:



*Principales partes componentes de un reactor.*

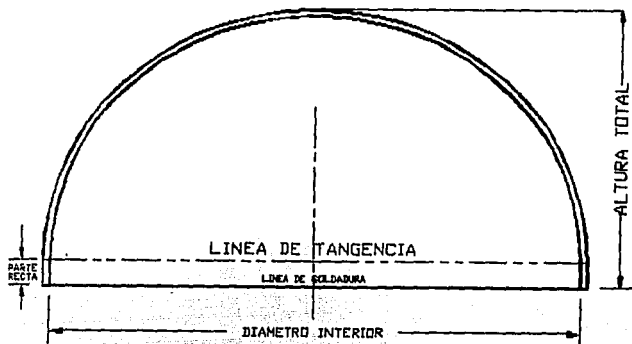
*Figura 1.4.1.*

**Cabezas Planas.** Generalmente empleadas para reactores sujetos a presión atmosférica como tapa superior. Se utilizan también como fondos para reactores de grandes dimensiones.

Este tipo de cabezas pueden o no ser reforzadas; comunmente las cabezas superiores que soportarán algún sistema de mezclado son provistas de viguetas o canales con el fin de resistir el peso de este último.

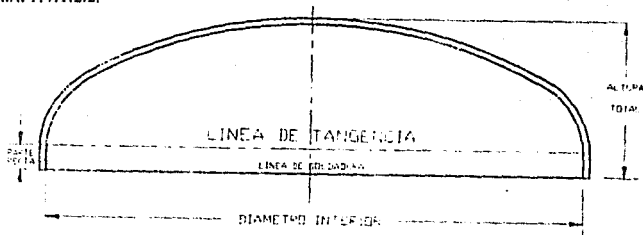


**Cabezas Semiesféricas.** Como su nombre lo indica su silueta describe una media circunferencia perfecta, teniendo una relación de ejes igual a uno, debido a que su configuración puede resistir aproximadamente dos veces la presión de una cabeza semielíptica del mismo espesor. Son utilizadas exclusivamente para soportar presiones internas críticas a altas temperaturas con espesores mayores de 51 mm (2"). Su costo es alto debido a que su fabricación es a base de gajos trapezoidales y un centro circular. No hay límite dimensional *Figura 1.4.1.2.1.*



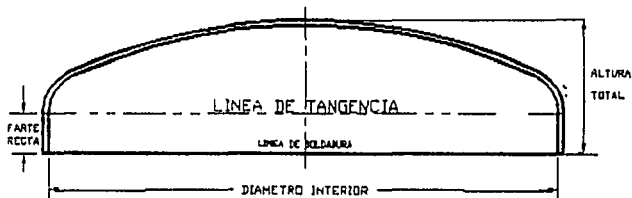
*Figura 1.4.1.2.1. Cabeza Semiesférica*

**Cabezas Semi-elípticas (2:1).** Este tipo de cabezas soportan presiones de diseño mayores que las toriesféricas, por lo que son utilizadas en recipientes que van a operar con presiones relativamente altas (arriba de 10 Kg/cm<sup>2</sup>) y espesores mayores de 25 mm (1"), el proceso de fabricación es por golpe o embutido y las más comunes son las que basan sus dimensiones a una elipse que tiene relación de su eje mayor al menor de 2:1. *Figura 1.4.1.2.2.*



*Figura 1.4.1.2.2 Cabeza Semi-elíptica.*

**Cabezas Toriesféricas.** Son empleadas cuando se tienen bajas presiones de diseño (menores a  $10 \text{ Kg/cm}^2$ ) y espesores hasta de  $25 \text{ mm}$  ( $1''$ ), por lo que su costo es bajo, su característica principal es que el radio de abombado es aproximadamente igual al diámetro del recipiente, al igual que las cabezas semiesféricas el proceso de fabricación es por golpes o el embutido. *Figura 1.4.1.2.3.*



*Figura 1.4.1.2.3. Cabeza toriesférica.*

#### 1.4.2 Medios calefactores.

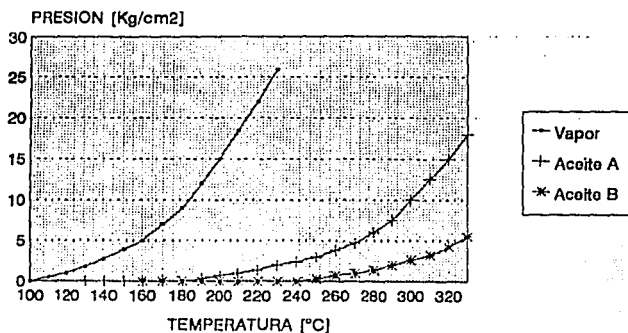
La transferencia de calor en reactores ó en recipientes de proceso es comúnmente llevada acabo mediante el uso de chaquetas externas, los tres tipos básicos son la chaqueta convencional, la de hoyuelos y la de media caña.

Existen otros métodos disponibles de tranferencia de calor en reactores y/o recipientes pero estos son relativamente raros y poco usuales. De entre muchos de ellos podemos mencionar los serpentines internos, bayonetas calentadoras eléctricamente, con vapor o aceite caliente, mantos o mantillos eléctricos externos, circulación externa através de intercambiadores de coraza y tubo, chaquetas repletas de tubos y muchos otros.

La transferencia de calor através de las chaquetas involucra, por supuesto, no sólo el calentamiento del contenido del recipiente sino también el enfriamiento. El calentamiento en la chaqueta puede ser logrado usando agua caliente, vapor, aceite caliente, etc. El enfriamiento es usualmente logrado con freón, amoniaco, tetracloruro de carbono, nitrógeno, agua a temperatura ambiente, agua enfriada, glicol, etc. Estos tres tipos de chaquetas pueden ser usadas con cualquiera de esos medios de calentamiento o enfriamiento.

Una gráfica simplificada de presión contra temperatura de los tres medios más comunes de calentamiento que indica el rango práctico de cada uno es la mostrada en la figura 1.4.2. El vapor es el medio más usado de calentamiento, muestra un muy rápido incremento en la presión de saturación a temperaturas por encima de los 150 °C. Esto podría determinar paredes pesadas de los recipientes para resistir esta presión ó un tipo de construcción reforzada, con costillas o cinturones. El uso de aceites de calentamiento especialmente formulados permiten el logro de transferencia de calor en líquidos de altas temperaturas en las chaquetas a bajas presiones reduciendo así la necesidad de excesivos espesores de pared.

## MEDIOS DE CALENTAMIENTO



Gráfica simplificada de presión contra temperatura de medios de calentamiento  
Figura 1.4.2.

**Chaqueta convencional.** La chaqueta convencional es ampliamente usada, debido a que puede ser dividida para diferentes proporciones de transferencia de calor a distintos niveles del producto. Las boquillas de entrada y salida tangencial pueden ser empleadas para incrementar la velocidad del medio de calentamiento dentro de la chaqueta. A la entrada de los líquidos puede hacerse una restricción al flujo por medio de una tobera para incrementar la velocidad de entrada y crear una mayor turbulencia que permita una transferencia de calor más eficiente.

Es el tipo de chaqueta más económica para reactores con capacidades grandes y con presiones por arriba de 7 kg/cm<sup>2</sup> cuando la presión interna del tanque no sobre pasa 4 kg/cm<sup>2</sup>. Las chaquetas convencionales son casi siempre fabricadas en acero al carbón,

sin embargo puede encontrarse una severa corrosión cuando se alterna calentamiento y enfriamiento con vapor y agua.

La chaqueta convencional tiene un gran número de desventajas. La velocidad media en la chaqueta y la turbulencia es generalmente más baja que en otros tipos de chaquetas de ahí que la transferencia de calor tiende a ser baja. El volúmen relativamente grande de la chaqueta requiere una gran inversión de refrigerantes, cuando éstos son usados como medio de enfriamiento. El gran volúmen de la chaqueta también provoca una respuesta no muy rápida al cambio de la temperatura. La principal limitación, sin embargo, es la necesidad de un grueso espesor de pared cuando se requiere el uso de altas presiones internas y en la chaqueta. Esto afecta, particularmente la pared interior del recipiente la cual está sujeta a un colapso de presión exterior si se rebasa la presión de diseño. Esto se convierte en algo mucho más serio, como el incrementar el diámetro del recipiente.

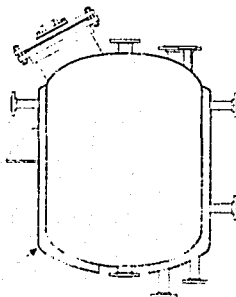


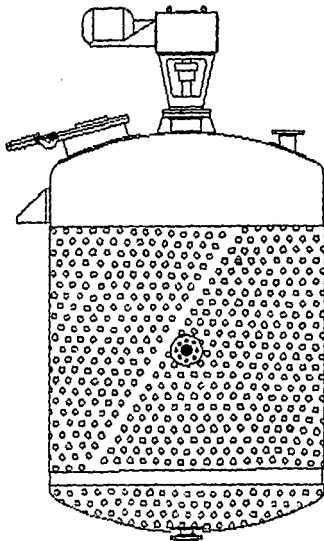
Figura 1.4.2.1 Chaqueta convencional.

**Chaqueta de hoyuelos.** La chaqueta de hoyuelos, comercialmente desarrollada alrededor de 1940 por la compañía Pfaudler en Rochester Nueva York., ha encontrado una amplia aceptación en la industria y es ahora fabricada por varias manufactureras de recipientes. <sup>2</sup>Está aprobada por el código ASME y puede operar máximo a 21 kg/cm<sup>2</sup> de presión y a una temperatura de 300 °C.

Las chaquetas de hoyuelos pueden ser consideradas una construcción de cerrado permanente, pues la pared interior del recipiente y la coraza de la chaqueta son soldadas juntas con intervalos de 3 1/2" en arreglo triangular.

<sup>2</sup> Las chaquetas de hoyuelos son calculadas de acuerdo a las reglas de los párrafos UW-19, UG-47 y UG-101 del Código ASME.

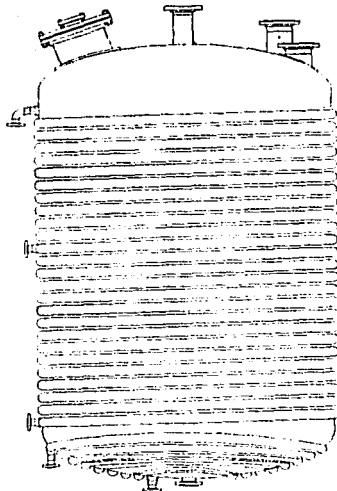
El soldado permanente de la chaqueta de hoyuelos refuerza tanto la pared del recipiente como la de la chaqueta y permite reducciones substanciales en el espesor de cada una. Esto es de gran importancia cuando se emplean aleaciones costosas. Las ventajas de reducir el espesor de la pared mediante el uso de la chaqueta de hoyuelos aplica sin tener en cuenta el diámetro del recipiente. *Figura 1.4.2.2.*



*Figura 1.4.2.2 Chaqueta de hoyuelos.*

Mientras que las chaquetas de hoyuelos son las más versátiles y frecuentemente las más económicas, debe reconocerse que hay condiciones de procesos donde poco o ningún beneficio en la transferencia de calor es logrado mediante una pared de recipiente más delgada.

**Chaqueta de media caña.** La funcionalidad de las chaquetas de media caña es semejante, en muchos casos, a la de la chaqueta de hoyuelos. Además de ser calculadas por el código ASME, pueden ser calificadas mediante pruebas aprobatorias. *Figura 1.4.2.3.*



## MEDIA CAÑA

*Figura 1.4.2.3 Chaqueta de media caña.*

Las chaquetas de media caña contribuyen al fortalecimiento de la pared interior del recipiente como lo hacen las de hoyuelos y así permiten una reducción en el espesor de la pared, resultando un material económico y con transferencia de calor mejorada.

Las chaquetas de media caña pueden fabricarse para presiones mayores de  $21 \text{ kg/cm}^2$ , la cual es una limitación de la chaqueta de hoyuelos. En algunos casos pueden resultar menos costosas que las chaquetas de hoyuelos pues las de media caña de acero al carbón pueden ser usadas a temperaturas arriba de  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , considerando que una elevada aleación es casi invariablemente usada en la chaqueta de hoyuelos en la industria química.

A causa de las dificultades de formado y soldado de las chaquetas de hoyuelos y las de media caña para recipientes de diámetro pequeño, son raramente aplicadas a recipientes cuyas capacidades son muy pequeñas. Además, la economía que puede ser lograda mediante la reducción del espesor de la pared en un recipiente de diámetro pequeño es relativamente pequeña.

### 1.4.3 Sistema de agitación.

El mezclado por buenas razones es denominado la operación universal<sup>3</sup>; ya que es difícil de concebir un proceso químico u operación química que no involucre alguna forma de mezclado. En comparación con operaciones tales como destilación o transferencia de calor, para mucha gente el mezclado continua siendo considerado un arte o cualquier cosa menos ciencia.

En los sistemas de agitación, no ha sido establecido un procedimiento para la especificación y diseño de los mismos, las principales razones incluyen el amplio rango de aplicaciones para los cuales el agitador es utilizado, la falta de normación de criterios y la relativa complejidad de las muchas aplicaciones de agitación en los procesos químicos industriales.

El mezclado es definido como el entremezclado de dos o más porciones de sustancias distintas, resultante en el logro de un nivel deseado de uniformidad, tanto física como química en el producto final. La agitación es la creación de un estado de actividad tal como flujo o turbulencia, y es a parte de cualquier mezclado realizado. El mezclado, por supuesto, puede involucrar la combinación de diferentes materiales, o puede ser usado para promover las reacciones físicas o químicas tales como la disolución, la transferencia de calor, absorción, etc. Y también puede ser usado para cambiar las relaciones entre fase como en la emulsificación o dispersión de gases. Por lo que un sistema de agitación en un reactor involucra tanto al mezclado como la agitación de los reactivos dependiendo de los resultados que se deseen obtener.

Todas las aplicaciones de agitación pueden estar divididas en ciertas clasificaciones básicas como se muestra en la *tabla 1.4.3*. Esta clasificación, puede utilizarse para definir problemas de agitación. La información requerida para obtener resultados satisfactorios en procesos de agitación es:

- 1.- Una definición exacta del trabajo a desarrollar.
- 2.- Datos y propiedades físicas de los líquidos (tales como densidad, viscosidad, calor específico y conductividad térmica) que se aplicarán.
- 3.- Materiales de construcción
- 4.- Características eléctricas en el sitio de mezclado.

PROCESO QUIMICO	CLASES DE APLICACION	PROCESO QUIMICO
Suspensión	Líquido - Sólido	Disolución
Dispersiones	Líquido - Gas	Absorción
Emulsiones	Líquido - Líquido	Extracción
Mezclado	Líquido - Miscibles	Reacciones
Bombeo	Movimiento de Fluido	Transferencia de calor

*Tabla 1.4.3. Procesos de Mezclado*

<sup>3</sup> Chemical Engineering, McGraw-Hill, Inc. New York.

La magnitud del problema de agitación está en función de cuanto material será agitado, la dificultad de ser agitado y la intensidad o grado de agitación requerida. Las variables que son usadas para definir el grado de dificultad de la agitación son: la viscosidad, la densidad o peso específico

La viscosidad es el factor más importante que debe de ser considerado en el problema de mezclado. Esta propiedad de los fluidos fué definida por Newton como la medida de la tendencia de un fluido a resistirse al movimiento que produce un esfuerzo cortante interno. Un fluido corre cuando una fuerza actua sobre él y el grado de la fuerza cortante es directamente proporcional al esfuerzo cortante. En la práctica, muchos líquidos no tienen propiedades Newtonianas.

Por otro lado la densidad es la relación entre el peso de un cuerpo y el de igual volumen de agua.

Todo proceso de mezclado y funcionamiento óptimo del agitador implica la interrelación de tres factores conocidos: el impulsor, el fluido y el tanque (incluyendo los deflectores o baffles). En la figura 1.4.3.1.1 se muestran las partes de un sistema de agitación.

#### 1.4.3.1. Impulsor.

El impulsor se utiliza para mover el fluido y los resultados de agitación dependen de este movimiento, debido a que un largo y lento movimiento del impulsor, producirá un flujo mayor y un esfuerzo cortante también mayor. Un impulsor pequeño a una alta velocidad también producirá un volumen más bajo de flujo, pero una relación más alta de esfuerzo cortante.

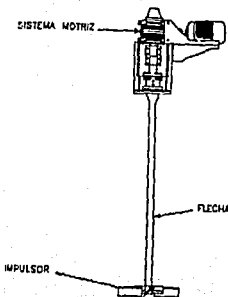


Figura 1.4.3.1.1 Partes de un sistemas de agitación



Los impulsores se pueden dividir en dos clasificaciones generales: flujo axial y radial, dependiendo de su forma, posición y características del tanque. El patrón de flujo típico se muestra en las *figuras 1.4.3.1.2(a), 1.4.3.1.2(b) y 1.4.3.1.2(c)*. Sin embargo, cualquier tipo de impulsor producirá flujo rotatorio si los deflectores o equivalentes no son colocados.

El impulsor de flujo axial de la *figura 1.4.3.1.2(a)*, puede generar sus características de flujo teniendo paletas inclinadas o deflectores en o cerca de la pared del tanque. Si no existen los deflectores, el patrón de flujo sería laminar (rotatorio) como se ilustra en la *figura 1.4.3.1.2(b)*, la hélice de la *figura 1.4.3.1.2(b)*, se muestra operando sin deflectores y produciendo un flujo laminar y un vórtice. Cuando la hélice o bien el impulsor de flujo axial opera sin deflectores o líquidos de alta viscosidad el patrón de flujo axial es como se muestra en la *figura 1.4.3.1.2(a)*. La turbina de la *figura 1.4.3.1.2(c)*, produce un flujo radial (es para la aplicación de contacto líquido-gas), y esto es causado por el disco en el que las paletas están montadas. El disco induce al gas más hacia la orilla del impulsor que hacia arriba al centro de la flecha (de donde podría escapar con el mínimo de contacto). Esta propiedad de inducir la succión hacia el eje central y presionar hacia el extremo de la paleta tiene muchas otras aplicaciones útiles. Sin tomar en cuenta el diseño seleccionado es esencial que los impulsores combinen su construcción mecánica con la habilidad de realizar los resultados de proceso deseados.

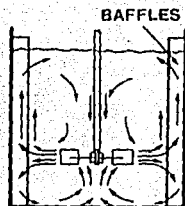
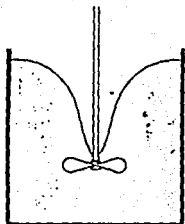
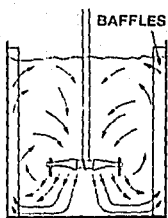
#### **1.4.3.2. Deflectores.**

Los tanque con los deflectores adecuados tendrán las siguientes características, de flujo:

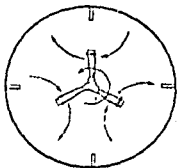
- 1.- Recirculación de arriba hacia abajo sin vórtice, produciendo un mezclado completo a través de todo el recipiente.
- 2.- Eliminación de un vórtice que introduce aire al fluido y limita la potencia que puede ser aplicada.
- 3.- Condiciones que hacen posible asegurar y predecir, una escalación exacta.

En la mayoría de las aplicaciones de agitación, el patrón de flujo con deflectores es recomendable. Sin embargo, existen ciertas aplicaciones cuando el patrón de flujo sin deflectores puede ser ventajoso los ejemplos típicos son cuando tienen que incorporarse polvos de la superficie del líquido y cuando el gas tiene que incorporarse en la superficie. Los patrones de flujo sin deflectores a un alto nivel de potencia son frecuentemente inestables y causan problemas de vórtice y vibración.

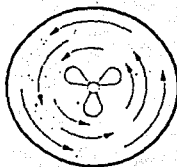
Un patrón de flujo con deflectores puede producirse, en diversas formas. En un tanque cilíndrico vertical el método más común es montando los deflectores equiespaciados alrededor del tanque, como se muestra en la *figura 1.4.3.2.1*. Pueden usarse desde 2, 4, 6 u 8 deflectores, siempre y cuando tengan el ancho apropiado para obtener el patrón de flujo deseado.



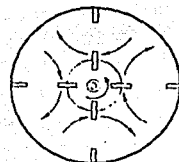
*Vistas laterales*



(a)



(b)

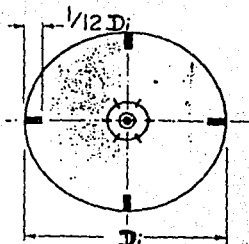


(c)

*Vistas inferiores*

*Figura 1.4.3.1.2*

El ancho del deflector es crítico cuando se trata de fluidos No-Newtonianos.



*Figura 1.4.3.2.1 Deflectores equiespaciados.*

En un tanque rectangular la misma forma provee la acción del deflector a niveles de baja potencia o cuando el largo del tanque, es la mitad de veces del ancho, es posible redistribuir los deflectores y aún obtener el patrón de flujo deseado. Cuando se usan deflectores en un tanque cuadrado, el patrón de flujo deseado, se obtiene generalmente a niveles de potencia bajos, con dos deflectores colocados en el punto medio en los lados opuestos, o a niveles de alta potencia con cuatro deflectores. Para tanques rectangulares las orillas pueden actuar como deflectores parciales y el uso de dos deflectores como se muestra en la *figura 1.4.3.2.1*, es el más común.

## 1.5 MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Existen una gran variedad de materiales con los cuales se pueden construir los reactores y de los cuales gran parte de ellos distan mucho de ser ordinarios por lo cual se deben conocer las características propias de cada uno de ellos tanto mecánicas, físicas y químicas, así como sus propiedades de soldabilidad; con el fin de saber lo que podemos y no podemos hacer con ellos, como y como no usarlos y de que manera construir exitosamente un reactor.

Los materiales están debidamente clasificados para ayudar a determinar la mejor opción, por ejemplo, los metales exóticos incluyendo titanio, circonio, tantalio y niobio o colombio son bien aceptados en el extranjero para la construcción de reactores, ofreciendo una excelente resistencia a la corrosión y buena conductividad térmica. Estos materiales protegen contra muchos agentes corrosivos mediante la formación de una capa protectora de óxido que se adhiere fuertemente a la superficie. El titanio es único, puede manejar cloruros y compuestos clorados en soluciones acuosas. El tantalio tiene un excepcional amplio rango de resistencia a la oxidación. El circonio es muy resistente al ácido clorhídrico, nítrico y sulfúrico como también a la sosa cáustica y a la mayoría de las sales. Las aleaciones de alto níquel tienen un contenido de níquel de por lo menos 30%, la mayoría son formulaciones patentadas con nombres registrados como: Monel, Inconel, Hastelloys, entre otros, estos materiales exhiben una selectiva resistencia a la corrosión, dependiendo de la formulación, así que cada uno debe ser usado para dar servicio en base a lo que resiste y además a la cantidad de recursos monetarios con que se cuenta.

Los metales exóticos y reactivos, resultan excesivamente caros en sólidos y aún en formas clad (placa de metal constituida mediante la soldadura de enlace de una capa delgada de metal exótico o de acero inoxidable, para el lado que queda hacia dentro del recipiente, y de acero convencional, frecuentemente acero al carbón), en comparación con los aceros inoxidables.

Otra clase de reactores son aquellos que se encuentran recubiertos por su interior por una gruesa capa de vidrio, compuestos de cerámica o fluoropolímeros. Los reactores recubiertos de diversas formulaciones de vidrio patentadas (estas pueden ser formuladas para modificar características propias del vidrio como mecánicas, térmicas o de color).

fundidas a altas temperaturas para uno de varios aceros posibles de vidriar resultan ser muy costosas, ya que tienen un amplio rango de resistencia a la corrosión de soluciones ácidas de cualquier familia de materiales. La línea de reactores vidriados protegen la pureza, color y el sabor de cualquier producto, además presentan una resistencia a la adherencia por sustancias adhesivas y son fáciles de limpiar. Una extensión de las formulaciones de vidrio es la Nucerite, compuesto de vidrio-cerámica. Este compuesto similar al vidrio-metal, es una cubierta de vidrio-cerámica sobre el metal y está diseñado para proveer todos los beneficios del metal de acero vidriado pero además brinda una mayor resistencia al impacto, es comunmente empleado en impulsores, bafles, accesorios y otras partes internas sujetas a daño mecánico.

Avances recientes han dado como resultado el desarrollo y uso de una familia de reactores recubiertos de una variedad bien definida de materiales fluoropolimeros que incluyen PTFE, FEP, PFA, PVDF y el PTFE con respaldo de vidrio. Los fluoropolimeros son materiales bien aceptados para reactores, partes internas de los mismos, accesorios entre otras aplicaciones.

Las características que hacen la clave de la funcionalidad del material fluoropolimero está en un amplio rango de resistencia a la corrosión química, bajo coeficiente de fricción, es un material dieléctrico, con baja conductividad térmica y de fácil aplicación. Existen materiales fluoropolimeros que pueden ser fabricados como cuerpos monolíticos (un solo componente), pero ahora están siendo combinados con otros materiales, uno de ellos la fibra de vidrio. Un nuevo respaldo de PTFE/FRP laminado ha sido desarrollado para reforzar la consistencia del PTFE, capaz de resistir vacío y un mezclado violento. La elevada constante dieléctrica de éste laminado no conductor, hace que sea el material ideal para reactores que se utilizarán en procesos electrolíticos. Tiene una baja permeabilidad lo que ocasiona que las sustancias químicas muy corrosivas penetren al paso del tiempo por las paredes hacia el tanque base y provoca la corrosión del mismo. Este tipo de recubrimientos como ya se mencionó, tiene baja conductividad térmica por lo que su uso es limitado dados los requerimientos de transferencia de calor que se requieren en la mayor parte de los procesos.

El Código ASME reglamenta los materiales a utilizar, tomando las especificaciones ASTM, así como los métodos y pruebas para dichos materiales, mediante un acuerdo con ASTM y además antepone la letra "S" a todas las especificaciones ASTM y lo mismo hace para los materiales de soldadura de la AWS.

El Código ASME, además de proporcionar una lista de todos los materiales que pueden emplearse para el diseño y fabricación de reactores sujetos a presión no sometidos a fuego directo, también agrega el valor de los esfuerzos máximos permisibles a distintas temperaturas. Como se muestra en el Anexo A

Como ya se mencionó existen una gran variedad de materiales de construcción para los reactores químicos, por lo que a continuación comentaremos en forma general los materiales más comunmente empleados en la fabricación de los mismos.

### 1.5.1 Aceros

Se denomina acero a toda aleación de hierro y carbono con un contenido de 0.025 a 2%, generalmente contienen además pequeñas cantidades de manganeso, silicio, fósforo y azufre (No mayores del 2%).

Los aceros se dividen en los siguientes grupos: aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidables y aceros resistentes a altas temperaturas. Esto es según su uso, ya que también pueden ser clasificados de acuerdo al método de manufactura o según su composición química. A continuación veremos cada uno de los grupos de aceros:

#### 1.5.1.1 Aceros al carbono

Son aquellos en los que no se especifica su contenido mínimo o requerido de: aluminio, boro, cromo, cobalto, colombio, molibdeno, níquel, titanio, tungsteno, vanadio o cualquier otro elemento que se combine para obtener una característica deseada.

Se define también como aquel material ferroso en el que solo el carbón afecta de manera importante su comportamiento físico, químico y fisicoquímico, es decir no contienen ningún elemento de aleación, pues todos provienen del proceso de obtención. De acuerdo a la calidad del material, también existen otros elementos que están implícitos en la composición de este tipo de aceros que son los siguientes: Manganeso en un rango de 0.03 a 0.06%, es recomendable que su cantidad sea de 2 a 8 veces mayor a la del azufre (su función principal es contrarrestar los efectos nocivos del azufre, aumenta la dureza, tenacidad y se emplea como desoxidante), el fósforo el cual se debe de mantener por debajo de 0.04% puesto que en mayor proporción reduce la ductibilidad, lo cual aumenta la probabilidad de agrietarse cuando este se trabaja en frío y evita efectuar un buen tratamiento térmico en el acero; el azufre que generalmente se encuentra por debajo del 0.05%, provoca fragilidad en frío y en caliente. Este último elemento es considerado como impureza dentro de los aceros al igual que el fósforo por lo cual se consideran nocivos.

Dentro de las principales propiedades físicas de los aceros al carbono tenemos la dureza, la resistencia a la fatiga y la soldabilidad. Estas propiedades se ven afectadas por la presencia del fósforo y de azufre.

En la *tabla 1.5.1.1.1* se muestran algunos ejemplos de los materiales más utilizados en la fabricación de reactores, su utilización y su forma de suministro. Y en la *tabla 1.5.1.1.2*, se muestran las propiedades mecánicas de los materiales.

**\*MATERIALES MAS COMUNES EN LA FABRICACION DE RECIPIENTES EN ACERO AL CARBONO Y DE BAJO CONTENIDO DE ELEMENTOS DE ALEACION.**

FORMA	COMPOSICION NOMINAL	ESPECIFICACION		APLICACION
		NUMERO	GRADO	
PLACA	C	SA-283	C	Calidad estructural. Para recipientes a presión puede usarse limitado; ver nota 1
	C	SA-285	C	Calderas para servicio estacionario y - otros recipientes a presión
	C-Si	SA-515	55	Principalmente para servicio a temperaturas media y alta
	C-Si	SA-515	60	- " -
	C-Si	SA-515	65	- " -
	C-Si	SA-515	70	- " -
	C-Si	SA-516	55	Para servicio a temperaturas moderada - y baja
	C-Si	SA-516	60	- " -
	C-Mn-Si	SA-516	65	- " -
	C-Mn-Si	SA-516	70	- " -
BRIDAS Y ACCESORIOS	C-Mn-Si	SA-105		Para servicio a alta temperatura
	C-Si	SA-181	I	Para servicio general
	C-Mn	SA-350	LF1	Para servicio a baja temperatura
	C-Mn-Si	SA-350	LF2	- " -
TUBERIA	C-Mn	SA-53	B	Para servicio general
	C-Mn	SA-106	B	Para servicio a alta temperatura

*Tabla 1.5.1.1.1.*

**NOTAS:**

1.- La placa SA-283 ABCD puede usarse para partes a presión en recipientes sujetos a presión siempre que cumplan todos los requisitos siguientes:

- a).- Que los recipientes no se usen para contener sustancias letales, sean líquidas o gaseosas.
- b).- Que el material no se utilice en la construcción de calderas de vapor sin fuego directo.
- c).- Que la temperatura de aplicación del material este comprendidas entre -28°C y 345°C.

2.- Para temperaturas de servicio superiores a 455°C se recomienda usar aceros muertos que contengan no menos de 0.10% de silicio residual. Los aceros muertos que han sido desoxidados con grandes cantidades de aluminio y los aceros rebordeados pueden tener propiedades de escurrimiento plástico y ruptura por esfuerzo en el intervalo de temperatura superior a los 455°C, un poco inferiores a las que se han tomado como base para los valores de la tabla.

<sup>1</sup>Pressure Vessel Handbook. Eugene F. Publishing inc. Megyesy.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES MAS COMUNES DE ACERO AL CARBONO Y DE BAJO CONTENIDO DE ELEMENTOS DE ALEACION.

FORMA	ESPECIFIC.		ESFUERZO	ESFUERZO	VER NOTAS
	NUMERO	GRADO	CEBENCIA 1,000 psi.	ULTIMO 1,000 psi.	
PLACA	SA-283	C	55.0	30.0	1
	SA-285	C	55.0	30.0	2,6
	SA-515	55	55.0	30.0	3
	SA-515	60	60.0	32.0	3
	SA-515	65	65.0	35.0	3
	SA-515	70	70.0	38.0	3
	SA-516	55	55.0	30.0	3,8
	SA-516	60	60.0	32.0	3,8
	SA-516	65	65.0	35.0	3,8
	SA-516	70	70.0	38.0	3,8
BRIDAS Y ACCESORIOS	SA-105		70.0	36.0	2,3
	SA-181	I	60.0	30.0	2,3
TUBERIA.	SA-350	LF1 LF2	60.0 70.0	30.0 36.0	-
	SA-53	B	60.0	35.0	2,3,4,7
	SA-106	B	60.0	35.0	3
TORNILLO.	SA-193	B7	125.0	105.0	DIAM $\geq 2\frac{1}{2}$ in and $\leq 4$ in
	SA-194	2H	55.0	-	-
	SA-307	B	55.0	-	5

Tabla 1.5.1.1.2.

NOTAS (Continuación).

3.- Por exposición prolongada a temperaturas superiores aproximadas a 426°C, la fase de carburo del acero puede convertirse en grafito.

4.- Arriba de 455°C se utilizará solo acero muerto.

5.- No se permite arriba de 232°C, valor de esfuerzo permitido de 470 kg/cm<sup>2</sup>

6.- No se usará el material en espesores mayores de 50.8mm.

7.- Para tubo soldado los valores máximos de esfuerzo permitido son 15% menores. No se tolerará ningún incremento en estos valores de esfuerzo por haberse efectuado radiografía

8.- Los valores de esfuerzo a usar para temperaturas inferiores a -28°C cuando los aceros cumplan con el suplemento (5)SA-20, serán los que se dan en la columna de -28°C a 345°C.

### 1.5.1.2 Aceros aleados

Se definen como aquellos cuyas propiedades y características se deben a la unión de uno a varios elementos diferentes al carbono o también como aquellos aceros que contienen además de carbono e impurezas, elementos de aleación como el níquel, cromo, molibdeno, vanadio, tungsteno, etc.

Dicha aleación modifica las propiedades del acero en una forma específica y sus resultados dependen de la cantidad agregada, ya que cada uno de los elementos imparte distintas propiedades, tales como:

- a) Aumentar la resistencia a la corrosión.
- b) Aumentar la resistencia al desgaste.
- c) Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas.
- d) Contrarrestar efectos nocivos inducidos por otros elementos.
- e) Proporcionar fijación de otros elementos

En la práctica estos aceros pueden contener un solo elemento o varios, por lo que existen una gran variedad de aceros aleados que pueden fabricarse, a continuación se mencionan algunos de los tipos de aceros que se emplean más comúnmente:

**Aceros al níquel.** El níquel es el elemento principal de los elementos de aleación. Es altamente soluble en ferrita, se tiene que cuando existe la presencia del níquel éstos aceros son más resistentes y tenaces, además de que amplía el rango de temperatura y no presenta carburos difíciles de disolver. Es soluble en el acero en todas proporciones. En los aceros normalizados mejora la resistencia y disminuye la temperatura de temple.

Se necesita calentar a temperaturas bajas para tratarlo térmicamente. Estos aceros son adecuados para aceros estructurales de gran resistencia.

**Aceros al cromo.** El cromo es el elementos más utilizado en los aceros aleados ya que es menos costoso que el níquel. Al igual que el níquel forma carburos, tiene una alta dureza y buena resistencia al deterioro, es un elemento endurecedor pero no un elemento que imparta tenacidad.

Cuando el cromo se presenta excedido del 5% en una aleación, se ven mejoradas las propiedades a altas temperaturas, la resistencia a la corrosión, al desgaste de la superficie endurecida, resistencia a la tracción y el límite elástico.

**Aceros al níquel-cromo.** En estos aceros la razón de níquel a cromo es aproximadamente de 2½ a 1 respectivamente. Son adecuados para grandes secciones que requieren tratamientos térmicos debido a su endurecimiento profundo y uniforme. El efecto que da el níquel a éste acero es aumentar la tenacidad (ya que el cromo proporciona resistencia al desgaste de la superficie endurecida) y la ductibilidad, al combinarse con el cromo mejora la templabilidad y la resistencia al desgaste.



**Aceros al molibdeno.** Después del carbono, el molibdeno es el endurecedor más efectivo del acero, también forma carburos por lo cual aumenta la templabilidad, la dureza y la resistencia a la temperatura; tiene un límite elástico elevado con alta resistencia a la abrasión y al impacto. Se requiere de altas temperaturas para llevar a cabo tratamientos térmicos ya que retiene fuertemente el límite de grano fino, forma carburos, estimula a los demás elementos de aleación y disminuye los elementos nocivos. Amplía el margen de seguridad cuando se trabaja en caliente, al mismo tiempo que disminuye la susceptibilidad a la fatiga por revenido, aumenta la resistencia y el límite de fatiga.

**Aceros al vanadio.** Es uno de los elementos más comunes de aleación y el más costoso, es un fuerte desoxidante y a la vez un gran formador de carburos, esto inhibe el crecimiento del grano, al disolverse tiene un marcado efecto sobre la templabilidad y al enfriarse con aire proporciona grandes propiedades mecánicas. Al combinarse con el carbono aumenta la resistencia a la tracción, la tenacidad, la resistencia dinámica al choque y a los esfuerzos alternos de fatiga y de abrasión.

**Aceros al tungsteno.** Este elemento es adicionado en proporciones de 2 a 16%. Le imparte un marcado efecto sobre la templabilidad, también proporciona características similares a las del molibdeno, ya que es muy costoso y se utiliza con menos frecuencia. Se emplea principalmente en aceros inoxidables al cromo, níquel y tungsteno a los cuales ofrece excelente resistencia mecánica y a la corrosión a elevadas temperaturas.

### 1.5.1.3 Aceros inoxidables.

Se les denomina así a una serie de materiales resistentes a los ácidos y álcalis, a la oxidación, a temperaturas elevadas y a la corrosión atmosférica (en realidad solo resisten bien la acción de ciertos agentes de corrosión, puesto que en otras circunstancias se oxidan y se corroen en forma parecida a los aceros ordinarios).

Su principal elemento es el cromo que se añade en proporción hasta del 25% en algunos tipos, y en cantidades variables níquel, molibdeno, vanadio, tungsteno, etc. Su propiedad de resistencia a la corrosión se debe a una película adherente que se forma en su superficie estable de óxido de cromo ó de óxido de níquel que protege al acero contra los medios corrosivos. Este tipo de aceros por su construcción microestructural se les clasifica en tres grupos, los cuales son:

**Aceros martensíticos.** Estos aceros pueden templarse quedando con estructura martensítica de ahí que se derive su nombre, contenido entre 0.08 y 6% de carbono, de 11.5 a 18% de cromo y hasta el 2% de níquel. Este tipo de aceros son magnéticos, se pueden trabajar en frío sin ninguna dificultad y a su vez tienen buena tenacidad, gran resistencia a la corrosión atmosférica y a algunos agentes químicos. Se utilizan en equipos para el manejo de algunos ácidos débiles que operan a temperaturas no muy altas.

**Aceros ferríticos.** Este tipo de aceros es muy resistente a la corrosión y soportan temperaturas hasta de 1000°C. Se denominan ferríticos porque ninguna temperatura modifica su estructura, pero contienen poco carbono, debido a esto no se pueden endurecer por tratamientos térmicos sino solo moderadamente mediante trabajo en frío. Los hay de dos tipos, los de bajo cromo (16% cromo, 0.10% de carbono). Estos especialmente indicados para resistir el ataque del ácido nítrico y los de alto contenido en cromo (27% cromo, 0.20% carbono), resistentes a altas temperaturas y adecuado para trabajar gases sulfurosos.

**Aceros austeníticos.** Estos aceros son los denominados al cromo-níquel y al cromo-níquel-manganeso, tienen pequeños porcentajes de otros elementos, en especial molibdeno. Son los más conocidos y los de uso más general. No son magnéticos y no se endurecen por tratamiento térmico, el contenido total de níquel y cromo es de por lo menos 23%. El prototipo de éstos aceros y de todos los inoxidable en general es el denominado 18-8 (18% cromo, 8% níquel).

En estos aceros el níquel favorece la estabilidad de la austenita y refuerza la resistencia a la corrosión del cromo. El molibdeno no incrementa la resistencia a la corrosión en caliente. Al trabajar en frío, este tipo de materiales pueden llegar a ser ligeramente magnéticos ya que el trabajo en frío desarrolla una amplia variedad de propiedades mecánicas. Son difíciles de maquinarse a menos que contengan azufre y silicio. Su resistencia suele ser mejor que la de los aceros martensíticos o ferríticos.

Existen una gran variedad de aceros austeníticos inoxidable del tipo 18-8 tales como: con 0.8% de carbono, que se utilizan para partes soldables que van a trabajar a temperaturas del orden de los 400°C, con 1.2% de molibdeno que son los más resistentes a la corrosión y además ofrecen mejor resistencia mecánica al trabajarlos en caliente, con titanio y niobio que se utilizan en la fabricación de piezas soldadas que deben trabajar a más de 500°C y con hasta 2.5% de silicio, resistentes perfectamente a la oxidación aún a temperaturas cerca a los 1000°C.

#### 1.5.1.4 Aceros resistentes a altas temperaturas.

Conocidos también como aceros refractarios, este tipo de aceros resiste temperaturas muy elevadas sin oxidación y sin tener cambio alguno en sus propiedades mecánicas.

Como anteriormente se ha mencionado, la resistencia de los aceros se ve fuertemente afectada por el calor, sobre todo a temperaturas mayores a los 400°C. Los aceros más resistentes a altas temperaturas que pueden considerarse refractarios, son los aceros austeníticos inoxidable al cromo-níquel cuyo elevado porcentaje de níquel favorece a la formación de carburos de cromo y protege de la corrosión. Tal es el caso de los que contienen 35% de níquel y 18% de cromo, de 22% de níquel y 15% de cromo y de 25% de níquel y 9% de cromo.

### **1.5.2 Aleaciones especiales.**

Existe un grupo de materiales que pertenecen al grupo de aleaciones especiales en los que encontramos el monel, el inconel y el hastelloy. Además de que estos materiales son altamente resistentes a la corrosión a altas temperaturas, por lo que ofrecen buenas propiedades físicas y mecánicas aún en las condiciones más desfavorables de servicio. Este grupo de materiales no es frecuentemente utilizado en la fabricación de reactores en nuestro país, ya que el costo de dichos materiales es muy elevado.

**Monel.** Es una aleación de níquel-cromo, en donde aproximadamente existen dos tercios de níquel por un tercio de cobre, además de otros elementos los cuales pueden ser aluminio, hierro, titanio, silicio, manganeso, carbono y azufre. Tiene alta resistencia a los ácidos, álcalis, salmueras, aguas, productos alimenticios y a la atmósfera. En forma general se puede decir que todos los moneles tienen una composición nominal de aproximadamente 50% de níquel y pequeñas cantidades de otros elementos además del cobre.

**Inconel.** Es una aleación la cual está compuesta de la mayor parte de níquel 76%, cromo 16% y hierro 8%, combina la resistencia a la corrosión, la resistencia a la tenacidad del níquel con la resistencia extra del cromo a la oxidación a altas temperaturas. Este acero es muy importante por su capacidad para soportar calentamientos y enfriamientos continuos en un intervalo de 0° a 870°C sin llegar a ser frágil.

**Hastelloy.** Es una aleación basada en níquel, molibdeno, hierro, silicio, cobre y otros elementos, su composición depende del tipo de hastelloy como son A, B, C, y D. Los tres primeros contienen molibdeno y hierro.

Como se puede apreciar, los materiales de construcción son muy diversos por lo que la selección de los materiales de construcción de un reactor químico merece especial atención, como veremos a continuación:

### **1.5.3 Selección de los materiales de construcción.**

La selección de los materiales de construcción de un recipiente es de vital importancia, ya que de estos depende el funcionamiento correcto y seguro de los equipos, dicha selección está basada principalmente en el producto que va a ser manejado así como en una evaluación a fondo de los aspectos relacionados con la vida útil de la planta donde se instalará el reactor, la duración estimada del material, la confiabilidad del material, la disponibilidad del material en el mercado y su costo de fabricación, además del costo de mantenimiento e inspección. Por lo que la decisión final sobre el material a utilizar será aquella que cumpla en un mayor porcentaje con los requisitos técnicos y económicos deseados.

En la *tablas 1.5.3.1, 1.5.3.2, y 1.5.3.3.* se muestran las sustancias más agresivas y la resistencia química que ofrecen cada uno de los materiales, para ayudar a elegir el material más apropiado, clasificados como Bueno (A), Regular (F), Con Precaución (C) (depende de las condiciones) y No recomendable (X). Se recomienda no utilizar las tablas antes indicadas sin leer las notas correspondientes, que al final se presentan:

### RESISTENCIA QUIMICA DE LOS METALES.

Sustancia	Hierro y acero	Latón rojo	Bronce comercial	Plomo	Cobre	Aluminio	Níquel	Inconel	Metal Monel	Ac. Inox. Tipo 304	Ac. Inox. Tipo 316	Ac. Inox. Tipo 347	Ac. Inox. Carpenter "20"	Hastelloy "B" o "C"
Acido acético, crudo	C	X	X	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Puro	C	C	C	F	F	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Vapores	X	X	X	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A
150 lb/pulg <sup>2</sup> a 400°F	X	X	X	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Anhídrido acético	C	X	F	C	F	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Acetona	C	F	F	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Acetileno	A	X	X	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Cloruro de aluminio	X	X	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Sulfato de aluminio	X	X	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Alumbres	X	X	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Gas amoníaco, seco	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
húmedo	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Cloruro de amonio	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Hidróxido de amonio	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Nitrato de amonio	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Fosfato de amonio	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Sulfato de amonio	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Anilina, aceite de anilina	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Colorantes de anilina	F	F	F	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Cloruro de bario	-	-	-	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Hidróxido de bario	-	-	-	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Sulfuro de bario	-	-	-	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Cerveza	C	C	C	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Licores de azucar de remolacha	C	C	C	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Benceno, benzol	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Bencina, éter de petróleo, nafta	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Licor negro de sulfato	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Acido bórico	X	X	X	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A
Bromo	X	X	X	X	X	A	C	C	C	C	C	C	A	A

Tabla 1.5.3.1.

NOTAS:

- 1.- En ausencia de oxígeno
- 2.- 52°C. máximo.
- 3.- Todos los porcentajes: 22°C.

- 4.- Hasta ebullición.
- 5.- 5% Temperatura ambiente.
- 6.- Hasta 50°C.

## RESISTENCIA QUIMICA DE LOS METALES (CONTINUACION).

Sustancia	Hierro y acero	Latón rojo	Bronce comercial	Plomo	Cobre	Aluminio	Níquel	Inconel	Metal Monel	Ac. Inox. Tipo 304	Ac. Inox. Tipo 316	Ac. Inox. Tipo 347	Ac. Inox. Carpenter "70"	Hastelloy "B" o "C"
Nitrato de sodio.....	A	C	A	A	A	A	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	C	A	A	A	C <sub>11</sub>
Peróxido de sodio.....	A	C	A	A	A	A	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	C	A	A	A	A <sub>11</sub>
Sulfato de sodio.....	A	C	A	A	A	A	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	C	A	A	A	A <sub>11</sub>
Sulfuro de sodio.....	A	C	A	A	A	A	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	C	A	A	A	A <sub>11</sub>
Tiosulfato de sodio, "hipo".....	A	C	A	A	A	A	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	C	A	A	A	A <sub>11</sub>
Acido esteárico.....	F	A	A	A	A	C <sub>11</sub>	A <sub>11</sub>	A	A	C	A	A	A	A
Azufre.....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Anhidrido sulfuroso, seco.....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Anhidrido sulfuroso, húmedo.....	X	F	F	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Acido sulfúrico, < 10%, frío.....	X	X	X	A	A	A	X	X	X	C	X	X	X	A
Caliente.....	X	X	X	A	A	A	X	X	X	C	X	X	X	A
10-75%, frío.....	X	X	X	A	A	A	X	X	X	C	X	X	X	A
Caliente.....	X	X	X	A	A	A	X	X	X	C	X	X	X	A
75-95%, frío.....	X	X	X	A	A	A	X	X	X	C	X	X	X	A
Caliente.....	X	X	X	A	A	A	X	X	X	C	X	X	X	A
Fumante.....	X	X	X	A	A	A	X	X	X	C	X	X	X	A
Acido sulfuroso.....	X	F	F	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Acido tartárico.....	X	C	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Tolueno.....	X	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Tricloroetileno, seco.....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Húmedo.....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Trementina.....	C	C	C	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Agua, potable (de grifo, alimentación de calderas, etc.).....	A	A	A	A	A	A	X	X	X	C	A	A	A	A
Agua de mar.....	C	C	C	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Whisky y vinos.....	X	X	X	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Cloruro de zinc.....	X	X	X	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A
Sulfato de zinc.....	C	C	C	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A

Tabla 1.5.3.2.

## NOTAS (Continuación):

- 7.- El hierro y el acero pueden oxidarse considerablemente en presencia de agua y aire.
- 8.- Las aleaciones de alto contenido de cobre.
- 9.- Se recomienda Hastelloy "C" hasta 40°C.
- 10.- Cuando no es importante el calor. No usar con ácido c.p.
- 11.- De temperatura hasta 100°C. La humedad inhibe el ataque.
- 12.- Gas 22°C.
- 13.- Hasta 500°C.
- 14.- Hastelloy "C" a temperatura ambiente.

- 15.- De temperatura ambiente hasta 158°C.
- 16.- A temperatura ambiente.
- 17.- Cuando no es objetable la decoloración
- 18.- 5% Máximo, 66°C máximo
- 19.- Satisfactorio para vapores hasta 100°C.
- 20.- Altamente corrosivo para aleaciones de níquel a temperaturas elevadas. La recomendación se aplica a gas "seco" a temperaturas ordinarias.
- 21.- 48%-hierve a 165°C.
- 22.- Temperatura ambiente - 80%

## RESISTENCIA QUIMICA DE LOS METALES (CONTINUACION).

Sustancia	Hierro y acero	Latón rojo	Bronce comercial	Plomo	Cobre	Aluminio	Níquel	Inconel	Metai Monel	Ac. Inox. Tipo 304	Ac. Inox. Tipo 316	Ac. Inox. Tipo 347	Ac. Inox. Carpenter "20"	Hastelloy "B" o "C"
Peróxido de hidrógeno .....	C	C	F	C	C	C	C	C	C	A	A	C	A	A
Sulfuro de hidrógeno, seco (20) .....	X	X	X	-	X	X	X	X	X	A	A	A	A	A
Húmedo .....	C	X	X	-	X	X	X	X	X	A	A	A	A	A
Lacas (solventes) .....	C	X	X	-	X	X	X	X	X	A	A	A	A	A
Acido láctico .....	X	C	F	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Aceites lubricantes, refinados .....	X	C	F	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Cloruro de magnesio .....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Hidróxido de magnesio .....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sulfato de magnesio .....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Mercurio .....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Gas natural .....	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Acido nítrico, crudo .....	X	X	X	X	X	X	X	X	X	A	A	A	A	A
diluido .....	X	X	X	X	X	X	X	X	X	A	A	A	A	A
concentrado .....	X	X	X	X	X	X	X	X	X	A	A	A	A	A
Acido oleico .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Acido oxálico .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Acido palmítico .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Aceites de petróleo, < 500°F - crudo .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Acido fosfórico .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Hidróxido de potasio .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Sulfato de potasio .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Propano .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Gas de cisternas .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Ceniza de sosa (carbonato de sodio) .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Bisulfato de sodio .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Cloruro de sodio .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Cianuro de sodio .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Hidróxido de sodio .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
Hipoclorito de sodio .....	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A

Tabla 1.5.3.3.

## NOTAS (Continuación):

23.- No para temperaturas mayores de 200°C.

24.- Hasta 60°C.

25.- Hasta 94°C.

26.- Hasta 80°C.

27.- 10% máximo; ebullición.

28.- 50%: 160°C.

29.- No se use si es objetable la contaminación con hierro.

30.- 10% temperatura ambiente.

31.- Caliente.

32.- No satisfactorio para gases calientes.

33.- Hastelloy "C" hasta 70°C.

34.- De temperatura ambiente hasta 70°C. La corrosión aumenta al aumentar la concentración y la temperatura.

35.- Diluido a temperatura ambiente.

36.- El ataque aumenta cuando se sumerge sólo parcialmente; los vapores son muy corrosivos.

37.- Hastelloy "C" hasta 100°C.

La selección de los materiales de construcción también esta basada en el grado de corrosión que se puede presentar en el material y en la pureza que se desea obtener en los productos de reacción; los cuales explicaremos a continuación:

**La corrosión.** Es la destrucción de un metal ya sea por acción química directa o por una acción electrolítica entre el metal y el medio que lo rodea. Generalmente es lenta, pero de carácter persistente y es debido a que los materiales no son estables en el medio en el que se emplean. Todos los metales y aleaciones son susceptibles de sufrir el fenómeno de corrosión, no habiendo material útil para todas las aplicaciones. Afortunadamente se tienen bastantes metales que pueden comportarse satisfactoriamente en medios específicos, también se tienen métodos de control de la corrosión que reducen el problema. La corrosión tiende a presentarse sobre la superficie de los materiales. En la mayoría de las condiciones de exposición los productos de la corrosión consisten de óxidos carbonatados y sulfuros según la naturaleza del material y del medio corrosivo.

Los estudios más recientes sobre la corrosión han mostrado que este fenómeno es fundamentalmente el mismo en todos los materiales y las diferencias son de grado y no de calidad. La corrosión puede ser clasificada como húmeda o seca. Para la primera se requiere un líquido o humedad, mientras que para la segunda las reacciones se desarrollan con gases a alta temperatura.

El mecanismo de corrosión comprende las reacciones electroquímicas o bien las reacciones químicas, por lo que el material a elegir debe de ser altamente resistente a la corrosión de acuerdo al proceso que se desee efectuar dentro del reactor químico.

La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe a la misma velocidad en toda la superficie o bien puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas áreas pequeñas. Es difícil nombrar una parte de las industrias de procesos químicos en las cuales la corrosión no representa jamás un problema extremadamente costoso.

**La pureza del producto.** Es requisito primordial para medicamentos químicos, productos alimenticios, entre otros; principalmente para las industrias químicas, farmacéuticas, de alimentos y químico electrónicas. Por ello se requiere que los reactores que van a intervenir en este tipo de procesos sean construidos para brindar los requerimientos de pureza que se desean.

Como se ha observado, los materiales de construcción de los reactores químicos así como los problemas de corrosión y pureza, deben de ser considerados en forma específica para poder seleccionar los materiales más adecuados a un menor costo, ya que de éstos últimos dependerá el tipo de proceso o procesos de fabricación del reactor químico, los cuales los veremos en forma general en el siguiente apartado de éste capítulo:

## 1.6 PROCESOS DE FABRICACION DE LOS REACTORES QUIMICOS.

Un proceso es una acción o serie de acciones progresivas y distintivas, implícitas en el curso de producir un tipo básico de resultado. Por lo que en el proceso de fabricación de reactores químicos intervienen principalmente dos etapas muy importantes; la primera de ellas es la prefabricación del reactor, en la cual se fijan los parámetros de fabricación y en la segunda se procede a construir el reactor químico, es decir, la primera etapa es teórica y la segunda es práctica.

### 1.- PREFABRICACION DE LOS REACTORES QUIMICOS.

Los requerimientos para la fabricación de reactores químicos comienzan con un análisis de la industria y/o las necesidades de aplicación. Así la selección de materiales está basada en el producto que va a ser manejado y en la operación unitaria. A partir de esto se resuelven varios aspectos de ingeniería para maximizar la funcionalidad del reactor y minimizar el costo.

Se considera el producto que va a ser manejado, se cuestiona si presentará problemas como fuerte corrosión, o necesidades de mantener una pureza absoluta, el tamaño de recipiente, las presiones y temperaturas de operación, los requerimientos de transferencia de calor y los niveles de agitación deseados (si éste los requiere), así como los accesorios que puedan ser necesitados tales como: tubos buzos, termopozos, medidores de pH u otros.

Otro de los parámetros que se debe tomar cuenta es un extensivo análisis de transferencia de calor para determinar ya sea o no un calor o enfriamiento suplementario, para poder establecer los requerimientos de transferencia de calor del proceso.

Con las necesidades del reactor y los parámetros básicos definidos, el usuario puede iniciar la selección de los materiales de construcción más adecuados. Debido a la gran variedad de materiales de construcción se requiere de mucha experiencia para poder seleccionar la combinación correcta de dichos materiales y de las técnicas de construcción más adecuadas para necesidades específicas.

En lugar de un solo material, se puede hacer una combinación de varios materiales seleccionados apropiadamente tomando como base los parámetros antes mencionados, logrando así hacer más bajo su costo inicial y mejorando la funcionalidad del equipo.

Estos parámetros de proceso son determinados por ingenieros químicos los cuales proporcionan los datos de carácter técnico y geográfico, que necesitan los fabricantes de reactores químicos para realizar el cálculo correcto de éstos últimos, de acuerdo con los requerimientos de uso y las condiciones climatológicas.



Otro aspecto importante es el diseño del equipo de agitación para realizar las operaciones unitarias básicas incluyendo dispersión, disolución de sólidos, transferencia de calor, mezclado de líquidos inmiscibles, separaciones, suspensión, emulsión, homogeneización, absorción de gases, etc.

Las consideraciones ingenieriles en el diseño de mezclado incluyen viscosidad y gravedad específica del material así como la temperatura y presión asociadas a la operación.

El diseño del sistema de agitación requiere que muchas de las siguientes consideraciones sean revisadas: características del producto, presencia, tipo de sólidos y proporción o razón de los mismos, tamaño del lote, cantidad de baffles necesarios, intensidad de mezclado, presión y temperatura.

La evaluación de éstas y otras consideraciones generalmente requieren de técnicas de diseño asistidas por ingenieros químicos con gran experiencia en el diseño del correcto agitador y sistema de agitación en la parte de proceso.

La labor de diseño es definida ampliamente por las necesidades del usuario, pero es también fuertemente influenciada por las características de los materiales seleccionados y las consideraciones de fabricación impuestas por esos materiales. La labor puede ser simple o complicada. Los resultados de una solución de diseño pueden ayudar a incrementar la productividad, optimizar parámetros de proceso y reducir costos en el mantenimiento del equipo. La solución de diseño es realizada para proveer una flexibilidad máxima para un proceso conocido o para un proceso ya existente en planta.

Es de vital importancia tomar en cuenta los parámetros antes mencionados ya que de estos dependerá la forma en que se fabricará el reactor químico, así como el control de calidad al que estará sujeto.

Por lo que en la prefabricación de un reactor químico se debe de tomar en cuenta los siguientes incisos, los cuales los trataremos más a fondo en el próximo capítulo:

**a) Necesidades del usuario.**

Identificar a fondo las necesidades del usuario y restricciones que se puedan presentar tanto por fabricación como por rentabilidad, a fin de seleccionar la mejor opción costo-eficiencia.

**b) Memoria de cálculo.**

Diseñar cuidadosamente cada uno de los componentes principales del reactor químico, apeguándose estrictamente en las normas que para tal efecto deben de ser consideradas.

**c) Dibujos.**

Elaborar dibujos generales y dibujos de detalle, para posteriormente pasarlos a taller y den la pauta para el inicio de la fabricación del reactor químico.

d) Lista de materiales.

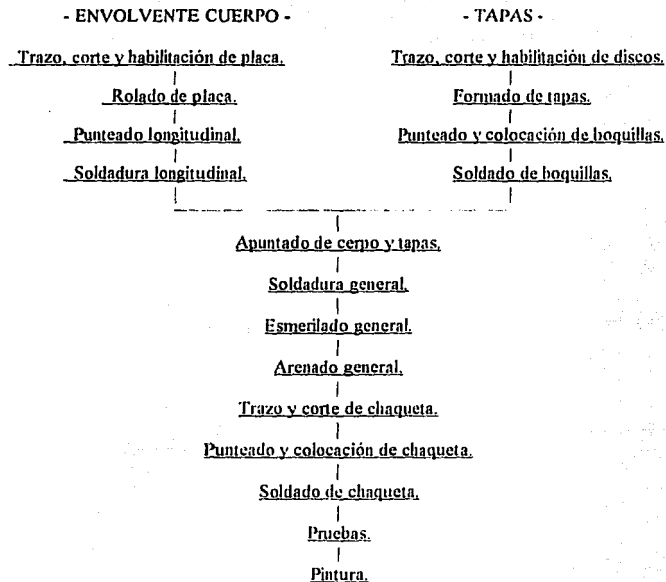
Elaborar una lista detallada de todos los materiales que serán utilizados para la construcción del reactor químico, especificando cantidad, tipo, dimensiones de cada uno, así como especificaciones detalladas de los tipos de materiales a utilizar.

Una vez elaboradas las listas de materiales y los dibujos de taller, se procede a la fabricación del reactor químico, como se verá a continuación:

## 2.- FABRICACION DE LOS REACTORES QUIMICOS.

La fabricación de un reactor químico es sumamente importante ya que en ella convergen todos los datos y cálculos antes realizados, además de que se debe de contar con los recursos técnicos y humanos adecuados. En el siguiente diagrama de flujo se muestra en forma general los principales pasos para la fabricación reactor químico.

### DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA FABRICACION DE REACTORES QUIMICOS.



Entre las actividades que debemos de cuidar, tenemos las siguientes:

El trazo, corte y habilitado de los materiales, el cual se hace de acuerdo a la lista de materiales elaborada previamente por el departamento de ingeniería y de acuerdo a los dibujos de taller que especifican las dimensiones de cada uno de ellos, los cuales serán parte integral del reactor químico.

Otro aspecto importante durante el proceso de fabricación de un reactor, es la unión de sus partes principales, la cual se lleva a cabo por medio de soldadura y además de las pruebas a las que deben de sujetarse dichas uniones soldadas y el reactor químico en su totalidad. Existe un gran número de procesos de soldadura y cada uno tiene aplicaciones específicas, éstos están restringidos de acuerdo con las condiciones que se tienen al unir los materiales, las cuales las veremos a continuación:

### 1.6.1. SOLDADURA.

La *soldadura* es el método más económico para unir en forma permanente partes de metal. Y ofrece las siguientes ventajas:

- a) Es el método de unión de más bajo costo.
- b) Proporciona un peso más ligero por la mejor utilización de los metales.
- c) Une todos los metales comerciales.
- d) Puede usarse en cualquier parte.
- e) Proporciona flexibilidad en el diseño.

Todos los metales pueden soldarse, debido a que todos poseen la característica de soldabilidad. No todos los metales pueden ser unidos por todos los procedimientos de soldadura. En realidad algunos de los procesos de soldadura más modernos fueron desarrollados para unir metales específicos.

Uno de los más grandes logros de la industria de la soldadura ha sido el desarrollo de materiales para unir metales y aleaciones diferentes, estos metales de aporte como se les denomina comúnmente, llenan la junta de soldadura y proporcionan uniones tan fuertes como la del metal que se está soldando.

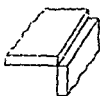
Para producir una estructura o soldadura utilizable debe haber uniones soldadas entre las diversas piezas que constituyen el ensamble. Las cinco uniones básicas como se muestra en la *figura 1.6.1.1* son:

- a) *B, Unión a tope*: partes colocadas aproximadamente en el mismo plano.
- b) *C, Unión a escuadra*: las partes están aproximadamente en ángulos rectos en el filo de ambas.

- c) *E, Unión de canto:* el canto de dos o más partes paralelas.
- d) *L, Unión de traslape:* entre partes superpuestas.
- e) *T, Unión T:* con partes que forman aproximadamente ángulo recto, y no en el filo de una parte.



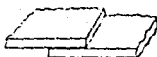
B, Unión a tope



C, Unión a escuadra



E, Unión de canto



L, Unión de traslape

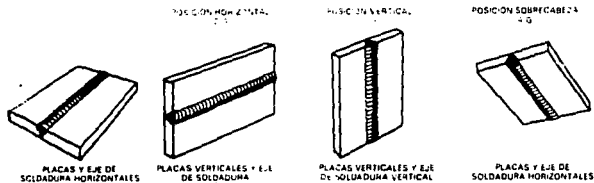


T, Unión en T

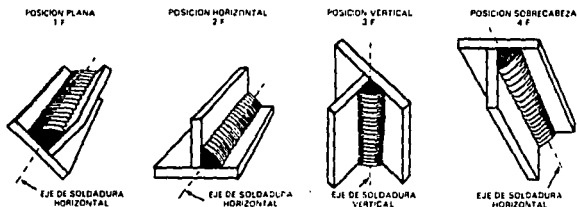
Figura 1.6.1.1 Diseños básicos de uniones.

La soldadura se hace a menudo sobre las estructuras en la posición en la cual se encuentran. Hay cuatro posiciones básicas de soldadura que se ilustran en la figura 1.6.1.2 y se describen a continuación:

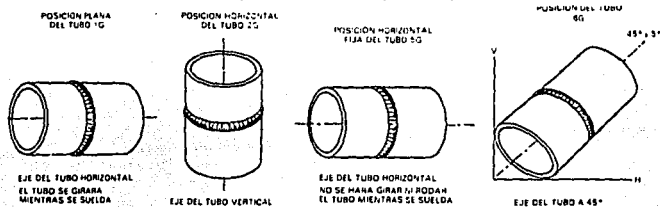
- a) *Plana:* es la posición de la soldadura para soldar desde el lado superior de la unión.
- b) *Horizontal:* es la posición de soldadura en la cual el eje a soldar es aproximadamente horizontal.
- c) *Sobre cabeza:* es la posición en la cual la soldadura se ejecuta desde el lado inferior de la unión.
- d) *Vertical:* es la posición de la soldadura en la cual el eje a soldar es aproximadamente vertical.



*Posiciones para soldadura a tope y de ranura en placas.*



*Posiciones para soldadura de filete en placas.*



*Posiciones para soldadura de tubos.*

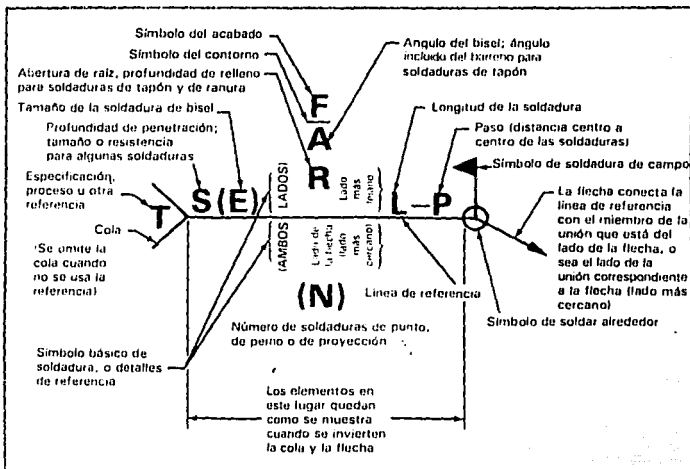
*Figura 1.6.1.2 Posiciones básicas de soldadura.*

## 1.6.2. SIMBOLOS DE SOLDADURA.

Los símbolos de soldadura de la A.W.S. son la taquigrafía de la soldadura, ya que expresan con símbolos en los planos las instrucciones para soldar y con los cuales podemos obtener las siguientes ventajas:

- a) El control sobre las instrucciones específicas del diseño para el taller.
- b) La eliminación de detalles innecesarios en los planos.
- c) Establecer un procedimiento común de los proyectos y requisitos de diseño entre ingenieros, taller de inspección, representantes del cliente y autoridades de inspección.
- d) Estandarización, no solamente dentro de su empresa, sino en la industria en general.

Dichas símbolos de soldadura constan, en el caso más común, de los elementos que se indican a continuación y cuya localización relativa se ilustra en la figura 1.6.2.1.



### STANDARD LOCALIZACION DE LOS ELEMENTOS Y SIMBOLOS DE SOLDADURA

Figura 1.6.2.1.

Los símbolos A.W.S. son norma nacional y se usan mundialmente. Dichos símbolos se muestran en la tabla 1.6.2.2 y han sido tomados de normas para símbolos y reglas para su uso.

SIMBOLOS A.W.S.<sup>5</sup>

TIPO DE SOLDADURA		LADO DE LA FLECHA	OTRO LADO	AMBOS LADOS	LADO SIN APLICACION
ANGULO					NO SE USA
TAPON O RANURA				NO SE USA	NO SE USA
PUNTO O COSTURA				NO SE USA	NO SE USA
A ESCUADRA					NO SE USA
E N B I S E L	V				NO SE USA
	CHAFLAN				NO SE USA
	U				NO SE USA
	J				NO SE USA
	V ABIERTA				NO SE USA
	CHAFLAN ABIERTO				NO SE USA
DE SOPORTE				NO SE USA	NO SE USA
FUSION TOTAL				NO SE USA	NO SE USA
RECARQUE		NO SE USA	NO SE USA	NO SE USA	
B O R D E	REBORDE			NO SE USA	NO SE USA
	ESQUINA			NO SE USA	NO SE USA

\* Lado de la flecha, es el lado de la junta señalado por la punta de la flecha.

Tabla 1.6.2.2. Símbolos de soldadura

En la tabla 1.6.2.3 y 1.6.2.4. se muestran las representaciones gráficas de los símbolos de soldadura y el significado de cada uno de ellos.

<sup>5</sup>American Welding Society (A.W.S.)

**SIMBOLOS DE SOLDADURA**













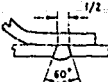
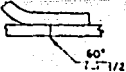

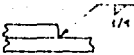
REAL	SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE BANUSA ESCUARDADA EN EL LADO DE LA FLECHA, A UNA DISTANCIA EN LA DATX 3.175mm (1/8plg)
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE BANUSA EN V CON ANGULO DE 60 GRADOS EN EL LADO DE LA FLECHA
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE BANUSA EN V CON ANGULO DE 60 GRADOS EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA DE BORDADO DEL TIPO DE CORDON EN EL OTRO LADO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE BANUSA EN V DE 12.7mm (1/2plg)
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE BANUSA EN V EN EL LADO DE LA FLECHA Y EN LA CARA OPUESTA CON ANGULO DE 60 GRADOS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE BANUSA EN V EN EL LADO DE LA FLECHA Y EN EL OTRO LADO CON ABERTURA EN LA DATX DE 3.175mm (1/8plg)
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE TAPON DE 12.7mm (1/2plg) DE DIAMETRO Y CON ANGULO DE 60 GRADOS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILLETE DE 6.35mm (1/4plg)

Tabla 1.6.2.3.



**SIMBOLOS DE SOLDADURA (CONTINUACION)**






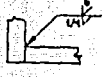




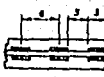




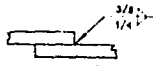
REAL	SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILLETE DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO DE LA FLECHA Y DE 6.35mm (1/4") EN LA CARA OPUESTA
		EL SIMBOLO INDICA BANUSA DE BIELADA CON ANGULO DE 45 GRADOS, SOLDADURA DE FILLETE DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA POSITIVO DEL TIPO DE CORDON EN EL LADO CONTRARIO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILLETE DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA DE BANUSA BIELADA EN LA CARA OPUESTA, EMPLESE A LAS EN EL OTRO LADO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE BANUSA BIELADA Y DE FILLETE DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO DE LA FLECHA, BANUSA BIELADA Y SOLDADURA DE FILLETE DE 6.35mm (1/4") EN LA CARA OPUESTA
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILLETE TORN ALBERGOS, DE 6.35mm (1/4")
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DISCONTINUA DE FILLETE DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO DE LA FLECHA Y DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO CONTRARIO A 152.4mm (6") DE ESPACIOS, APLICADAS EN CAMPO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DISCONTINUA DE FILLETE DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO DE LA FLECHA Y DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO CONTRARIO A 203.2mm (8") ENTRE CENTROS, LAS SOLDADURAS VAN ALTERNADAS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILLETE DE 6.35mm (1/4") EN EL LADO DE LA FLECHA Y DE 9.52mm (3/8") EN EL OTRO LADO

Tabla 1.6.2.4.

### 1.6.3. JUNTAS EN LAS SOLDADURAS.

Como ya se menciona la fabricación de reactores químicos es por medio de procesos de soldadura por arco manuales, semiautomáticos y automáticos. En cualquiera de los tres casos deberá tener penetración completa, eliminando la escoria dejada por el cordón de soldadura antes de aplicar el siguiente cordón. Para verificar si una soldadura ha sido bien aplicada, se utilizan varias formas de inspección, entre ellas está el radiografiado, la prueba de líquidos penetrantes y algunas veces se utiliza el ultrasonido (por requerimiento de Código). El radiografiado puede ser total o por puntos y la longitud de cada radiografía deberá ser de cuando menos 15 centímetros.

La eficiencia en las soldaduras se muestra en las *tablas*<sup>7</sup> 1.6.3.1 y 1.6.3.2, donde se dan los diferentes valores de la eficiencia de juntas que se descan usar en los cálculos de acuerdo con el tipo de unión. Debido a que existen varios métodos para hacer juntas soldadas, la selección del tipo más adecuado depende de:

Las circunstancias para la realización de la soldadura. La accesibilidad de la junta así como las dimensiones del reactor químico a fabricar.

Los requisitos de las normas. Otro aspecto importante el que establecen las normas, basadas de acuerdo al tipo de junta, a los requisitos en el servicio, el material y la ubicación de la soldadura.

La economía de las soldaduras es un aspecto muy importante por lo que se deben de seguir las siguientes consideraciones:

- a) La preparación de bomes en V, que puede hacerse a soplete, es siempre más económica para juntas en J o en U.
- b) La preparación en V doble requiere solo de la mitad de la soldadura depositada de la que requiere la preparación en V sencilla.
- c) Al aumentar el tamaño de una soldadura de filete, su resistencia aumenta en proporción directa, mientras que el metal de soldadura depositado aumenta en proporción al cuadrado de su tamaño.
- d) La soldadura de baja eficiencia hace necesaria la utilización de placa de mayor espesor para el recipiente. El que sea más económico la soldadura de mayor resistencia y placa más delgada o lo contrario, depende del tamaño del recipiente, de la presión de diseño, del equipo de soldadura, entre otras cosas. Esto debe decidirse en cada caso en particular.

---

<sup>7</sup>Pressure Vessel Handbook. Eugene F. Megyesy.

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS







TIPOS NORMA U-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E <sub>j</sub>		
FIGURA	DESCRIPCION	RADIOGRAFIADA TOTALMENTE	EXAMINADA POR ZONAS	NO EXAMINADA
	<p>Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza.</p> <p>Si se emplea placa de respaldo, deberá quitarse esta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
 <p>SOLO EN JUNTAS CIRCUNFERENCIALES</p>	<p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de terminar la soldadura.</p>	0.90	0.80	0.65
	<p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo.</p>	-	-	0.60
	<p>Junta a traslape de doble filete completo.</p>	-	-	0.55
	<p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldadura de tapón.</p>	-	-	0.50
	<p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón.</p>	-	-	0.45

Tabla 1.6.3.1.

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS (CONTINUACION).

LIMITACIONES AL APLICAR LOS DISTINTOS TIPOS DE SOLDADURA	NOTAS								
<p>PARA EL TIPO 1 NINGUNA</p>	<p>1. En esta tabla se indican los tipos de juntas soldadas que son permitidas por las normas en procesos de soldadura por arco y con gas.</p>								
<p>PARA EL TIPO 2, NINGUNA</p> <p>Excepto soldadura a tope con una placa desplazada; para uniones circunferenciales -- únicamente.</p>	<p>2. La forma de los bordes por unir mediante soldadura a tope debera ser tal que permita lograr una fusion y penetracion completas.</p>								
<p>PARA EL TIPO 3</p> <p>Para uniones circunferenciales únicamente, no mas de 15.8 mm (5/8plg) de espesor y no mas de 603 mm (24plg) de diametro exterior.</p>	<p>3. Las juntas a tope deberan estar libres de socavaciones, traslapes y lomos y valles bruscos. Para asegurarse de que se llenen completamente de soldadura las ranuras, el metal de soldadura puede acumularse como refuerzo. El espesor del refuerzo no debe exceder de las medidas siguientes:</p>								
<p>PARA EL TIPO 4</p> <p>Uniones longitudinales de no mas de 9.5 mm (3/8plg) de espesor. Uniones circunferenciales de no mas de 15.8 mm (5/8plg) de espesor</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESPESOR PLACA (mm)</th> <th>REFUERZO MAX. (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>hasta 12.7 inclusive</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>de 12.7 a 25.4 incl.</td> <td>3.1</td> </tr> <tr> <td>mas de 25.4</td> <td>4.7</td> </tr> </tbody> </table>	ESPESOR PLACA (mm)	REFUERZO MAX. (mm)	hasta 12.7 inclusive	2.3	de 12.7 a 25.4 incl.	3.1	mas de 25.4	4.7
ESPESOR PLACA (mm)	REFUERZO MAX. (mm)								
hasta 12.7 inclusive	2.3								
de 12.7 a 25.4 incl.	3.1								
mas de 25.4	4.7								
<p>PARA EL TIPO 5</p> <p>a) Uniones circunferenciales para juntas de cabezas de no mas de 603 mm (24plg) de diametro exterior a cascos de no mas de 12.7 mm (1/2plg) de espesor.</p> <p>Se excluyen las juntas de cabezas hemisfericas a cascos.</p> <p>b) Uniones circunferenciales para juntas a cascos de no mas de 15.8 mm (5/8plg) de espesor nominal, cuando la distancia del centro de la soldadura de tapon a la orilla de la placa no sea menor de 1.5 veces el diametro del orificio para el tapon.</p>	<p>4. Antes de soldar el segundo lado de una junta a tope de doble cordón, las impurezas de la soldadura del primer lado deben separarse por rebabeo, a esmeril o por fusion para que haya metal firme para penetracion y fusion completas. Para la soldadura de arco sumergido se recomienda formar por rebabeo una ranura en el crater.</p>								
<p>PARA EL TIPO 6</p> <p>a) Para la union de cabezas convexas hacia la presion a cascos de no mas de 15.8 mm (5/8plg) de espesor requerido, solo aplicando soldadura de filete en el interior del casco.</p> <p>b) Para la union de cabezas con la presion en cualquiera de sus lados, a cascos de no mas de 603 mm (24 plg) de diametro interior y no mas de 6.3 mm (1/4plg) de espesor requerido con soldadura de filete en el exterior de la brida de la cabeza solamente.</p>	<p>5. Las máximas eficiencias permitidas para la junta que se dan en esta tabla se usarán en los cálculos de las cargas, al hacer las uniones por los procedimientos de soldadura por arco o con gas.</p>								

Tabla 1.6.3.2. Tipos de juntas soldadas.

Los procesos y métodos de soldadura así como las uniones en los reactores químicos las veremos en el siguiente apartado.

#### 1.6.4. PROCESOS DE SOLDADURA.

El proceso de soldadura es un proceso de unión que produce la coalescencia de los materiales calentándolos a temperatura de soldado con o sin la aplicación de presión, con la aplicación de presión sola y con o sin el uso de material de aporte. La AWS ha agrupado los procesos de acuerdo con el modo de transferencia de energía como consideración primaria.

Hay aproximadamente cincuenta procesos distintos de soldadura. Se subdividen en siete grupos, como se muestra en la *figura 1.6.4*. El grupo de procesos de soldadura por arco es el más popular y el más ampliamente usado para unir metales, especialmente en la fabricación de recipientes sujetos a presión. Hay nueve diferentes procesos de soldadura por arco y numerosas variantes. Los procesos de soldadura por arco se definen como un grupo de procesos de soldadura que producen la coalescencia de las piezas de trabajo calentándolas con un arco.

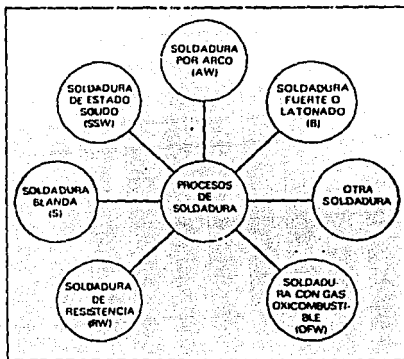


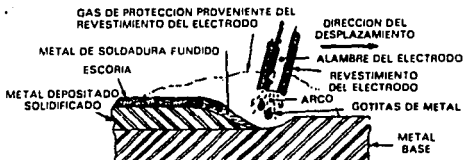
Figura 1.6.4. Gráfica de los procesos de soldadura.<sup>8</sup>

En todos los procesos de soldadura por arco, el corazón del sistema de soldadura es su fuente de poder. Esta pieza del equipo proporciona la energía eléctrica necesaria para mantener el arco, de modo que pueda usarse para soldar.

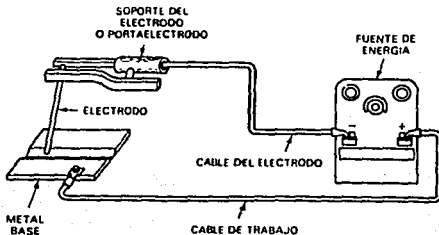
Dentro de los procesos de soldadura en la fabricación de reactores químicos encontramos principalmente los siguientes:

<sup>8</sup>Manual de Soldadura Moderna, pag. 21.

**Soldadura con arco metal protegido (SMAW).** Es definido como el proceso de soldadura por un arco entre un electrodo cubierto (electrodo revestido) y el metal base; la protección de la soldadura es producida por la descomposición de la cubierta del electrodo. En éste el metal de aporte es obtenido del electrodo sin la aplicación de presión, como se ilustra en la *figura 1.6.4.1.*



*Diagrama del proceso de soldadura de arco metálico protegido.*



**Diagrama de circuito (SMAW).**

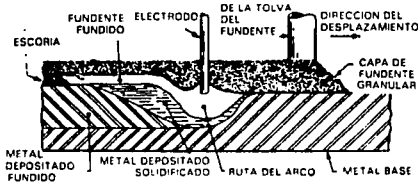
*Figura 1.6.4.1.*

Los electrodos se identifican por un código de colores NEMA (The National Electrical Manufacturers Association. Asociación Nacional de Fabricantes de Electrodos), que aparecen pintados en casi todos los electrodos, para distinguir los diversos tipos.

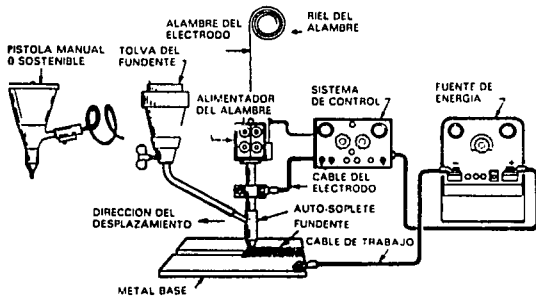
Los electrodos también son identificados con marca y tipo. Esta identificación, se suministra para los de bajo hidrógeno, acero inoxidable, entre otros.

**Soldadura por arco sumergido (SAW).** Se define como un proceso de soldadura por arco que usa un arco entre un electrodo de metal desnudo y la concurrencia del metal base. El arco y el metal fundidos están protegidos con una capa de fundente

granular sobre las piezas que se van a trabajar. Este proceso se usa sin protección y con metal de aporte proveniente del electrodo y algunas veces de una fuente suplementaria. Generalmente se aplica por medio de máquinas o de métodos semiautomáticos; sin embargo, puede aplicarse automáticamente. Normalmente, se limita a la posición plana u horizontal. *Figura 1.6.4.2.*



*Diagrama del proceso (SAW).*



*Diagrama de circuito (SAW).*

*Figura 1.6.4.2*

**Soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW).** Es un proceso de soldadura por arco que produce coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de tungsteno (no combustible) y el trabajo. Se obtiene protección apartir de un gas o una mezcla de gases. Puede usarse o no, tanto la presión como el metal de aporte. Este proceso se denomina algunas veces soldadura TIG, soldadura de tungsteno con gas inerte. Los gases inertes se usan como fines de protección y normalmente se aplican de modo manual. Como se muestra en la *figura 1.6.4.3.*

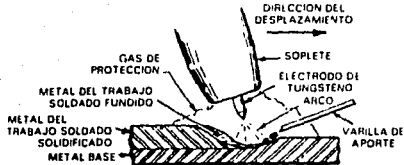


Diagrama del proceso (GTAW).

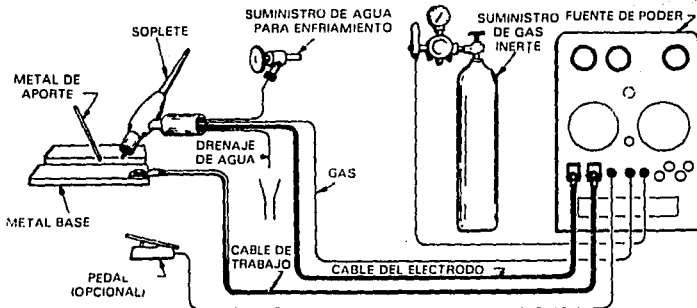


Diagrama de bloque del proceso de soldadura GTAW  
Figura 1.6.4.3.

**Soldadura por arco metálico con gas (GMAW).** Se define como el proceso de soldadura que usa un arco eléctrico entre el electrodo metálico de aporte continuo y la concurrencia de soldado. El proceso se usa con la protección de un gas externamente suministrado y sin la aplicación de presión. Este proceso también se denomina MIG.

El alambre del electrodo para el GMAW es alimentado continuamente hacia el arco y se deposita como metal de soldado. Este proceso tiene muchas variantes, dependiendo del tipo de gas de protección, del tipo de transferencia del metal y del tipo de metal depositado. Es capaz de soldar muchos y diferentes metales y se está volviendo uno de los procesos por arco más populares. Figura 1.6.4.4.



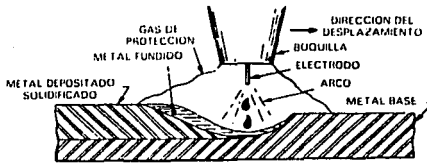


Diagrama del proceso (GMAW).

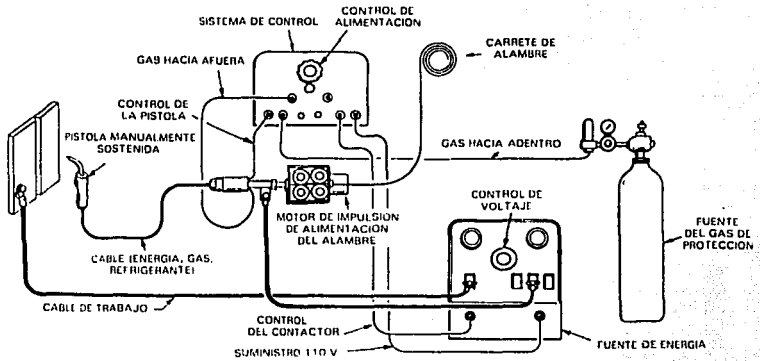


Diagrama de bloque del proceso de soldadura GMAW.  
Figura 1.6.4.4.

Otro aspecto importante dentro de la fabricación de un reactor, es la inspección de cada una de las juntas soldadas, a continuación veremos las pruebas más comunes que se realizan a reactores químicos, durante y al final de su fabricación, las cuales son consideradas como el control de calidad del mismo.

## 1.7 PRUEBAS A REACTORES QUIMICOS.

Existen diferentes factores que pueden provocar fallas en un reactor y sus accesorios, éstos están clasificados de la siguiente forma:

**Diseño:** Por la introducción involuntaria de zonas débiles, configuraciones de poca flexibilidad y de concentración de esfuerzos.

**Materiales:** Por la selección y recepción equivocada o mal manejo de ellos.

Defectos que se producen en los materiales al procesarlos: Principalmente en placas, tuberías y piezas forjadas, así como los procesos de fabricación utilizados, como son el formado, la soldadura, los tratamientos térmicos y limpieza del equipo, por corrosión y erosión, condiciones de servicio no previstas en el diseño, por montaje, por manejo y por transformación inadecuados. Debido a los defectos que pudieran presentarse en el material, se ha requerido la necesidad de realizar algunas pruebas no destructivas para poder tener un mejor control e inspección más riguroso de las condiciones en las cuales se encuentra el material.

Para evitar fallas durante la vida útil de los reactores químicos y sus accesorios, es necesario hacer pruebas no destructivas (las cuales son el control de calidad al que estará sujeto el reactor químico) a fin prevenir las fallas de operación, para ello se debe recurrir a los códigos o normas para decidir la aceptabilidad de los defectos y para controlar la calidad de las soldaduras realizadas. A continuación veremos las pruebas no destructivas más comunes a las que se someten los reactores químicos:

### 1.7.1 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

Una prueba no destructiva es el examen de un objeto efectuado en cualquier forma que no impida su utilización futura.

Las pruebas no destructivas se utilizan para hacer productos más confiables, seguros y económicos, los fabricantes recurren a estas pruebas para mejorar y controlar los procesos de fabricación.

Los métodos de prueba o inspección no destructivas más comunes son: inspección visual, inspección por partículas magnéticas, inspección ultrasónica, líquidos penetrantes, inspección radiográfica, prueba hidrostática y prueba neumática.

**Inspección Visual.** La inspección visual del objeto nunca debe omitirse, se emplea desde el control de superficies hasta la detección de grietas y hendiduras. El inspector debe controlar la forma externa de la soldadura midiendo los esfuerzos y profundidad de socavados y dimensiones de las soldadura de esquina; antes de efectuarse la soldadura debe verificarse visualmente la ausencia de laminaciones e inclusiones o adherencias en las caras de las ranuras que pueden provocar defectos en la soldadura y la ausencia de

hendiduras o grietas en la superficie de la placa. Esta inspección con ayuda o sin ayuda óptica puede evitar numerosos problemas, sin embargo no se detectan defectos finos ni internos.

**Inspección por partículas magnéticas.** Es un procedimiento utilizado para determinar la presencia de fisuras, recubrimientos, rasgones, inclusiones y discontinuidades semejantes en materiales ferromagnéticos. El método detectará discontinuidades de la superficie o ligeramente por debajo de ella. Se basa en el principio de que si un objeto es magnetizado, los defectos del material son localizados advirtiendo las irregularidades del flujo magnético mediante las partículas magnéticas (polvo coloreado o líquido fluorescente), sobre la superficie.

En condiciones favorables, una grieta es indicada por una línea de las partículas que siguen el contorno de la grieta y un defecto sub-superficial por una acumulación de las partículas sobre la superficie cercana al defecto. Los defectos superficiales solo pueden localizarse cuando están relativamente cercanos a la superficie, si está muy lejos por debajo de la superficie no habrá ninguna fuga del campo magnético y en consecuencia no se obtendrá ninguna indicación.

La magnetización de la pieza se puede llevar a cabo por medio de un flujo magnético que puede ser originado, por el paso de corriente directa, corriente alterna o corriente alterna rectificada a través de un material, usando una bobina o envolviendo la pieza por un arrollamiento.

El método residual, consiste en magnetizar la pieza y luego cubrirla con finas partículas magnéticas (polvo de hierro).

El método continuo, consiste en la magnetización y aplicación de las partículas simultáneamente.

En el método húmedo, las partículas magnéticas se mantienen en suspensión de un líquido que se vierte sobre la pieza, o la pieza puede sumergirse en la suspensión.

La superficie por inspeccionar debe estar libre de grasas u otros materiales que puedan detener las partículas e impedir su desplazamiento.

**Inspección ultrasónica.** Este método se basa en el movimiento libre de un haz de ondas sonoras de alta frecuencia para localizar diminutos defectos internos en objetos metálicos, consiste en utilizar ondas de sonido fuera del intervalo auditivo, con una frecuencia de 1 a 5 millones de Hz (ciclos por segundo), estas ondas son producidas electrónicamente. Las ondas ultrasónicas para pruebas no destructivas las producen materiales piezoeléctricos, los cuales sufren un cambio en su dimensión física cuando se someten a un campo eléctrico. La conversión de energía eléctrica a energía mecánica se conoce como efecto piezoeléctrico.

Si se aplica un campo eléctrico alterno a un cristal piezoeléctrico, el cristal se expandirá durante la primera mitad del ciclo y se contraerá cuando el campo eléctrico se invierta. El cuarzo es un transductor ultrasónico. El transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

El método de transmisión continua utiliza un transductor como emisor y otro como receptor independiente del objeto que va a revisar. Si al cristal emisor se le aplica un pulso eléctrico de la frecuencia deseada, las ondas ultrasónicas producidas se desplazarán a través de la muestra hasta el otro lado. El transductor de recepción situado en el lado opuesto recibe las vibraciones y las convierte en una señal eléctrica que se puede amplificar y observar en un osciloscopio.

Si la onda ultrasónica viaja a través de la muestra sin encontrar ninguna imperfección, la señal recibida será relativamente grande. Si hay imperfección en la trayectoria de la onda, parte de la energía se reflejará y la señal que recibirá el transductor de recepción se reducirá.

El método de eco-pulso utiliza sólo un transductor que sirve como transmisor y receptor. Si hay imperfección entre las superficies frontal y posterior del material, se detectará sobre la pantalla como una tercera señal entre las dos indicaciones correspondientes a la superficie frontal y superior.

Como las indicaciones en la pantalla del osciloscopio miden el tiempo transcurrido entre la reflexión del pulso desde las superficies frontal y posterior, la distancia entre las indicaciones es una medida del espesor del material por lo tanto la localización de un defecto puede determinarse con exactitud por la indicación que aparece sobre la pantalla.

El ASME, en su apéndice U para inspección de soldadura, da los patrones de calibración y corrección a efectuar durante la prueba así como los niveles de rechazo del pulso del defecto. Los defectos interpretados como falta de fusión, de penetración y grietas, no se aceptan en ningún caso.

El resultado de estas pruebas son de gran precisión y alta sensibilidad. También se pueden inspeccionar las soldaduras de esquina, por lo que la utilización de este método permite aumentar la eficiencia de la unión de soldaduras que sean muy bajas.

Para partes de mayor tamaño, una película de aceite asegura un contacto apropiado entre la unidad del cristal de búsqueda y la unidad de prueba.

Inspección por líquidos penetrantes. Este método se emplea para poner de manifiesto las discontinuidades abiertas a la superficie aplicando un líquido que tiene la propiedad de penetrar fácilmente en grietas aún cuando sean muy estrechas.

La pieza a probar se trata primero con un trazador o colorante (sustancia que penetra en las fisuras), generalmente son líquidos ligeros de apariencia aceitosa. El colorante es absorbido y los residuos restantes se limpian o se lava la pieza con un chorro de agua y después se seca con aire caliente, posteriormente se aplica un líquido revelador que va a absorber el colorante que penetra dentro del defecto y es detectado por la mancha que aparece al ser absorbido por el revelador, a fin de que el proceso de inspección sea eficaz, el colorante generalmente es rojo y el revelador blanco.

Este método se emplea en lugar del de partículas magnéticas en caso de metales no ferromagnéticos y no ferrosos.

Es un método fácil de aplicar si se toma la precaución de que el líquido penetre efectivamente, la superficie del material debe limpiarse de toda materia que pueda obstruir la entrada del líquido al defecto. Detecta solamente defectos abiertos a la superficie bajo inspección.

**Inspección Radiográfica.** La radiografía de metales se puede realizar mediante rayos X o rayos gamma. La radiación atraviesa los metales y parte de ella se absorbe, la cantidad absorbida depende del material y espesor atravesado.

Los rayos X se producen cuando la pieza es bombardeada por un haz de electrones que se mueven rápidamente, parte de su energía cinética se convierte en energía de radiación o rayos X.

Las inclusiones de materiales diferentes o la falta de material (cavidades), se detectan debido a las diferencias de absorción. El método más utilizado para medir esas diferencias es registrándolas en una película fotográfica.

Las uniones a tope de los reactores sujetos a presión que contengan gases o líquidos letales, deben ser radiografiadas 100%. En general, para otros casos el diseñador tiene la opción de radiografiar 100%, mostrar o no radiografiar ninguna unión, sin embargo, la eficiencia de la unión es función del porcentaje de radiografiado, para radiografiados total, por puntos o sin radiografiar es de 100%, 85% y 75% respectivamente.

A menor eficiencia resultará al diseñar un espesor mayor, lo que indica que la utilización de la inspección radiográfica proporciona un beneficio económico, utilizada como una herramienta efectiva, para controlar la calidad de la soldadura, ya que aplicada en su oportunidad permite corregir las causas que provocan soldaduras defectuosas lo cual reduce la posibilidad de efectuar dos o más veces la soldadura y las correspondientes reinspecciones.

El Código ASME, no admite en la soldadura ninguna grieta, falta de fusión o falta de penetración, en el apéndice IV se indican cartas de porosidad máxima, también se indican las normas para juzgar la aceptabilidad o rechazo de las soldaduras, indicando las dimensiones máximas permisibles.

La interpretación de la aplicación de este método requiere de personal adiestrado y calificado. Para espesores de más de 51 mm, se necesita utilizar aparatos pesados y poco manuales lo cual en general dificulta realizar la inspección radiográfica en campo.

**Prueba hidrostática.** Todos los recipientes diseñados por presión interna deberán sujetarse a una prueba hidrostática, la cual se aplicará en todos los puntos del recipiente.

La prueba se realizará sometiendo a presión los recipientes hasta alcanzar 1.5 veces la presión máxima permisible de trabajo (MAWP), con el fin de comprobar la resistencia del recipiente y sus accesorios, además de detectar la presencia de posibles fugas.

La MAWP, para un recipiente deberá definirse como: La máxima presión permisible en el elemento más débil del recipiente en condiciones corroidas, bajo el efecto de la temperatura en condiciones normales de operación y bajo los efectos de la carga hidrostática, la cual se agregará a la presión interna.

En todos los casos el valor de la MAWP, para el cálculo de la presión de prueba hidrostática será cuando el recipiente este nuevo y a temperatura ambiente (frío).

**Prueba neumática.** Esta prueba puede ser utilizada en lugar de la prueba hidrostática y se recomienda usarla en los siguientes casos:

- a) Para recipientes que por algún motivo no puedan ser llenados de agua.
- b) Para recipientes que no puedan secarse fácilmente y que vayan a usarse en servicio en donde las huellas de la prueba con agua no puedan permitirse.

La presión de la prueba neumática será al menos igual a 1.25<sup>9</sup> veces la MAWP.

Las pruebas hidrostática y neumática reemplazan a todas las demás pruebas no destructivas, tanto del material como de la soldadura, por lo que un recipiente puede pasar la prueba pero puede fallar en servicio a causa del desarrollo de grietas, que es lento y depende de muchos factores. No controlar estos factores conduce a una posición antieconómica e irresponsable. Por lo que se debe de dar mantenimiento continuo a los reactores químicos para evitar que se desarrollen dichas grietas.

Es importante hacer notar que en este capítulo únicamente se mencionaron las generalidades sobre los reactores químicos, ya que este campo es sumamente amplio. En el capítulo 2, hablaremos sobre la prefabricación de los reactores químicos, tomando en cuenta principalmente las necesidades del usuario y mostraremos la memoria de cálculo de las principales partes del mismo, los dibujos de taller, así como la lista de los materiales más importantes para la fabricación.

---

<sup>9</sup>Pressure Vessel Handbook. Eugene F. Megvesy.

## 2.- SELECCION Y MEMORIA DE CALCULO.

## 2.- SELECCION Y MEMORIA DE CALCULO.

### 2.1. TIPO DE REACTOR A FABRICAR DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DEL USUARIO.

La prefabricación del reactor químico se determina básicamente por los parámetros especificados por el usuario de acuerdo a sus necesidades, esos parámetros son cuidadosamente evaluados y la mejor combinación costo-beneficio es seleccionada. Para nuestro caso práctico los datos de diseño proporcionados por el usuario y a los cuales nos apegaremos estrictamente son los siguientes, pues a nuestro juicio la selección es la adecuada:

Tanque reactor del tipo discontinuo, sometido a presión de forma cilíndrica vertical de las siguientes características:

#### A) Recipiente:

- |                                   |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1.- Volumen de operación máximo   | 7,570 lts.                            |
| 2.- Material de fabricación       | Acero inoxidable tipo SA 240 TP 316L. |
| 3.- Presión máxima de trabajo     | 3.163 Kg/cm <sup>2</sup> (45 PSIG).   |
| 4.- Temperatura máxima de trabajo | 166.66° C (332° F).                   |
| 5.- Tolerancia por corrosión      | 0.793 mm (0.03125").                  |

#### B) Medio calefactor:

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1.- Tipo                          | Chaqueta de Media caña.   |
| 2.- Material de fabricación       | Acero inoxidable tipo SA 312 TP 304.  |
| 3.- Dimensiones                   | Tubo de 3" de diámetro nominal, con un paso de 11.43cm (4.5") entre medias cañas. |
| 4.- Presión máxima de trabajo     | 6.326 Kg/cm <sup>2</sup> (90 PSIG).   |
| 5.- Temperatura máxima de trabajo | 166.66° C (332° F).   |
| 6.- Tolerancia por corrosión      | 0.793 mm (0.03125").  |

#### C) Sistema de agitación:

- |                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1.- Densidad del producto         | De 1.07 a 1.1 Gr/ML.     |
| 2.- Viscosidad del producto       | De 100 a 2000 cP.        |
| 3.- Deflectores                   | 4 Fijos.                 |
| 4.- Velocidad Máxima de operación | 100 r.p.m.               |
| 5.- Tipo de agitador              | Axial con 4 aspas a 45°. |

#### D) Datos generales:

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| 1.- Producto a manejar   | LACAS (Solventes).       |
| 2.- Lugar de instalación | Lerma, Estado de México. |



## E) Especificaciones de diseño:

### 1.- Tabla de boquillas:

<u>CANTIDAD</u>	<u>DIAM.</u>	<u>TIPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>DESCRIPCION</u>	
1	18 "	Lap-Joint	150 lbs,	Entrada de Hombre.	A
1	8 "	Slip - on	150 lbs,	Agitador.	B
1	8 "	Lap-Joint	150 lbs,	Proceso.	C
1	4 "	Lap-Joint	150 lbs,	Ret. de condensados.	D
1	4 "	Lap-Joint	150 lbs,	Disco de ruptura.	E
1	4 "	Lap-Joint	150 lbs,	Salida de producto.	F
4	3 "	Lap-Joint	150 lbs,	Proceso.	G, H, I, J.
3	2 "	Lap-Joint	150 lbs,	Catalizadores #1, #2 y #3.	K, L, M.
1	2 "	Lap-Joint	150 lbs,	Monomeros.	N
1	1½"	Lap-Joint	150 lbs,	Muestreo.	O.

### 2.- Radiografiado de las juntas soldables:

Tapas	Total.
Envolvente	Por puntos.
3.- Tipo de soportes	Cartabones laterales

## 2.2. SELECCION DE PARTES Y COMPONENTES DEL RECIPIENTE.

Para realizar un diseño adecuado a las características y necesidades requeridas por el cliente, debemos de elegir de entre muchos tipos de componentes y factores técnicos los que se ajusten a la necesidad de nuestro diseño.

Una vez estudiados los datos que proporciona el usuario, elegimos como partes componentes las siguientes:

**Envolvente cuerpo.** La envolvente del cuerpo principal será del tipo cilíndrica ya que fabricarla esférica resultaría muy costoso e injustificable además de no ser muy común.

**Cabezas.** Debido a que la selección de las cabezas está directamente relacionada con la presión de diseño, la cual es igual a la máxima presión de trabajo más 2.11 Kg/cm<sup>2</sup> ó 10% la máxima presión de trabajo (lo que sea mayor)<sup>10</sup>, lo que en nuestro caso corresponde a menos de 10 Kg/cm<sup>2</sup> por lo que el tipo de cabeza a utilizar será de forma torisférica F&D ASME, ya que la presión de diseño del recipiente no es muy elevada y no habría un ahorro sustancial si se utilizará una tapa semielíptica o semiesférica.

<sup>10</sup>Pressure Vessel Handbook. Eugene F. Megyesy.

### 2.3 CALCULO DEL TAMAÑO DEL REACTOR.

Las dimensiones del reactor están en función del volumen de operación máximo. Los fabricantes de reactores generalmente seleccionan el tamaño del reactor tomando como base que el volumen de operación sea (para un reactor tanque) el volumen que aloje únicamente la parte recta de la envolvente del recipiente y además que dicha parte recta tenga una relación no mayor a 1.5 veces el diámetro del recipiente.

En nuestro caso práctico el *volumen de operación máximo es de 7,570 litros (2,000 galones)*, por lo que nos basaremos en la *tabla 2.3.1* para determinar las dimensiones del tanque y tenemos que:

#### A) Diámetro del recipiente.

i) Si el diámetro interior del recipiente es de 1,828.8 mm (72") el volumen sería de 2,626.4 litros/metro (211.5 galones/pie), entonces:

$$\begin{aligned} \text{Parte recta máxima} &= (\text{Diámetro interior}) (1.5) = 1.8288 \text{ metros} \times 1.5 = 2.7432 \text{ metros} \\ \text{Volumen máximo de parte recta} &= (2.7432 \text{ metros})(2626.4 \text{ litros/metro}) \\ &= 7,204.74 \text{ litros.} \end{aligned}$$

No satisface el volumen requerido ( $7,570 > 7,204.7$  litros).

ii) Si el diámetro interior del recipiente es de 1,981.2 mm (78") el volumen sería de 3,082.14 litros/metro (248.2 galones/pie), entonces:

$$\begin{aligned} \text{Parte recta máxima} &= (\text{Diámetro interior}) (1.5) = 1.9812 \text{ metros} \times 1.5 = 2.9718 \text{ metros} \\ \text{Volumen máximo de parte recta} &= (2.9718 \text{ metros})(3082.14 \text{ litros/metro}) \\ &= 9,159.5 \text{ litros} \end{aligned}$$

Si satisface el volumen requerido ( $7,570 < 9,159.5$  litros).

#### B) Parte Recta del recipiente.

i) El diámetro interior del recipiente es de 1,981.2 mm (78") y el volumen es de 3,082.14 litros/metro (248.2 galones/pie), entonces:

$$\text{Parte recta} = (7,570 \text{ litros}) / (3,082.14 \text{ litros/metro}) = 2.456 \text{ metros (96.7").}$$

En conclusión:

El diámetro interior del recipiente será de:

$$\underline{D_i = 1,981.2 \text{ mm (78")}}$$

Para facilitar nuestra labor de diseño mecánico, usaremos la parte recta del recipiente de:

$$\underline{P.R. = 2,463.8 \text{ mm (97").}}$$

VOLUMEN DE ENVOLVENTES Y CABEZAS<sup>11</sup>.

Diam. int. in.	ENVOLVENTE CILINDRICA				TAPAS ASME P & D *			
	PIES <sup>3</sup>	Gal.	Bbl.	PESO DE ACUA	PIES <sup>3</sup>	Gal.	Bbl.	PESO DE ACUA
12	0.8	5.9	0.14	49	0.08	0.58	0.01	4.83
14	1.1	8.0	0.19	67	0.12	0.94	0.02	7.83
16	1.4	10.4	0.25	87	0.19	1.45	0.03	12.08
18	1.8	13.2	0.31	110	0.27	2.04	0.05	17.00
20	2.2	16.3	0.39	136	0.37	2.80	0.07	28.33
22	2.6	19.7	0.47	165	0.50	3.78	0.09	31.49
24	3.1	23.5	0.56	196	0.65	4.86	0.12	40.49
26	3.7	27.6	0.66	230	0.82	6.14	0.15	51.15
28	4.3	32.0	0.76	267	1.10	8.21	0.20	68.40
30	4.9	36.7	0.87	306	1.30	9.70	0.23	80.81
32	5.6	41.8	0.99	349	1.64	12.30	0.29	102.5
34	6.3	47.2	1.12	394	1.88	14.10	0.34	117.5
36	7.1	52.9	1.26	441	2.15	16.10	0.38	134.1
38	7.9	58.9	1.40	492	2.75	20.60	0.49	171.6
40	8.7	65.3	1.55	545	3.07	23.00	0.55	191.6
42	9.6	72.0	1.71	601	3.68	27.50	0.65	229.1
48	12.6	94.0	2.24	784	5.12	38.30	0.91	319.1
54	15.9	119.0	2.83	993	7.30	54.60	1.30	454.9
60	19.6	146.9	3.50	1226	10.08	75.40	1.80	628.2
66	23.8	177.7	4.23	1483	13.54	101	2.41	843.9
72	28.3	211.5	5.04	1765	17.65	132	3.14	1100
78	33.2	248.2	5.91	2071	22.32	167	3.98	1391
84	38.5	287.9	6.85	2402	28.47	213	5.07	1775
90	44.2	330.5	7.87	2758	35.56	266	6.33	2216
96	50.3	376.0	8.95	3138	42.51	318	7.57	2649
102	56.7	424.4	10.11	3542	52.14	390	9.29	3249
108	63.6	475.9	11.33	3971	60.96	456	10.86	3799
114	70.9	530.2	12.62	4425	73.66	551	13.12	4590
120	78.5	587.5	13.99	4903	84.35	631	15.02	5257
126	86.6	647.7	15.42	5405	97.32	728	17.33	6065
132	95.0	710.9	16.93	5932	108.7	813	19.36	6773
138	103.9	777.0	18.50	6484	127.0	950	22.62	7915
144	113.1	846.0	20.14	7060	147.9	1106	26.33	9214

\*No está incluido el volumen comprendido dentro de la parte recta de la cabeza.

Tabla 2.3.1.

<sup>11</sup>Pressure Vessel Handbook. Eugene F. Megyesy.

## 2.4. MEMORIA DE CALCULO.

En esta sección se presentará la memoria de cálculo de las principales partes componentes de reactor químico, ya que es la base para una buena construcción del mismo. Mostrando únicamente el diseño mecánico de la estructura principal

### 2.4.1 NOMENCLATURA

- B .- Ancho del baffle.
- Bc .- Distancia de separación entre baffle y cuerpo del reactor.
- Bt .- Espesor mínimo del baffle.
- Btn .- Espesor nominal del baffle.
- C .- Tolerancia por corrosión.
- d .- Distancia entre impulsores.
- dr .- Diámetro de la flecha.
- D .- Diámetro del impulsor.
- Di .- Diámetro interior del recipiente.
- Do .- Diámetro exterior del recipiente.
- Dsb .- Distancia entre soportes baffle.
- E .- Eficiencia en la soldadura.
- Esm .- Eficiencia del sistema motriz.
- Fb .- Fuerza no balanceada causada por el mezclado.
- MHp .- Potencia del motor en horsepower.
- MHpn .- Potencia nominal del motor en horsepower.
- K .- Factor Obtenido de las figuras EE-1, EE-2 ó EE-3, del Anexo B.
- L .- Radio interior de abombado de las cabezas.
- Lb .- Longitud del baffle.
- Le .- Longitud de la envolvente cuerpo.
- Li .- Distancia de la tapa superior al impulsor inferior
- Lis .- Distancia de la tapa superior al impulsor superior.
- M .- Factor de cálculo para tapas tori esféricas.
- Mb .- Momento de mezclado total.
- Mi .- Momento de mezclado efectuado por el impulsor inferior.
- Ms .- Momento de mezclado efectuado por el impulsor superior.
- nb .- Número de baffles.
- N .- Velocidad máxima de operación en r.p.m.
- NRe .- Número de reynolds.
- P .- Presión interna de diseño del recipiente.
- Pa .- Máxima presión externa de trabajo permisible.
- Pc .- Presión interna de diseño en la chaqueta.
- Pet .- Presión externa de trabajo.
- Ped .- Presión externa de diseño.
- Ph .- Presión de carga hidrostática.
- Po .- Presión máxima de operación del recipiente.
- Poc .- Presión máxima de operación en la chaqueta.

- P.R. - Parte recta del recipiente.  
 Psm - Pérdidas por fricción del sistema motriz.  
 r - Radio de rodilla.  
 rie - Radio interior de la chaqueta de media caña.  
 R - Radio del impulsor.  
 Ri - Radio interior del recipiente.  
 Ro - Radio exterior de abombado de las cabezas.  
 S - Esfuerzo del material.  
 SHp - Potencia requerida por la flecha del agitador.  
 Sr - Esfuerzo del material del recipiente.  
 Sc - Esfuerzo del material de la chaqueta.  
 t - Espesor nominal.  
 tc - Espesor nominal de la chaqueta de media caña.  
 td - Espesor de diseño.  
 tde - Espesor mínimo de diseño de la chaqueta de media caña.  
 T - Temperatura de diseño.  
 To - Temperatura máxima de operación.  
 U.F. - Factor del torque no balanceado  
 Z - Longitud del máximo nivel de agitación.  
 Sg - Densidad del producto.  
 $\mu$  - Viscosidad del producto

## 2.4.2 ANALISIS DE DATOS PARA EL CALCULO.

Para el diseño mecánico del recipiente base, de la chaqueta y del sistema de agitación del reactor químico, empezaremos determinando los datos necesarios de acuerdo a las necesidades del usuario tomando en consideración que el material a utilizar será: SA 240 TP 316L (especificación para placa de acero inoxidable tipo 316 con bajo contenido de carbono) para el cuerpo del reactor y SA 312 TP 304 (especificación para tubo de acero inoxidable tipo 304) para el medio calefactor.

*Dimensiones determinadas:*

$$D_i = 1,981.2 \text{ mm (78")}$$

$$P.R. = 2,463.8 \text{ mm (97")}$$

Condiciones de operación:

### Presión interna de diseño del recipiente (P):

Sabiendo que la presión interna máxima de operación del recipiente ( $P_o$ ) es igual a 3.163 kg/cm<sup>2</sup>, la presión de diseño es determinada por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Si } P_o > 21.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = 1.1 \times P_o$$

$$\text{Si } P_o < 21.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = P_o + 2.11 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo que la presión de diseño es:

$$P = 3.163 \text{ kg/cm}^2 + 2.11 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = 5.273 \text{ kg/cm}^2 \text{ (75 psi)}$$

Presión interna de diseño en la chaqueta (Pc):

Por otro lado la presión interna máxima de operación en la chaqueta (Poc) es igual a 6.326 kg/cm<sup>2</sup>, la presión de diseño en la chaqueta es determinada también por las ecuaciones anteriores:

$$P_c = 6.326 \text{ kg/cm}^2 + 2.11 \text{ kg/cm}^2 \quad \underline{P_c = 8.436 \text{ kg/cm}^2 (120 \text{ psi})}$$

Temperatura de diseño (T):

La temperatura de diseño tomando como base que la máxima temperatura de operación (To) es 166.66°C será de:

$$T = T_o + 10^\circ\text{C} = 166.66^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C} \quad \underline{T = 176.66^\circ\text{C} (350^\circ\text{F})}$$

**Factores a considerar:**

La corrosión (C) por especificación del usuario será de: C = 0.793mm (0.03125").

La eficiencia de las juntas soldables (E), se tomará en concordancia con la norma UW 12, mostrada en la *tabla 1.7.3.1* para juntas a tope hechas de doble cordón:

Tapas	Total	100%	<u>E = 1.00</u>
Envolvente	Por puntos	85%	<u>E = 0.85</u>

Los valores de los esfuerzos máximos permisibles (S) serán obtenidos de la tabla 1A de la Sección II Parte D del Código ASME (Página 66), que se muestra en el Anexo A del presente trabajo.

Para el recipiente base construido de SA 240 TP 316L, de acuerdo a P = 5.273 kg/cm<sup>2</sup> (75 PSIG) y T = 176.66°C (350°F): Sr = 1,110.564 kg/cm<sup>2</sup> (15,800psi).

Para la chaqueta de media caña construida de SA 312 TP 304, de acuerdo a Pc = 8.436 kg/cm<sup>2</sup> (120 PSIG) y T = 176.66°C (350°F): Sc = 1,128.375 kg/cm<sup>2</sup> (16,053.40psi).

**Dimensiones de las cabezas:**

El radio interior de abombado (L) de las cabezas es aproximadamente igual al diámetro interior del recipiente (Di), por lo que asumimos que: L = 1,981.2 mm (78").

Por otro lado, el radio de rodilla (r) para una tapa torisférica F&D ASME se recomienda que sea no menor al 6% de L:

$$r = 0.06 L = (0.06)(1,981.2 \text{ mm}) \quad r = 118.872 \text{ mm (4.68")}$$

Debido a que no existe un dado de 118.872 mm (4.68"), ajustaremos a:

$$\text{Usar dado de } 3/4" \quad \underline{r = 120.65 \text{ mm (4.75")}.^{12}}$$

<sup>12</sup>Este valor es mayor al 6% de L, por lo que deberá usarse la fórmula indicada en el Apéndice I-4(d) Ecuación 3 del Código ASME.

Ya definidas las dimensiones del reactor químico, empezaremos por calcular los espesores del recipiente, así como los de la chaqueta de media caña para más tarde continuar con las dimensiones del sistema de agitación y por último calcularemos la habilitación de los materiales de construcción.

## 2.5. CALCULO DE ESPESORES DEL RECIPIENTE.

Tomando como base las condiciones de diseño del reactor químico sujeto a presión, es de suma importancia calcular los espesores que puedan soportar dichas condiciones de operación. Para realizar el cálculo de los espesores requeridos en un recipiente cilíndrico vertical, se debe de considerar que además de actuar la presión de operación actúa la presión de carga hidrostática debida a la columna de fluido.

El fluido contenido en el recipiente ejerce presión sobre las paredes del mismo. Cuando el fluido está en reposo, la intensidad de la presión en un punto es igual en todas direcciones hacia los lados y el fondo del recipiente y varía según la altura del fluido respecto al punto en que se está considerando la presión.

Sabemos que la altura del reactor químico no es mayor a 1.5 veces su diámetro, dicha presión de carga hidrostática puede ser despreciada ya que su valor es relativamente pequeño.

El cálculo de los espesores del reactor químico está dividido en tres partes: la primera de ellas comprende el cálculo de los espesores de las cabezas, la segunda el cálculo del espesor de la envolvente cuerpo y por último el cálculo del espesor del medio calefactor.

### 2.5.1 CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CABEZAS.

Las cabezas de los reactores químicos están sujetas a dos presiones, la presión interna y la presión externa, las cuales se calculan a continuación:

#### 1.- Cálculo por presión interna Apéndice 1-4(d) Ecuación 3.

Para toda cabeza torisférica ASME F&D se debe de calcular primeramente el factor M, para poder determinar el espesor de las cabezas:

Cálculo del factor M:

$$M = .25 * (3 + (L/r)^{0.5}).$$

$$= .25 * (3 + (1,981.2 \text{ mm}/120.65 \text{ mm})^{0.5}) \quad M = 1.763.$$

El espesor de las cabezas es:

$$td = P * L * M / (2 * S * E - 0.2 * P) + C.$$

$$= (5.273 \text{ kg/cm}^2 * 198.12 \text{ cm} * 1.763) / (2 * 1,110.564 \text{ kg/cm}^2 * 1 - 0.2 * 5.273 \text{ kg/cm}^2) + C.$$

$$td = 9.089 \text{ mm } (0.357").$$

El espesor nominal (comercial) es:

$$t = 9.525 \text{ mm } (0.375").$$

La máxima presión interna permisible tomando el valor del espesor nominal (t) es.

$$P = 2 * Sr * E * t / (L * M + 0.2 * t)$$

$$= (2 * 1,110.564 \text{ kg/cm}^2 * 1 * 0.9525 \text{ cm}) / (198.12 \text{ cm} * 1.763 + 0.2 * 0.9525 \text{ cm})$$

$$P = 6,054 \text{ kg/cm}^2 (86,130 \text{ psi})$$

## 2.- Cálculo por presión externa UG-33-(2)(e).

Sabiendo que el radio interior de abombado (L) es 1,981.2 mm y que el espesor nominal (t) es 9.52 mm, tenemos que el radio exterior de abombado (Ro) es:  
 $Ro = L + t = 1,981.2 \text{ mm} + 9.52 \text{ mm} = 1,990.72 \text{ mm}$

Procedemos a calcular el valor del factor A:

$$A = 0.125 / (Ro/t) = 0.125 / (1,990.72 \text{ mm} / 9.52 \text{ mm}) \quad A = 0.000598.$$

De la figura HA-4 Anexo B<sup>13</sup> para el valor de  $A = 0.000042 \text{ kg/cm}^2 (0.000598 \text{ psi})$ ;  $B = 435.791 \text{ kg/cm}^2 (6200 \text{ psi})$ ; entonces la máxima presión externa de diseño permisible (Ped) será de:

$$Ped = B / (Ro/t) = 435.791 \text{ kg/cm}^2 / (1,990.72 \text{ mm} / 9.52 \text{ mm})$$

$$Ped = 2,085 \text{ kg/cm}^2 (29,665 \text{ psi})$$

Por lo que el espesor nominal (t) de diseño de las cabezas es el adecuado para soportar la presión de trabajo (Pet) a la cual estarán sujetas las cabezas:

$$Pet < Ped$$

$$1.05 \text{ kg/cm}^2 < 2.085 \text{ kg/cm}^2$$

### 2.5.2 CALCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE CUERPO.

Al igual que las cabezas, la envolvente cuerpo ésta sujeta a dos presiones, la presión interna y la presión externa, las cuales calcularemos a continuación:

#### 1.- Cálculo del espesor de la envolvente cuerpo por presión interna UG-27(c).

El espesor por presión interna se calcula determinando el máximo espesor que resulte del cálculo de los esfuerzos circunferenciales y longitudinales a los que está sujeta la envolvente cuerpo:

a) Cálculo del espesor de la envolvente cuerpo sujeta a esfuerzos circunferenciales, por UG-27(c)(1).

$$td = P * R / (Sr * E - 0.6 * P) + C$$

$$= (5.273 \text{ kg/cm}^2 * 99.06 \text{ cm}) / (1,110.564 \text{ kg/cm}^2 * 0.85 - 0.6 * 5.273 \text{ kg/cm}^2) + 0.0793 \text{ cm}$$

$$td = 6.345 \text{ mm} (0.249")$$

<sup>13</sup> Procedente de la figura HA-4 pagina 681 del Código ASME Sección II parte D.



Por proceso de fabricación, es conveniente uniformar el espesor nominal ( $t$ ) de las cabezas con el de la envolvente cuerpo ( $t$ ), por lo que:

$$t = 9.525 \text{ mm (0.375")}$$

b) Cálculo del espesor de la envolvente cuerpo sujeta a *esfuerzos longitudinales*, por UG-27(c)(2).

$$t_d = P \cdot R / (2S_r \cdot E + 0.4 \cdot P) + C$$

$$= (5.273 \text{ kg/cm}^2 \cdot 99.06 \text{ cm}) / (2 \cdot 1,110.564 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0.85 + 0.4 \cdot 5.273 \text{ kg/cm}^2) + 0.0793 \text{ cm}$$

$$t_d = 0.355 \text{ mm (0.140")}$$

Como se mencionó en el capítulo 1, correspondiente a la envolvente cuerpo del reactor químico (1.5.1.1), el esfuerzo de la costura circunferencial es aproximadamente igual al doble de la magnitud del esfuerzo que obra en la costura longitudinal, por lo que el espesor de diseño ( $t_d$ ) mandatoria para la envolvente cuerpo sujeta a presión interna es:

$$t = 9.525 \text{ mm (0.375")}$$

Por lo que la máxima presión interna permisible tomando el valor del espesor nominal ( $t$ ) es:

$$P = S_r \cdot E \cdot t / (R + 0.6 \cdot t)$$

$$= (1,110.564 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0.85 \cdot 0.9525) / (99.06 \text{ cm} + 0.6 \cdot 0.9525 \text{ cm})$$

$$P = 9.025 \text{ kg/cm}^2 \text{ (128.394 psi)}$$

## 2.- Cálculo del espesor de la envolvente cuerpo por presión externa UG-28.

El cálculo por presión externa se realiza proponiendo un espesor ( $t$ ), el cual nos dará la máxima presión externa de trabajo permisible ( $P_a$ ) para dicho valor (de acuerdo a las ecuaciones a continuación descritas), la cual se comparará con la presión externa de trabajo ( $P_{et}$ ) a la que estará sujeto el reactor, en caso de que  $P_a$  sea menor a  $P_{et}$  se tendrá que proponer un espesor ( $t$ ) mayor hasta que  $P_a$  sea mayor a  $P_{et}$ .

Tomando un espesor ( $t$ ) de 9.525 mm (0.375") y sabiendo que la longitud y el diámetro exterior del recipiente es de:

$$L_e = P.R. = 2,463.8 \text{ mm (97")}$$

$$D_o = 1,981.2 \text{ mm} + 2(9.525 \text{ mm}) = 2,000.25 \text{ mm (78.75")}$$

Aplicando las ecuaciones descritas en UG-28, tenemos que:

$$L_e / D_o = 2,463.80 \text{ mm} / 2,000.25 \text{ mm} \quad L_e / D_o = 1.232$$

$$D_o / t = 2,000.25 \text{ mm} / 9.525 \text{ mm} \quad D_o / t = 210$$

De la figura G del Anexo B<sup>14</sup>, tenemos que de acuerdo a los datos obtenidos  $A = 0.00036$ .

<sup>14</sup> Procedente de la figura G de la subparte 3, parte D del Código ASME Sección II.

Por lo que de la figura HA-4 Anexo B<sup>15</sup>, para el valor de A, corresponde que B = 4800 psi (337.387 kg/cm<sup>2</sup>).

La máxima presión permisible de trabajo, por UG-28 (c)(1)(paso 6) para la envolvente cuerpo sujeta a presión externa es:

$$P_a = 4 * B / (3 * D_o / t) = 4 * 337.387 / (3 * 2.10) \quad P_a = 2,142 \text{ kg/cm}^2 (30,476 \text{ psi}),$$

Por lo que:

$$\bullet \quad P_a > P_{et}$$

$$2.142 \text{ kg/cm}^2 > 1.05 \text{ kg/cm}^2$$

## 2.6 CALCULO DE ESPESORES DE LA CHAQUETA DE MEDIA CAÑA.

Los datos necesarios para el cálculo de espesores de la chaqueta de media caña son los siguientes:

Para el recipiente base construido de SA 240 TP 316L tenemos que:

$$P = 5.273 \text{ kg/cm}^2 (75 \text{ psi}).$$

$$T = 176.66^\circ\text{C} (350^\circ\text{F}).$$

$$S_r = 1,110.564 \text{ kg/cm}^2 (15,800 \text{ psi}).$$

$$R_i = 99.06 \text{ cm} (39").$$

Para la chaqueta de media caña construida de SA 312 TP 304, tenemos que:

$$P_c = 8.436 \text{ kg/cm}^2 (120 \text{ psi}).$$

$$T = 176.66^\circ\text{C} (350^\circ\text{F}).$$

$$S_c = 1,128.375 \text{ kg/cm}^2 (16,053.40 \text{ psi}).$$

Para calcular el espesor mínimo de diseño de la Chaqueta de media caña ( $t_{dc}$ ), tomando como base que el tubo a utilizar es de 3" diámetro nominal, se procede de la siguiente manera:

1.- Se propone la cédula (espesor) del tubo de la media caña ( $t_c$ ), a fin de determinar el diámetro interior del mismo ( $ric$ ) y después se aplica la siguiente fórmula:  $t_{dc} = (P_c * ric) / (0.85 S_c - 0.6 P_c) + C$ , la cual nos mostrará el espesor mínimo requerido para soportar la presión de operación ( $P_c$ ) de acuerdo al radio de la chaqueta ( $ric$ ).

2.- Una vez determinado el espesor mínimo requerido por diseño ( $t_{dc}$ ), se procede a compararlo con el espesor nominal de la chaqueta ( $t_c$ ); en caso de que  $t_{dc}$  sea mayor a  $t_c$ , la cédula elegida no es la adecuada para soportar la presión interna de diseño en la chaqueta ( $P_c$ ), por lo que se deberá elegir una cédula más gruesa hasta que  $t_{dc}$  sea menor a  $t_c$ .

<sup>15</sup> Procedencia de la figura HA-4 (pagina 681) del Código ASME Sección II Parte D.

## 2.6.1 CALCULO DEL ESPESOR DE LA CHAQUETA DE MEDIA CAÑA EN EL CUERPO DEL REACTOR QUIMICO.

De acuerdo con lo establecido por el usuario, la chaqueta de media caña será construida con tubo de 3" de diámetro nominal, con un paso de 114.3 cm (4.5") entre medias cañas y siguiendo los pasos anteriormente descritos tenemos que:

a) La cédula a proponer es 10s y ésta tiene un diámetro interior de 3.26", tal como se muestra en la tabla 2 del Anexo A<sup>16</sup>. Por lo que el radio interior de la chaqueta (ric) es de 4.14 cm (1.63") y el espesor mínimo de diseño de la chaqueta de media caña (tdc) será el siguiente:

$$\begin{aligned} tdc &= (Pc \cdot ric) / (0.85Sc - 0.6Pc) + C. \\ &= (8.436 \text{ kg/cm}^2 \cdot 4.14 \text{ cm}) / (0.85 \cdot 1,128.375 \text{ kg/cm}^2 - 0.6 \cdot 8.436 \text{ kg/cm}^2) + 0.0793 \text{ cm.} \\ tdc &= 0.1157 \text{ cm (0.0455)}. \end{aligned}$$

b) Comparando los espesores tenemos que:

$$\begin{aligned} tdc &< tc \\ 0.1157 \text{ cm (0.0455)} &< 0.3048 \text{ cm (0.120)}. \end{aligned}$$

Como se puede observar el espesor mínimo de diseño de la chaqueta (tdc) es menor al espesor nominal de la chaqueta (tc), por lo que el tubo cédula 10s seleccionado es el adecuado para soportar la presión de diseño en la chaqueta de media caña.

b) La máxima presión permisible de la chaqueta de media caña (Poc) de acuerdo al espesor nominal (tc) del recipiente es:

$$Poc = (1.5 \cdot Sr - S) / k.$$

$$\begin{aligned} S &= (P \cdot Ri) / 2t = (5.273 \text{ kg/cm}^2 \cdot 99.06 \text{ cm}) / 2 \cdot 0.9525 \text{ cm} \\ S &= 274.196 \text{ kg/cm}^2 (3900.98 \text{ psi}). \end{aligned}$$

De la figura EE-2<sup>17</sup> para tubo de 3" de diámetro, tomando en cuenta que el radio interior del recipiente (Ri) es igual a 99.06 cm (39") y además que t = 0.9525 cm (0.375"). Obtenemos que K = 3.3

Por lo que la máxima presión de operación en la chaqueta es:

$$\begin{aligned} Poc &= (1.5 \cdot 1,110.564 \text{ kg/cm}^2 - 274.196 \text{ kg/cm}^2) / 3.3 \\ Poc &= 421.71 \text{ kg/cm}^2 (5,99.70 \text{ psi}) \end{aligned}$$

<sup>16</sup> Procedente del Pressure Vessel Handbook. Eugene F. Megyest.

<sup>17</sup> Procedente del Apéndice EE del Código ASME Sección VIII. Pagina 625.

## 2.6.2 CALCULO DEL ESPESOR DE LA CHAQUETA DE MEDIA CAÑA EN LA CABEZA INFERIOR DEL REACTOR QUIMICO.

a) Sabemos que la presión interna de diseño de la chaqueta de media caña ( $P_c$ ) a la que estará sujeto la envolvente cuerpo del reactor químico es la misma a la que estará sujeta la cabeza inferior, por ello el espesor de la chaqueta de media caña será el mismo para ambos casos y la máxima presión interna en la chaqueta de media caña la calcularemos a continuación:

b) La máxima presión permisible de la chaqueta de media caña ( $P_{oc}$ ) de acuerdo al espesor nominal ( $t$ ) del recipiente es:

$$P_{oc} = (1.5 \cdot S_r - S'')/k.$$

$$S'' = (P \cdot L)/2t = (5.273 \text{ kg/cm}^2 \cdot 198.12 \text{ cm})/2 \cdot 0.9525 \text{ cm}$$
$$S'' = 548.39 \text{ kg/cm}^2 (7801.97 \text{ psi}).$$

De la figura EE-2<sup>18</sup> tomando en cuenta que  $R_i = L = 198.12 \text{ cm}$  ( $78''$ ) y además que  $t = 0.9525 \text{ cm}$  ( $0.375''$ ). Obtenemos que  $K = 4.2$

$$P_{oc} = (1.5 \cdot 1,110.564 \text{ kg/cm}^2 - 548.39 \text{ kg/cm}^2)/4.2$$
$$P_{oc} = 266.06 \text{ kg/cm}^2 (3,785.25 \text{ psi})$$

Como se puede apreciar la cédula es la adecuada para operar a una presión interna de la chaqueta de media caña de  $P_c = 8.436 \text{ kg/cm}^2$  ( $120 \text{ psi}$ )

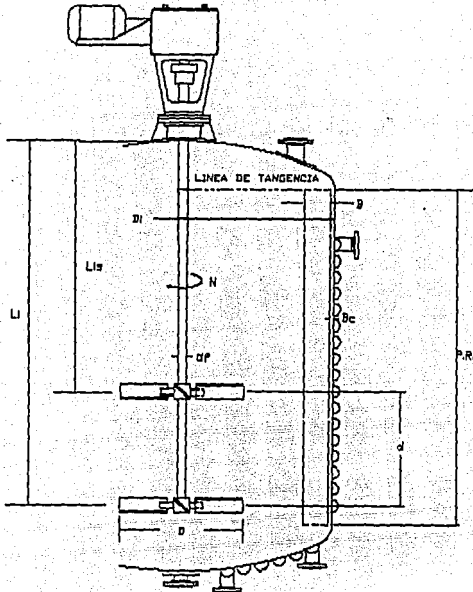
En el siguiente apartado presentaremos el diseño mecánico del sistema de agitación para el reactor químico en estudio, así como las dimensiones de dicho sistema, tomando como base principalmente las dimensiones del tanque, la densidad y viscosidad de las lías (solventes) que se van a manejar en la reacción química.

## 2.7. CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL SISTEMA DE AGITACION.

El cálculo mecánico del sistema de agitación será diseñado estrictamente de acuerdo con los datos proporcionados por el usuario. Primeramente calcularemos las dimensiones y número de impulsores, para más tarde continuar con las dimensiones del sistema motriz y la flecha y por último calcularemos las dimensiones de los balles.

Para poder entender mejor los cálculos que se llevarán a cabo, en la *figura 2.7.1* se expresa en forma gráfica las dimensiones del sistema de agitación que serán determinadas a lo largo de éste apartado:

<sup>18</sup>Procedente del Apéndice EE del Código ASME Sección VIII, página 625.



*Dimensiones del sistema de agitación.  
Figura 2.7.1.*

### 2.7.1 CALCULO DE LAS DIMENSIONES Y NUMERO DE IMPULSORES.

De acuerdo con los estudios realizados en el campo de la agitación<sup>19</sup>, la relación  $D$  (diámetro del impulsor) entre  $D_i$  (diámetro del recipiente)  $D/D_i$ , es no menor a 0.2 para un nivel de agitación bajo y no mayor a 0.6 para un nivel de agitación alto (agitación sumamente severa), para nuestro caso en estudio se desea un impulsor adecuado para manejar un nivel arriba del nivel medio debido a que el proceso químico que se llevará a cabo es una emulsión y ésta requiere de una agitación a revoluciones altas ( $N = 100$  r.p.m.), por lo anterior emplearemos una  $D/D_i = 0.4$ , por lo que tenemos:

$$D = 0.4 D_i = 0.4 * 1,981.2 \text{ mm.}$$

$$D = 792.48 \text{ mm (31.2")}$$

<sup>19</sup>Revista Liquid Agitation de McGraw-Hill, Inc. New York 1985.

Además dichos estudios también señalan que si la relación de Z entre Di (Z/Di) es:

Si	Z/Di <= 1.39	Emplea solamente un impulsor.
Si	Z/Di >= 1.40 y Z/Di <= 2.1	Emplea dos impulsores.

De acuerdo a los datos que se tienen y además sabiendo que el valor máximo para Z no debe de ser mayor a la suma de la parte recta (P.R.) más la altura de la cabeza inferior, tenemos que  $Z = 2,463.8 \text{ mm} + 330.2 \text{ mm} = 2,794 \text{ mm}$ , entonces tenemos que:

$$Z/Di = 2,794 \text{ mm}/1,981.2 \text{ mm} = 1.41$$

$$\underline{Z/Di = 1.41.}$$

Por lo que el diámetro de cada uno de los impulsores será  $D = 792.48 \text{ mm}$  (31.2"). Además el sistema de agitación estará constituido por 2 impulsores.

## 2.7.2 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL SISTEMA MOTRIZ Y DE LA FLECHA.

En este apartado calcularemos las dimensiones del sistema motriz y de la flecha de la siguiente manera:

1.- El cálculo de la potencia del sistema motriz está directamente relacionado con el diámetro del impulsor (D), con la densidad y con la viscosidad del producto a menejar, así como con la velocidad del agitador (N).

Primeramente calcularemos el Número de Reynolds (NRe), la potencia requerida por la flecha (SHp) y más tarde calcularemos la potencia necesaria del motor del sistema de agitación.

$$NRe = (10.75 * D^2 * [\text{pulg}] * N * Sg) / \mu$$
$$= (10.75 * 31.2^2 * 100 * 1.1) / 2000 \text{ cP}$$

$$NRe = 575.546 = 5.755 \times 10^2$$

De acuerdo a la gráfica mostrada en la figura 2 en el Anexo A, usando el  $NRe = 5.755 \times 10^2$  y  $D/Di = 0.4$  tenemos que  $NQ = 0.54$

Como segundo paso calcularemos la potencia requerida por la flecha del agitador (SHp), tomando como base los datos antes obtenidos:

$$SHp = 3.52 * 10^{-3} * NQ * Sg * (N/60) * (D/12)^5$$

$$= 3.52 * 10^{-3} * 0.54 * 1.1 * (100/60)^3 * (31.2/12)^5$$

$$SHp = 1.15$$

Por último calcularemos las dimensiones del motor del sistema de agitación (MHP), sabiendo que la eficiencia del sistema motriz (Esm) es de 80% y además que las pérdidas por fricción de dicho sistema motriz (Psm) es de 0.5 Hp, tenemos que:

$$MHP = (SHp + Psm) / Esm$$

$$= (1.15 \text{ Hp} + 0.5 \text{ Hp}) / 0.80$$

$$MHP = 2.063 \text{ Hp.}$$

Debido a que comercialmente no fabrican motores de 2.063 Hp y además los motores de 2.5 Hp no son muy comunes en los reactores químicos, emplearemos un motor de:

$$\underline{MHpn = 3 \text{ Hp.}}$$

2.- Para el cálculo de las dimensiones de la flecha<sup>20</sup>, calcularemos el diámetro de la flecha (df) tomando como base lo siguiente:

a) Torque (T) basado en MHpn será:

$$T = (63,000 * MHpn) / N = (63,000 * 3 \text{ Hp}) / 100 \text{ r.p.m.} \quad T = 1,890 \text{ lbs/pulg.}$$

b) El factor U.F. del torque no balanceado para impulsores en acero inoxidable es igual a 3.

c) El torque causado (Tb) por el mezclado es igual a:

$$Tb = T / U.F. = (1,890 \text{ lbs/pulg}) / 3 \quad Tb = 630 \text{ lbs/pulg.}$$

d) La fuerza no balanceada (Fb) causada por el mezclado es igual a:

$$Fb = Tb / R = (630 \text{ lbs/pulg}) / 15.6'' \quad Fb = 40.38 \text{ lbs.}$$

e) El momento de mezclado total (Mb) es calculado sumando el momento de mezclado efectuado por el impulsor inferior (Mi) más el momento de mezclado efectuado por el impulsor superior (Ms). Tomando las distancias de la tapa superior al impulsor inferior (Li) y superior (Lis):

$$Mi = Fb * Li = 40.38 \text{ lbs} * 74.8''$$

$$Mi = 3,020.424 \text{ lbs/pulg.}$$

$$Ms = Fb * Lis = 40.38 \text{ lbs} * 106''$$

$$Ms = 4,280.28 \text{ lbs/pulg.}$$

$$Mb = Mi + Ms$$

$$\underline{Mb = 7,300.704 \text{ lbs/pulg.}}$$

f) El diámetro de la flecha (df) será igual a:

$$df^4 = (16 / (3.1416 * Sc)) * (Mb^2 + T^2) * 0.5$$

$$= [16 / (3.1416 * 6000)] * [(7,300.704 \text{ lbs})^2 + (1,890 \text{ lbs})^2] * 0.5$$

$$\underline{df = 1.17''}$$

### 2.7.3 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE LOS BAFLES.

Los baffles son parte importante del sistema de agitación, ya que de ellos depende el buen mezclado de los reactivos que se encuentran en la parte superior al impulsor superior; sus dimensiones<sup>21</sup> las definiremos a continuación:

a) La longitud del baffle (Lb) es igual a la longitud de la parte recta (P.R.), por lo tanto la longitud del baffle será de 2,463.80 mm.

<sup>20</sup>Ref.: Primark, A. and Nunlist, E. S., Critical Speeds of Vertically Suspended Shafts, Machine Design.

<sup>21</sup>Ref.: V. W. Uhl, J. B. Gray, Mixing Theory and Practice, Vol II, Academic Press

h) El ancho de los baffles ( B ) es:

$$B = (1/12)Di = (1/12)(1,981.2 \text{ mm}) \quad B = 165.1 \text{ mm (6.5")}$$

c) La distancia de separación del baffle entre el cuerpo del reactor (Bc) es:

$$Bc = (1/5)B = (1/5)(165.1 \text{ mm}) \quad Bc = 33.02 \text{ mm (1.3")}$$

d) El espesor del baffle (Bt) deberá de ser igual al espesor de la envolvente cuerpo, ya que estará sometido a las mismas condiciones de operación que la envolvente cuerpo.

## 2.8 CALCULO DE LA HABILITACION DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Dentro de la habilitación de los materiales de construcción, la habilitación de las boquillas colocadas en la cabeza superior del reactor químico merecen especial atención, ya que sus dimensiones deben ser calculadas de acuerdo a los requerimientos del usuario, por lo que a continuación calcularemos la altura (x) de cada boquilla<sup>22</sup> tomando como base que la altura desde la línea de tangencia hasta la cara de la brida de la boquilla (G) es igual a 336.55 mm (13.25"). *Figura 2.8.*

c -.- Altura del corte del tubo de la boquilla.

F -.- Radio de colocación de la boquilla.

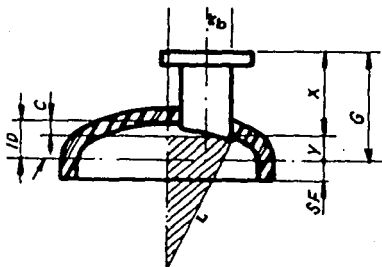
ID -.- Altura de la tapa (con referencia a la línea de tangencia).

r<sup>23</sup> -.- Radio de la boquilla desde el centro de la misma hasta la cara exterior. Este valor es tomado de la tabla 2 del Anexo A, dividiendo el valor del diámetro exterior del tubo entre dos.

L -.- Radio de abombado de la tapa.

x -.- Altura de la boquilla.

G -.- Altura desde la línea de tangencia hasta la cara de la brida de la boquilla.



*Figura 2.8. Esquema para determinar la altura de las boquillas*

<sup>22</sup>

<sup>23</sup> Procede de Pressure Vessel Handbook. Eugene F. Megyesy.



## 2.8.1 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR ALTURAS DE BOQUILLAS EN TAPAS TORIESFERICAS.

A continuación presentaremos el cálculo de la habilitación de cada una de las boquillas que se ensamblarán en la tapa superior (ASME F&D) del reactor químico, a fin de que su altura sea de acuerdo con lo establecido por el usuario y además para poder elaborar los dibujos de detalle de cada una de ellas:

### 1.- Altura de la boquilla de 38.1 mm (1 1/2") o, marcada con "O".

Datos

$$F = 736.60 \text{ mm ( 29")}$$

$$G = 336.55 \text{ mm ( 13.25")}$$

$$ID = 330.20 \text{ mm ( 13")}$$

$$r_n = 24.13 \text{ mm ( 0.95")}$$

$$L = 1981.20 \text{ mm (78")}$$

$$c = L - (L^2 - (F + r_n)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - (1981.20^2 - (736.6 + 24.13)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - 1829.32$$

$$y = ID - c = 330.20 - 151.87$$

$$c = 151.87 \text{ mm (5.98")}$$

$$y = 178.32 \text{ mm (7.02")}$$

$$x = G - y = 336.55 - 178.32$$

$$x = 158.23 \text{ mm (6.23")}$$

Por lo tanto la altura (x) de la boquilla de 38.1 mm (1 1/2") o, será de 158.23 mm (6.23").

### 2.- Altura de la boquilla de 50.8 mm (2") o, con "N".

Datos

$$F = 736.60 \text{ mm ( 29")}$$

$$G = 336.55 \text{ mm ( 13.25")}$$

$$ID = 330.20 \text{ mm ( 13")}$$

$$r_n = 30.16 \text{ mm ( 1.1875")}$$

$$L = 1981.20 \text{ mm (78")}$$

$$c = L - (L^2 - (F + r_n)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - (1981.20^2 - (736.6 + 30.16)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - 1826.81$$

$$y = ID - c = 330.20 - 154.39$$

$$c = 154.39 \text{ mm (6.08")}$$

$$y = 175.81 \text{ mm (6.92")}$$

$$x = G - y = 336.55 - 175.81$$

$$x = 160.74 \text{ mm (6.33")}$$

Por lo tanto la altura (x) de la boquilla de 50.8 mm (2") o, será de 160.74 mm (6.33").

### 3.- Altura de la boquilla de 101.6 mm (4") ø, marcada con "D" y "E".

Datos

$$F = 736.60 \text{ mm ( 29")}$$

$$G = 336.55 \text{ mm ( 13.25")}$$

$$ID = 330.20 \text{ mm ( 13")}$$

$$r_b = 57.15 \text{ mm ( 2.25")}$$

$$L = 1981.20 \text{ mm (78")}$$

$$c = L - (L^2 - (F + r_b)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - (1981.20^2 - (736.6 + 57.15)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - 1815.24$$

$$y = ID - c = 330.20 - 165.96$$

$$c = 165.96 \text{ mm (6.53")}$$

$$y = 164.24 \text{ mm (6.47")}$$

$$x = G - y = 336.55 - 164.24$$

$$x = 172.31 \text{ mm (6.78")}$$

Por lo tanto la altura (x) de la boquilla de 101.6 mm (4") ø, será de 172.31 mm (6.78").

### 4.- Altura de la boquilla de 203.2 mm (8") ø, marcada con "B" y "C".

Datos

$$F = 736.60 \text{ mm ( 29")}$$

$$G = 336.55 \text{ mm ( 13.25")}$$

$$ID = 330.20 \text{ mm ( 13")}$$

$$r_b = 109.54 \text{ mm ( 4.3125")}$$

$$L = 1981.20 \text{ mm (78")}$$

$$c = L - (L^2 - (F + r_b)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - (1981.20^2 - (736.6 + 109.54)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - 1791.42$$

$$y = ID - c = 330.20 - 189.77$$

$$c = 189.77 \text{ mm (7.47")}$$

$$y = 140.43 \text{ mm (5.53")}$$

$$x = G - y = 336.55 - 140.43$$

$$x = 196.12 \text{ mm (7.72")}$$

Por lo tanto la altura (x) de la boquilla de 203.2 mm (8") ø, será de 196.12 mm (7.72").

### 5.- Altura de la boquilla de 457.2 mm (18") ø, marcada con "A".

Datos

$$F = 736.60 \text{ mm ( 29")}$$

$$G = 336.55 \text{ mm ( 13.25")}$$

$$ID = 330.20 \text{ mm ( 13")}$$

$$r_b = 228.60 \text{ mm ( 9")}$$

$$L = 1981.20 \text{ mm (78")}$$

$$c = L - (L^2 - (F + n)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - (1981.20^2 - (736.6 + 228.6)^2)^{0.5}$$

$$= 1981.20 - 1730.185$$

$$y = ID - c = 330.20 - 251.02$$

$$x = G - y = 336.55 - 79.18$$

$$c = 251.02 \text{ mm (9.88")}$$

$$y = 79.18 \text{ mm (3.11")}$$

$$x = 257.37 \text{ mm (10.13")}$$

Por lo tanto la altura (x) de la boquilla de 457.2 mm (18") o, será de 257.37 mm (10.13").

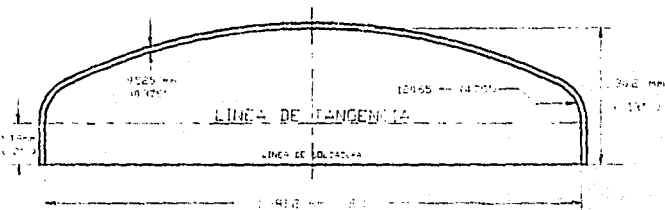
Una vez teniendo todas las alturas de cada una de las boquillas podemos hacer la lista de materiales correspondiente a cada ensamble de boquillas, así como los dibujos de detalle para taller.

De acuerdo con los datos antes obtenidos, procederemos a elaborar los dibujos generales y de detalle para las partes principales del reactor químico para más tarde hacer un listado de los principales materiales de fabricación del reactor químico.

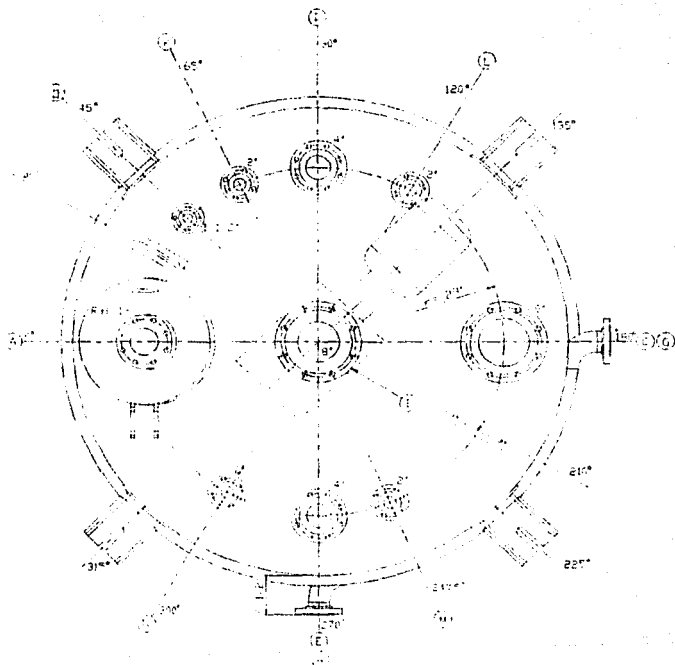
## 2.9 DIBUJOS GENERALES Y DE DETALLE DEL REACTOR QUIMICO.

Los dibujos generales y de detalle son muy importantes ya que en ellos se condensan todos los calculos realizados para la fabricación de un reactor químico, además son el enlace entre el departamento de ingeniería de fabricación y el taller de manufactura, por lo cual deben de ser elaborados en forma específica y detallada a fin de que sean entendidos en forma rápida sin crear confusiones. A continuación presentaremos los dibujos de las principales partes componentes del reactor químico:

### 2.9.1 DIBUJO DE DETALLE DEL FORMADO DE LAS CABEZAS.

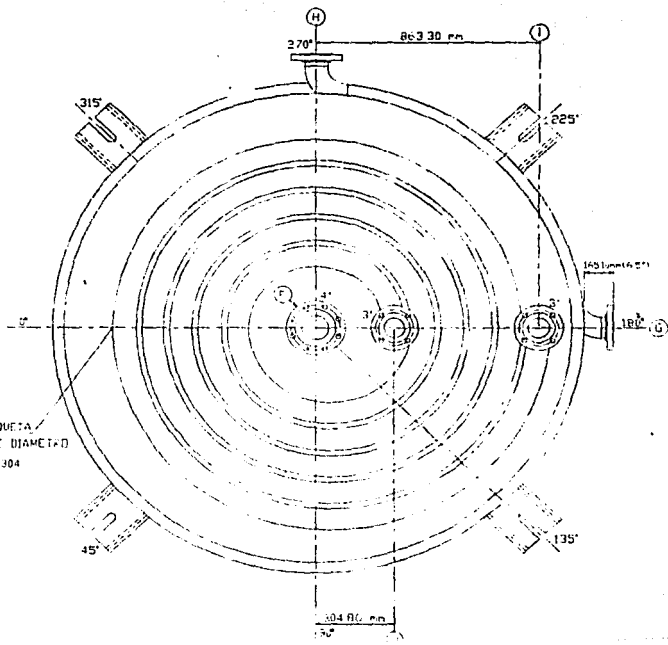


## 2.9.2 DIBUJO DE PLANTA.



PLANTA

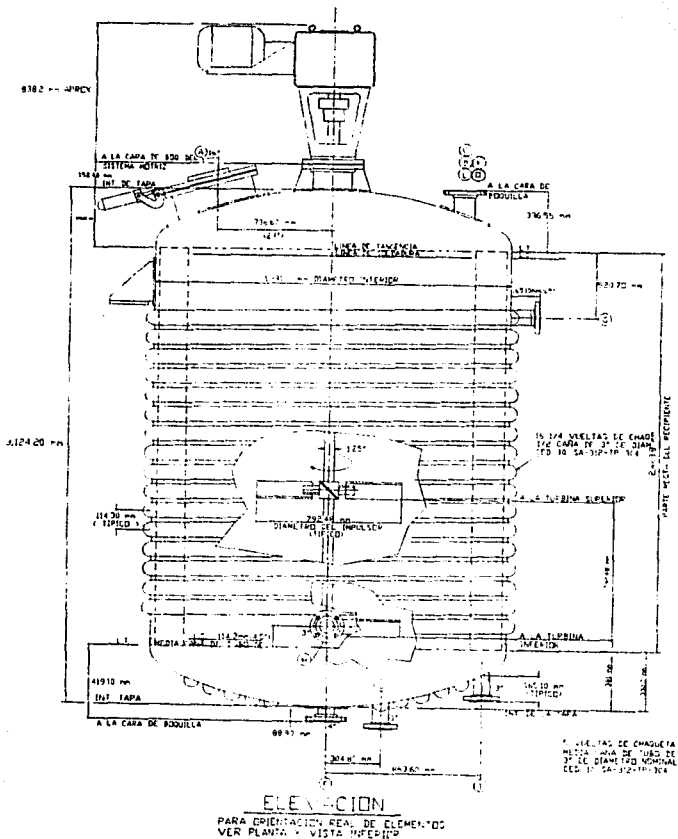
### 2.9.3 DIBUJO VISTA INFERIOR.



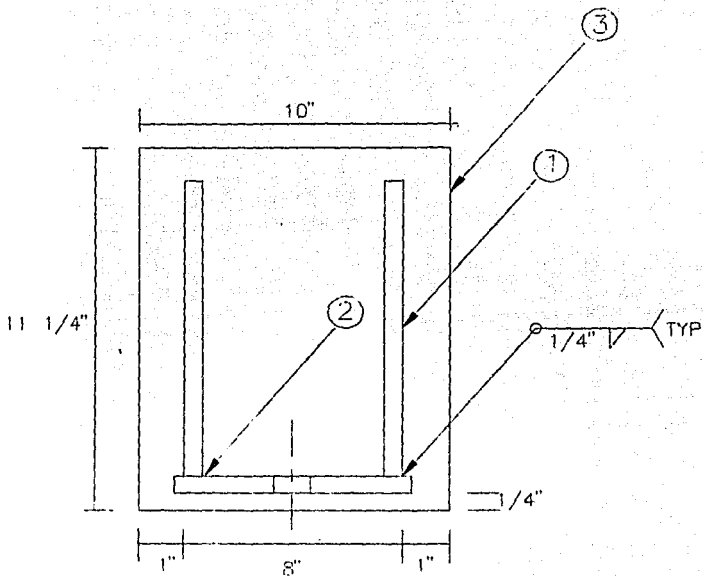
5 VUELTAS DE CHAQUETA  
1-2 TANA DE 3" DE DIAMETRO  
CED 10. SA-312-TP-304

VISTA INFERIOR

### 2.9.4 DIBUJO DE ELEVACION.

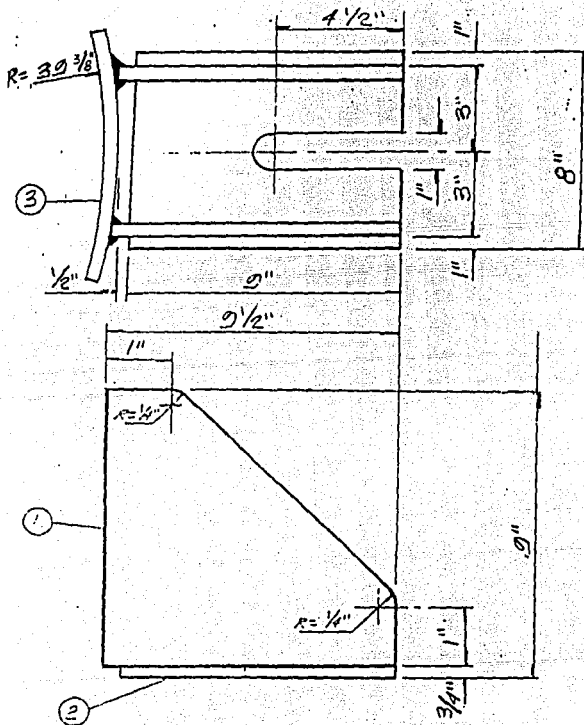


## 2.9.5 DIBUJO DE DETALLE DE LOS SOPORTES LATERALES.



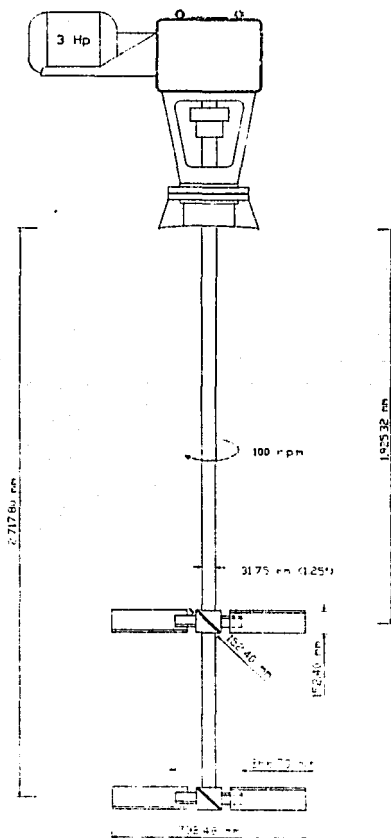
- 1.- 2 Piezas de cartabones de placa de 5/8" ( 15.875 mm ) de espesor en SA 285 C.
- 2.- 1 Pieza de placa base de 3/4" ( 19.05 mm ) de espesor en SA 285 C.
- 3.- 1 Pieza de placa derespaldo de 3/8" ( 9.525 mm ) de espesor en SA 240 TP 304.

DIBUJO DE DETALLE DE LOS SOPORTES LATERALES  
(CONTINUACION).





## 2.9.6 DIBUJO DE DETALLE DEL SISTEMA DE AGITACION.



## 2.10 LISTA DE LOS PRINCIPALES MATERIALES DE CONSTRUCCION.

PDA	CANT.	MATERIAL	DESCRIPCION.	
<i>Cabezas formadas del recipiente:</i>				
1	2	SA 240 TP 316L	Placa de 2,438.4mm x 2,438.4 mm, 12.7mm espesor mín (0.5").	
<i>Envolvente cuerpo:</i>				
2	1	SA 240 TP 316L	Placa de 9.525 mm (0.375") de espesor x 2,362.2 mm (93") x 6,254.06 mm (246.222").	
<i>Medio calefactor:</i>				
3	1	SA 312 TP 304	Tubo cédula 10s sin costura	
4	4	SA 105 ANSI B16.5	3" Ø. Brida Lap-joint, 150 lbs.	
5	4	SA 403 WP 304	3" Ø Cédula 10.	
6	4	SA 403 WP 304	3" Ø. Codo de 90° cédula 10.	
<i>Entrada de hombre marcada con "A":</i>				
7	1	SA 240 TP 316L	Placa para tapa de 25.4 mm (1") de espesor x 558.8 mm (22") de diámetro.	
8	1	SA 240 TP 316L	Placa para ceja de 25.4 mm (1") de espesor x 22 mm (22") de diámetro.	
9	1	SA 240 TP 316L	Placa para cuello de 9.525 mm (0.375") de espesor x 257.37 mm (10.13") x 1,466.263 mm (57.727").	
10	1	SA 240 TP 304	Placa de refuerzo 9.525 mm (.375") de espesor x 736.60 mm (29") de diámetro.	
<i>Boquilla del sistema de agitación marcada con "B":</i>				
11	1	SA 105 ANSI B16.5	8" Ø. Brida Lap-joint, 150 lbs.	
12	1	SA 312 TP 316L	8" Ø. Tubo cédula 40 x 3.72"long.	
13	1	SA 240 TP 304	Placa de refuerzo de 9.525 mm(0.375") de espesor x 422.275 mm de diámetro (16.625").	
14	4	SA 240 TP 304	Placa para cartabones de 6.35 mm de espesor x 101.60 mm (4") x 177.80 mm (7").	
<i>Boquillas del recipiente:</i>				<i>Referencia.</i>
15	1	SA 105 ANSI B16.5	1½" Ø. Brida Lap-joint, 150 lbs.	
16	1	SA 403 WP 316L	1½" Ø. Stub-end, cédula 40 x 2"long.	O.
17	1	SA 312 TP 316L	1½" Ø. Tubo cédula 40 x 4.11"long.	
18	4	SA 105 ANSI B16.5	2" Ø. Brida Lap-joint, 150 lbs.	K, L,
19	4	SA 403 WP 316L	2" Ø. Stub-end, cédula 40 x 2.5"long.	M y N
20	4	SA 312 TP 316L	2" Ø. Tubo cédula 40 x 3.83"long.	
21	3	SA 105 ANSI B16.5	4" Ø. Brida Lap-joint, 150 lbs.	
22	3	SA 403 WP 316L	4" Ø. Stub-end, cédula 40 x 3"long.	D, E
23	3	SA 312 TP 316L	4" Ø. Tubo cédula 40 x 3.78"long.	y F.
24	3	SA 240 TP 304	Placa de refuerzo de 9.525 mm (0.375") de espesor x 241.3 mm (9.5") de diámetro.	

*Boquilla marcada con "C":*

25	1	SA 105 ANSI B16.5	8" Ø. Brida Lap-joint, 150 lbs.
26	1	SA 403 WP 316L	8" Ø. Stub-end, cédula 40 x 4" long.
28	1	SA 312 TP 316L	8" Ø. Tubo cédula 40 x 3.72" long.
29	1	SA 240 TP 304	Placa de refuerzo de 9.525 mm (0.375") de espesor x 35 mm (1.4") de diámetro.

*Ensamble de baffles:*

30	4	SA 240 TP 316L	Placa de 9.525 mm (0.375") de espesor x 165.10 mm (6.5") de ancho x 2,463.8 mm (97") de longitud.
----	---	----------------	---

*Soportes laterales:*

31	4	SA 240 304	Placa para respaldo de 9.525 mm (0.375") x 254 mm (10") x 285.75 mm (11.25").
32	8	SA 285 C	Placa para cartabón de 15.875 mm (0.625") x 209.55 mm (8.25") x 241.3 mm (9.5").
33	4	SA 285 C	Placa para base de 19.05 mm (0.75") x 203.20 mm (8") x 228.6 mm (9").

Una vez calculados los parámetros principales o básicos que en éste trabajo de tesis les nombramos la prefabricación del reactor químico, ya que son cálculos realizados en el departamento de ingeniería (en el escritorio y en el restirador), a continuación analizaremos en el siguiente capítulo los requisitos mínimos que se deben de cumplir en la fabricación en el taller de manufactura de un reactor químico.

### 3.- FABRICACION.

## 3- FABRICACION.

### 3.1. FABRICACION.

El presente capítulo pretende establecer los requisitos mínimos que se deben cumplir en la fabricación de los componentes del reactor químico en cuestión, haciendo énfasis en que se cumplan los requisitos señalados durante el diseño.

La fabricación de reactores químicos, abarca un número de actividades muy amplio, sin embargo en este trabajo únicamente se considerarán las características claves que se deben cuidar durante la fabricación ya que cada fabricante tiene su método de construcción.

Todos los soldadores, métodos de soldadura aprobados, materiales, los cuales serán usados en la fabricación de reactores químicos sujetos a presión del Código ASME, deberán estar calificados bajo la sección IX.

Es importante señalar que el inspector de Código ASME revisa en forma general la memoria de cálculo de los componentes más importantes del reactor químico y de no encontrar anomalías se puede proceder a la fabricación del mismo.

La fabricación de un reactor químico comienza con la inspección de todos y cada uno de los materiales que serán utilizados. Dentro de los principales puntos que hay que cuidar antes de que los materiales salgan del almacén tenemos los siguientes:

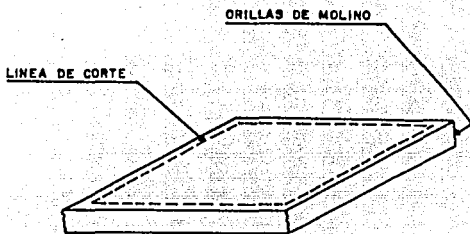
1.- Se verifica que las dimensiones de los materiales coincida con las dimensiones solicitadas en la lista de materiales y en especial se revisa que el espesor nominal ( $t$ ), de las placas del recipiente, no sea menor a 0.25 mm (0.01") o al 6% del espesor ordenado, ni mucho menos menor al espesor de diseño ( $t_d$ ).

2.- Se verifica que el número de colada de las placas y tubos que aparecen en la copia de especificaciones proporcionadas por el proveedor, corresponda a las marcadas en dichas placas y tubos, además se debe de separar o marcar el material con el número de orden de trabajo al cual pertenecen, para su fácil identificación y así evitar confusiones, ya sea con código de colores o con cualquier insignia de fácil identificación.

3.- Verificar que los análisis químicos y especificaciones de placas, tubos y forjas que fueron enviadas por el proveedor, concuerden con las especificaciones que marca el Código ASME en su sección II.

4.- Se efectúa una preinspección visual por todos los cantos de la placa para ver si existen hojeadas duras, laminaciones, falta de material, etc. El material debe de estar lo suficientemente derecho, perfectamente cuadrado y no se deberán utilizar nunca las llamadas orillas de molino. Como se muestra en la *figura 3.1.1.*

En caso de que alguno de los materiales dispuestos para la fabricación del reactor químico no cumpla con alguno de los puntos antes señalados, no podrá ser empleado en la fabricación del reactor químico.



*Figura 3.1.1.*

Otro aspecto importante es que todos los soldadores involucrados en la fabricación del reactor químico deben de estar previamente calificados en los procesos y posiciones de soldadura que llevarán a cabo y la empresa les asignará a cada uno de ellos una clave o letra, la cual deberá ser marcada con punto de golpe en cada trabajo que efectúen. Además todos los procedimientos de soldadura deberán estar totalmente definidos y establecidos por el departamento de control de calidad antes de empezar la fabricación del reactor químico.

La fabricación del reactor químico será dividida en tres partes principales para su desarrollo, la primera de ellas es la fabricación del recipiente o tanque base, la segunda la construcción y colocación del medio calefactor al recipiente y por último la fabricación del sistema de agitación, a continuación explicaremos cada una de ellas:

### **3.2. FABRICACION DEL RECIPIENTE O TANQUE BASE.**

La fabricación del recipiente o tanque base del reactor químico, es considerada como el proceso de fabricación más importante dentro de la construcción del reactor químico, ya que es la base para el buen funcionamiento del mismo.

La fabricación del recipiente está dividida a su vez en dos partes principales la fabricación de las cabezas (superior e inferior) y la envolvente cuerpo:

### 3.2.1. FABRICACION DE LAS CABEZAS.

Las cabezas de los recipientes deben ser construídas de acuerdo a lo establecido por el Código UG-32 y UG-33. El material de las cabezas debe ser de la misma especificación que el material del cuerpo, en este caso SA 240 TP 316L (placa).

La formación de las cabezas se lleva acabo por medio de embutido, de la siguiente manera:

1.- Se extrae del almacén la placa correspondiente al formado de las cabezas, se debe de tomar en cuenta que durante el formado de las cabezas el espesor de la placa (tn) adelgasa 3.175mm (1/8"), por lo que en la lista de materiales solicitada al departamento de Compras se debe de haber solicitado la placa para las cabezas de un espesor (tc) de:  
$$tc = tn + 3.175\text{mm} = 9.525\text{ mm} + 3.175\text{ mm}$$
$$tc = 12.7\text{ mm (}\frac{1}{2}\text{")}$$

2.- Se trazan y se cortan los discos correspondientes al formado de las cabezas, tomando en cuenta que el diámetro del disco debe ser de 2,260.6mm (89") para que cuando la cabeza este formada quede de 1,981.2 mm (78") de diámetro interior, con una altura interna de 330.2mm (13") más 50.8mm (2") de parte recta, tal como se muestra en el dibujo de detalle del formado de las cabezas en el capítulo 2 (2.9.1).

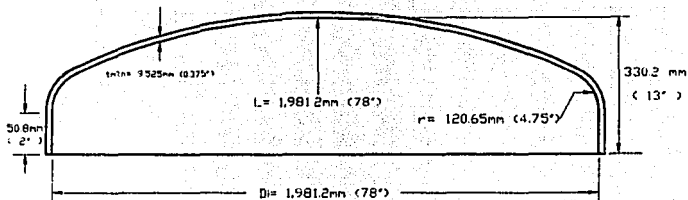
3.- Una vez cortados los discos se les suelda una placa en forma de disco de 203.2mm (8") de diámetro x 6.35mm (0.25") de espesor aproximadamente en el centro del disco (por el lado que será convexo) y se les maquina una perforación de 6.35 mm (1/4") aproximadamente al centro, a fin de que se puedan manipular con mayor facilidad.

4.- Posteriormente los discos se montan en la máquina abombadora uno por uno, la cual por medio de golpes verticales forman el radio de abombado de la cabeza. La fuerza de dichos golpes es graduada por un operario, el cual también manipula el disco para que el radio de abombado sea uniforme y se auxilia de una plantilla para ello. El radio de abombado (L) para cada una de las cabezas debe ser de 1,981.2mm (78").

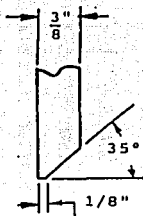
5.- Una vez que se tiene el radio de abombado se procede a formar el radio de rodilla (r) en la máquina de rodilla, el cual se lleva acabo por medio de un dado de 4¼" por lo que el radio de rodilla será de 120.65 mm (4.75"). Cuando las orillas de cualquier sección de la cabeza están defectuosas al formado de las mismas, deberán ser maquinadas para efectuar un cierre correcto con la envolvente cuerpo.

Una vez que que tienen las cabezas formadas como se muestra en la *figura 3.2.1.1.a* se procede como sigue:

1.- Se bicelan las tapas, de acuerdo al espesor de la misma y al procedimiento de soldadura que se aplicará, como se muestra en la *figura 3.2.1.1.b*.



a) Formado de cabezas.



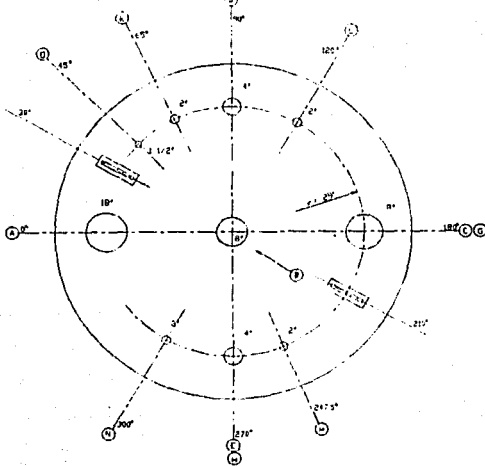
b) Bichel de las tapas.

Figura 3.2.1.1.

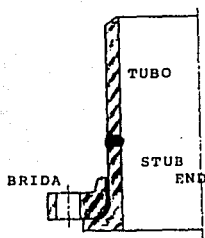
2.- Se procede a la localización de los ejes y se marca la posición de cada una de las orejas de carga para poder maniobrar las cabezas, así como de las boquillas de acuerdo con el dibujo de planta y de vista inferior. Para posteriormente maquinar las perforaciones adecuadas a las boquillas en cuestión como se muestra en la figura 3.2.1.2a, no sin antes ser checadas por el supervisor correspondiente.

3.- Se habilitan todas las boquillas que serán colocadas en cada una de las tapas, de acuerdo a los cálculos efectuados en el capítulo 2 (2.8), como se muestra en la figura 3.2.1.2b.





a) Localización de boquillas.

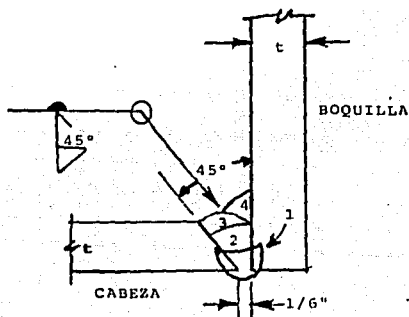


b) Habilidad de boquillas.

Figura 3.2.1.2.

4.- Se puntean todas las boquillas (previamente ensambladas), a cada una de las perforaciones de las tapas, de acuerdo con los dibujos de taller. El punteado de las boquillas se realiza por el procedimiento GTAW (comúnmente denominado TIG). Para que posteriormente se han revisadas por el departamento de control de calidad y puedan ser aprobadas y continuar con el siguiente paso de la fabricación.

5.- Se sueldan todas las boquillas anteriormente punteadas a cada una de las tapas. El número de pasos requerido para llenar la junta dependerá del diámetro del electrodo usado en el proceso de soldadura. El primer paso de soldadura se deberá aplicar con soldadura GTAW para que su penetración sea completa y con mayor eficiencia y los pasos subsiguientes con el proceso de soldadura GMAW (comúnmente denominado MIG). Es extremadamente importante el depositar cada paso como un cordón de soldadura recto (sin mover de un lado a otro el electrodo). *Figura 3.2.1.3.*



*Boquillas a recipiente al ras con soldadura de penetración.*

*Figura 3.2.1.3.*

6.- Posteriormente se colocan las placas de refuerzo para las boquillas que las requieran (por diseño) se puntean y se sueldan a las cabezas.

7.- Una vez que se han terminado de soldar todas las boquillas a cada una de las tapas, son revisadas por el departamento de control de calidad y al ser aprobadas pasan a limpieza de escoria, la cual comúnmente es por medios mecánicos como esmerilado o por chorro de arena.

8.- Ya que se tienen las cabezas del reactor químico soldadas y limpias, se procede a la prueba de líquidos penetrantes, en la cual se verifican todas las soldaduras y las que presenten fisuras son reparadas, para que posteriormente pasen a unirse con la envolvente cuerpo, como lo veremos más adelante.

### 3.2.2. FABRICACION DE LA ENVOLVENTE CUERPO.

Al empezar la fabricación de un recipiente se extrae del almacén el material correspondiente a la envolvente cuerpo y se procede como sigue:

1- Si las dimensiones de la placa no son las adecuadas de acuerdo con lo que marque el dibujo de taller, se debe de proceder al trazo y corte de la placa. El corte puede efectuarse por maquinado, cizallamiento, plasma, etc., después de esto toda la escoria deberá ser removida por esmerilado.

Todas las placas o tramos empleados en la construcción de recipientes deberán llevar marcos de golpe no profundos indicando cuando menos el número de colada a la que pertenecen y la especificación del acero; los sobrantes, también deben ser marcados con estos datos. Si no se realiza la debida identificación del material esto ocasionará confusión en el taller, en tales circunstancias exigir responsabilidades puede resultar muy difícil.

Una vez realizada la reclasificación de los materiales sobrantes, éstos regresan nuevamente al almacén de materias primas, dispuestos a la fabricación del mismo recipiente o de otros recipientes. El almacenamiento es de suma importancia ya que el material no debe de ser golpeado en la manipulación, evitando que se formen mordeduras o melladuras de importancia lo cual produciría fallas en la operación del recipiente.

2.- Teniendo las dimensiones de la placa conforme a los dibujos de taller, placa de 9,525 mm (0.375") de espesor x 2,362.2 mm (93") x 6,254.06 mm (246.222") se procede a la habilitación de la envolvente cuerpo, dicha habilitación consiste en hacerle a la placa los biceles correspondientes, éste bicelado se hace de acuerdo al procedimiento de soldadura que se vaya a aplicar en las uniones y principalmente al espesor de la placa siempre y cuando reuna las condiciones de normalización. Los biceles son comunmente elaborados por esmerilado. La preparación de los biceles es de suma importancia ya que es la base de la soldadura de unión.

Como se observa en el capítulo 2, el espesor nominal  $t$  de la envolvente cuerpo del reactor químico es de 9.525 mm (0.375") y la preparación de la placa se realizará por esmerilado, como se muestra en la figura 3.2.2.1. (\* Indica el interior del tanque).

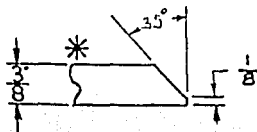
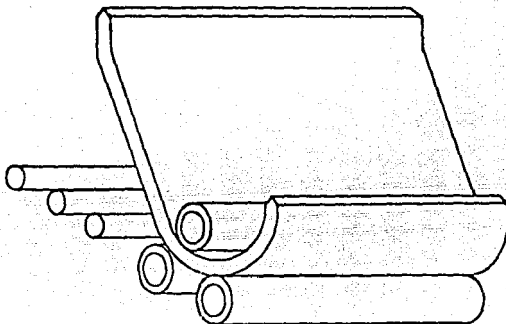


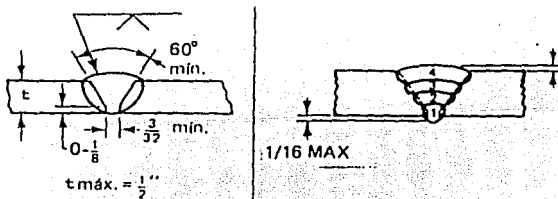
Figura 3.2.2.1. Bicelado para la soldadura longitudinal de la envolvente cuerpo.

3.- A continuación del biselado se procede al rolado de la placa, el cual se hace comúnmente a través de tres rodillos especiales acoplados en forma triangular, con el auxilio de una plantilla para poder darle el radio adecuado a la envoltente y posteriormente se puntea longitudinalmente por medio del proceso GTAW, a fin de que mantenga la forma cilíndrica que fué formada. *Figura 3.2.2.2.* El radio interior que se le dará a la envoltente es de 1,981.2 mm (78").



*Figura 3.2.2.2. Rolado de la envoltente cuerpo.*

4.- Ya que se tiene la envoltente cilíndrica punteada longitudinalmente, se procede a soldar perfectamente la placa, cuidando que la soldadura longitudinal sea realizada por un soldador previamente calificado y con su licencia vigente, para tal operación se debe de tomar en cuenta el diseño de dicha soldadura como se muestra en la *figura 3.2.2.3.*



*Figura 3.2.2.3. Diseño de la unión soldable.*

Las juntas verticales deberán ser a tope con fusión y penetración completas, de forma que se obtenga la mejor calidad en el depósito del metal de aporte sobre el metal base en todas las superficies soldadas. El procedimiento de soldadura que se empleará será el GMAW.

5.- Una vez que se ha soldado la envolvente cuerpo longitudinalmente se procede a limpiar perfectamente las uniones soldables de la escoria por medios mecánicos tales como esmerilado o con chorro de arena.

6.- Ya que se tiene la envolvente cuerpo del reactor químico soldada y limpia, se procede a la prueba de líquidos penetrantes, en la cual se verifican todas las soldaduras y las que presenten fisuras son reparadas, para posteriormente pasan a unirse con las cabezas, como lo veremos más adelante.

### 3.3. CONSTRUCCION DEL MEDIO CALEFACTOR.

El medio calefactor elegido por el usuario es externo a base de medias cañas de tubo de 3" de diámetro nominal cédula 10s (chaqueta de media caña), por lo que de acuerdo a dicha especificación, procederemos a construir las medias cañas, tanto para el medio calefactor de la envolvente cuerpo como para la cabeza inferior y continuación lo describimos.

1.- Para la construcción del medio calefactor que será colocado en la envolvente cuerpo se procede de la siguiente manera:

a) Primeramente se traza y corta el tubo exactamente por la mitad a fin de obtener una media caña; normalmente los tubos son surtidos en tramos de 3mts.

b) Después de que obtenemos la media caña, se rolan cada una de las medias cañas con una roladora de perfiles a un radio de 1,000.125 mm (39.375").

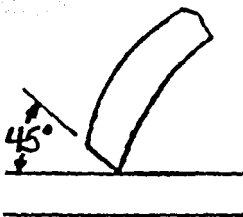
c) Ya que se tiene la media caña rolada al diámetro adecuado, es necesario ajustar con golpes las orillas del diámetro de la misma, para que este último sea uniforme en toda su extensión debido a que al rolar la media caña esta sufre modificaciones en su dimensión.

d) Posteriormente se procede a hacer el bicel correspondiente por medio de esmerilado (figura 3.3.1), para después instalarse en la envolvente cuerpo del reactor químico.

2.- En la construcción del medio calefactor que será colocado en la cabeza inferior se deben realizar los siguientes pasos:

a) Rolan cada uno de los tubos de acuerdo a los dibujos de taller.

b) Habilitar los materiales de acuerdo con los dibujos de taller, presentando cada uno de los tubos a la tapa inferior, a fin de ajustar y cortar el tubo adecuadamente, esto lo explicaremos en forma más detallada en la colocación del medio calefactor en la tapa inferior, del siguiente apartado.



*Figura 3.3.1 Bichel de la chaqueta de media caña.*

### 3.4 FABRICACION DEL SISTEMA DE AGITACION.

La fabricación del sistema de agitación es muy amplia, por lo cual excluirémos la fabricación del sistema motriz (motor, reductor, poleas y bandas) y de la caja de sellos (pedestal con sellos mecánicos rotatorios). Únicamente explicaremos en forma general la fabricación de la flecha y de los impulsores.

1.- La fabricación de la flecha del sistema de agitación de lleva acabo de la siguiente manera:

a) Se extrae del almacén la barra sólida que se empleará en la fabricación de la flecha, de no tener la longitud indicadas en los dibujos de taller, se maquina en caso de que la diferencia sea mínima y de no ser así se corta con una cizalla a la dimensión correcta.

b) Se maquina el extremo superior de la flecha, de acuerdo al tipo de sistema motriz que se empleará para que durante el ensamble general la flecha se aloje y sea sostenida, así como manipulada por el sistema motriz.

c) Se maquina la flecha en cada una de las distancias en las que se montarán los impulsores, de acuerdo con los dibujos de taller, para posteriormente ensamblar dichos impulsores.

2.- La fabricación de los impulsores del sistema motriz se lleva acabo como sigue:

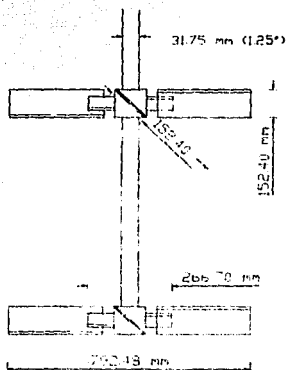
a) Se extraen del almacén dos barras huecas y se maquina de acuerdo a los dibujos de taller previamente elaborados, afín de tener los mamelones (sostenedores de los impulsores) correspondientes a cada uno de los impulsores.

b) Se cortan a la mitad cada uno de los mamelones por cizallamiento, a fin de que puedan ser montados en la flecha del agitador por medio de tornillos a las orejas aspas.

c) Se habilitan las orejas de las aspas y se sueldan a cada mamelón, para que alojen y soporten cada una de las aspas, así como al impulsor en la flecha del agitador, no sin antes realizarles las perforaciones para su sujeción con tornillos.

d) Se extraen del almacén las placas correspondientes al habilitado de las aspas y si estas no tienen las dimensiones establecidas en los dibujos de taller, se trazan y se cortan cada una de las aspas, para después perforarlas y puedan ser atomilladas a las orejas del mamelón.

e) Ya que se tienen las aspas completamente habilitadas, se ensamblan a cada uno de los mamelones y a su vez cada mamelón se ensambla a la flecha del agitador, como se muestra en la *figura 3.4*.



*Figura 3.4. Armado de flecha e impulsores.*

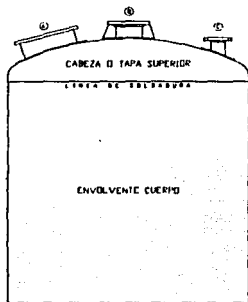
f) Posteriormente se procede al armado del sistema motriz con la flecha del agitador y más tarde al reactor químico.

### 3.5. ARMADO GENERAL Y PRUEBAS.

El armado general lo enlistamos a continuación:

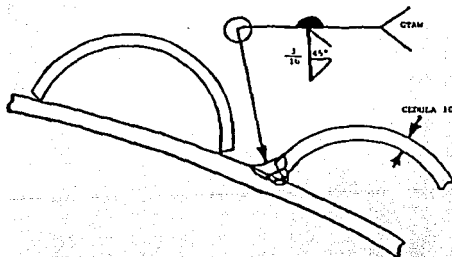
1.- Se suelda la cabeza o tapa superior a la envolvente cuerpo del reactor químico, por medio del procedimiento de soldadura automático SAW (denominado soldadura por arco sumergido); como se muestra en la *figura 3.5.1.*

2.- Se limpia por medios mecánicos como esmerilado o por chorro de arena la soldadura circunferencial anteriormente realizada, para posteriormente se suelden éstas partes del reactor químico a la cabeza inferior.



*Figura 3.5.1. Armado de cabeza superior a cuerpo.*

3.- Se puntea el medio calefactor o chaqueta de media caña a la cabeza inferior del reactor químico por el proceso de soldadura GTAW y posteriormente se suelda por el proceso de soldadura GTAW o GMAW. *Figura 3.5.2.*

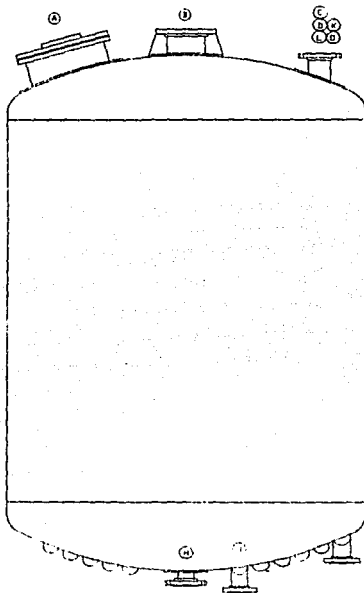


*Figura 3.5.2. Detalle de unión de chaqueta a tapa inferior.*

4.- Posteriormente se limpia con chorro de arena las soldaduras de la chaqueta con el cuerpo anteriormente realizadas.



5.- Se puntea la cabeza inferior a la envolvente cuerpo y cabeza superior de lo que será el cuerpo del reactor químico por el procedimiento de soldadura GTAW y posteriormente se suelda perfectamente con el procedimiento de soldadura automático SAW. *Figura 3.5.3.*



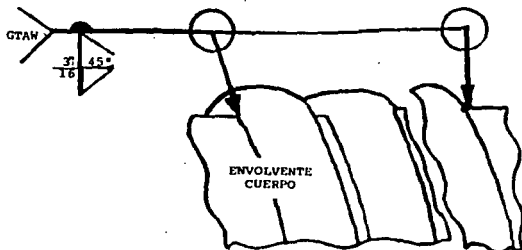
*Figura 3.5.3. Armado de cuerpo con cabeza inferior.*

6.- Ya que se tiene el cuerpo del reactor completo, se procede a radiografiar las cabezas en forma circunferencial totalmente y la envolvente cuerpo por puntos. Para la inspección por puntos el inspector del Código señalará al fabricante las zonas en que éstas deban ser tomadas, tomándose normalmente los cruces de las soldaduras longitudinal como circunferencial o soldaduras que denoten mala apariencia, en ambos casos.

El inspector del Código ASME deberá examinar todas las radiografías para estar de acuerdo con el dictámen de las compañías radiográficas y verificar que se hayan utilizado los parámetros adecuados. En caso de que existan reparaciones, éstas deberán ser revisadas nuevamente.

La técnica de radiografiado esta especificada en el párrafo UW-SI del Código ASME. Además los juegos de radiografiado de los recipientes se deben conservar durante un periodo no menor de cinco años.

7.- Posteriormente se procede a trazar la chaqueta de media caña en la envolvente cuerpo del reactor químico y puntearla por el procedimiento de soldadura GTAW, como se muestra en la *Figura 3.5.4*.



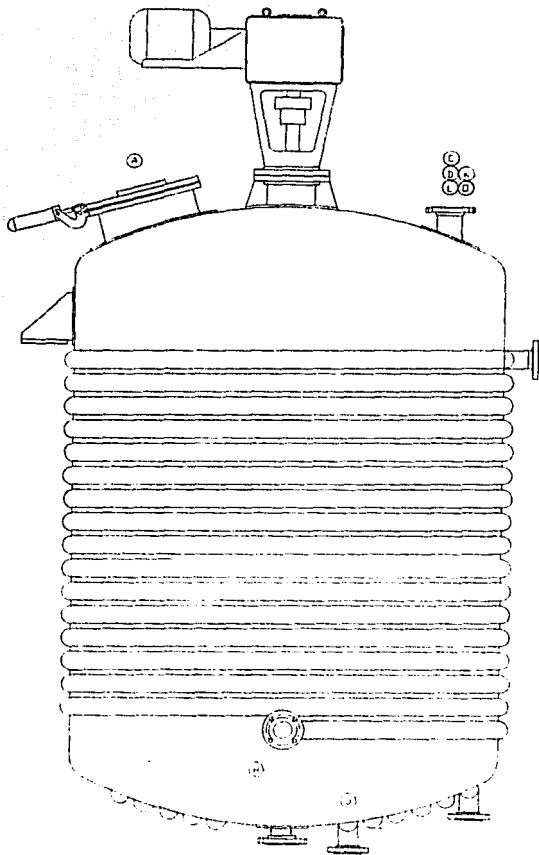
*Figura 3.5.4. Detalle de unión de chaqueta a la envolvente cuerpo.*

8.- Una vez puntada se suelda la chaqueta a la envolvente cuerpo del reactor químico por el procedimiento de soldadura GTAW o el GMAW.

9.- Ya que se tiene completamente soldada la chaqueta de media caña al reactor químico, se procede a colocar los soportes laterales primeramente puntandolos y más tarde soldandolos adecuadamente.

10.- Posteriormente se limpia perfectamente la superficie del reactor químico por esmerilado o por chorro de arena, a fin de que quede completamente libre de escoria como se muestra en la *Figura 3.5.5*.

11.- Por último el reactor pasa al área de pruebas en donde le serán realizadas las últimas pruebas (como lo veremos en el siguiente apartado), para más tarde pasar al departamento de pintura para que todas las partes que no son de acero inoxidable sean pintadas con pintura epoxica.



*Figura 3.5.5. Armado general del reactor químico.*

### 3.6. CONTROL DE CALIDAD.

El Código ASME no establece o dicta métodos de manufactura estrictos, pero sí pide datos y pruebas suficientes para determinar que las cosas se han hecho correctamente. Dichas pruebas son el control de calidad al cual estará sujeto el reactor químico, ya que de aprobar todas ellas estará fabricado con un alto grado de confiabilidad.

Por lo anterior las pruebas realizadas a los reactores químicos son de suma importancia durante su fabricación y dentro de las pruebas más importantes tenemos la prueba hidrostática, la cual se lleva a cabo después de que se ha terminado de fabricar el reactor químico, dicha prueba se realiza a todos los recipientes sujetos a presión interna ya sea en el cuerpo o en la chaqueta, por medio de una mezcla de agua y aire a presión.

La prueba hidrostática se realiza sometiendo al reactor químico a una presión interna de 1.5 veces la máxima presión de trabajo, a fin de probar la resistencia tanto del recipiente, medio calefactor, así como de sus accesorios, detectando la presencia de fugas. Esta prueba debe de ser presencia por el inspector autorizado del Código ASME.

Finalmente ya que el reactor ha aprobado la prueba hidrostática y el inspector autorizado por el Código ASME lo ha certificado, el reactor químico es estampado con el número consecutivo al que sea acreedor por la empresa y con el visto bueno y firmas por el inspector del Código ASME.

### 3.7. COSTO DE FABRICACION DEL REACTOR.

Es importante hacer hincapié que el elaborar un análisis de costos sobre la fabricación de un reactor químico no es nuestro cometido, ya que debido a las tendencias inestables del mercado nacional, el costo de dicho reactor cambiaría mes con mes, pues los materiales de fabricación dependen en gran parte del exterior, además el objetivo de este trabajo de tesis es resaltar los requisitos mínimos que se deben de satisfacer en el diseño y principalmente en la fabricación de un reactor químico, ya que consideramos que en el caso de no cumplir alguno o algunos de los puntos citados en el presente trabajo, podemos tener un equipo poco confiable que puede traer como consecuencia desastres fatales, los cuales no se comparan con el costo del reactor químico por muy alto que éste sea.

Como se pudo observar la fabricación de un reactor químico de 2,000 galones de capacidad en acero inoxidable presentada en este trabajo de tesis es en forma general, únicamente se hace énfasis a los puntos más importantes en la fabricación y esperamos que esta información pueda servir a todos aquellos que deseen incursionar en la fabricación de reactores químicos sujetos a presión.

## 4.- CONCLUSIONES.

## CONCLUSIONES.

Como se pudo observar la fabricación de un reactor químico es la culminación de una serie de pasos que son la base para el buen funcionamiento del mismo. Los aspectos más importantes los englobamos en dos grupos, en el primer grupo conjuntamos los aspectos relacionados a la prefabricación del reactor químico y en el segundo la fabricación en taller.

En la prefabricación del reactor químico dentro de los aspectos más importantes que consideró el usuario fué la necesidad de aplicación, en ella se consideraron los usos para los cuales se había pensado el reactor químico, si soportaría una reacción muy violenta, etc., así como el tipo de proceso a realizar.

Una vez que el usuario identificó el tipo de proceso que se realizaría, procedió a identificar las condiciones de operación como son temperatura y presión, así como los materiales de construcción y el tipo de reactor a fabricar. Con esos datos, el fabricante procedió al segundo paso de la prefabricación que es seleccionar las partes componentes del mismo, así como las dimensiones del recipiente tales como diámetro y parte recta, espesores de cabezas, envolvente cuerpo y medio calefactor, además de las características del sistema de agitación.

En caso de que las partes componentes del reactor químico seleccionadas no sean las adecuadas (especialmente las de las cabezas), el costo-beneficio del reactor sería demasiado elevado, además si los espesores determinados en los cálculos no fuerán los correctos de acuerdo a las presiones y temperaturas a las cuales se operará el reactor químico, este sufriría un colapso en caso de que el espesor de fabricación sea menor al espesor requerido y por el contrario, en caso de que el espesor de fabricación sea mayor al requerido el costo beneficio del reactor sería muy elevado.

Otro aspecto importante que se tomó en consideración cuando se fabricaron las cabezas del reactor químico, fué la tolerancia por formado, es decir, el espesor de diseño obtenido de los cálculos más una tolerancia por formado, pues al momento de formar tanto el radio de abombado como el radio de rodilla, la placa sufre adelgazamiento; esta tolerancia por formado va desde 1.5875 mm (0.0625") hasta 3.175 mm (0.125") y más dependiendo del espesor final y del tipo de cabeza a fabricar.

Por otra parte se tomó especial atención a las dimensiones del sistema de agitación ya que si no fueran las adecuadas de acuerdo al tipo de proceso que se llevará a cabo, se presentarían serios problemas tales como: torsión de la flecha del agitador (si ésta no tubiera el diámetro requerido), el sobrecalentamiento del motor del sistema motriz (si la viscosidad del producto fuera mayor o si las r.p.m. fueran mayores a lo que se consideró en el diseño), así como una agitación no deseada en el proceso debido a la mala selección del tipo de impulsor o a la falta de impulsores adicionales.

Debido a la poca variación que se tiene en el diseño de recipientes sujetos a presión interna y a lo laborioso que resulta el diseño, se recomienda elaborar un programa por computadora, por ser un método iterativo, con la finalidad de reducir el tiempo para su diseño y una vez que se tengan los datos arrojados por esta última, afinar los resultados dependiendo de su aplicación específica.

Es importante también que los cálculos realizados en el diseño del reactor químico, así como los dibujos emitidos para la fabricación del mismo sean elaborados, revisados y aprobados por personas diferentes antes de emitirlos a taller, a fin de minimizar errores.

Dentro de los aspectos básicos que hay que cuidar en el segundo grupo, que es la fabricación del reactor químico en taller, tomando como base el reactor químico en estudio, tenemos los siguientes:

1.- Asegurarse que los materiales de construcción concuerden con los solicitados. Esto se puede llevar a cabo impregnando a los materiales destinados a la fabricación del cuerpo del reactor químico (SA 240 316L) con cualquier líquido que reaccione con el Molibdeno y de esta forma se verifica que el material de las cabezas y la envolvente cuerpo corresponda al material solicitado, ya que el SA 240 304 no contiene Molibdeno además de tener menor resistencia al ataque químico.

2.- Asegurarse que los componentes del reactor químico sean unidos de acuerdo al procedimiento de soldadura antes establecido y deben de cumplir al menos con lo siguientes puntos:

a) Una buena soldadura, es casi imposible sin un buen ensamble de las partes. La importancia de la preparación adecuada de las uniones y los biseles en juntas longitudinales y circunferenciales en el recipiente del reactor químico, es fundamental. Una buena soldadura no se puede obtener si la zona adyacente a la ranura que se va a soldar, esta cubierta con pintura, oxido, escamas, grasas o aceite. El Código establece, que después de cortar el material con soplete de flama, las orillas deberán ser pulidas uniformemente y deberán estar libres de escamas y acumulación de escoria.

Antes de efectuar la soldadura, la superficie de las uniones deberá estar libre de pintura, oxido o grasas en una distancia de cuando menos  $\frac{1}{2}$ " apartir de la orilla de la unión.

Una buena preparación de uniones es esencial en recipientes que se usan para alta presión y servicios. La prueba de líquidos penetrantes no revela fallas que aparecen en las radiografías, por que han quedado cubiertas por los siguientes cordones de soldadura. Conforme pasa el tiempo las pequeñas fallas no detectadas empiezan a aparecer y a hacerse mayores. Estudios muestran que estas fallas se iniciaron en las orillas de los biseles de las placas, originadas por uniones deficientes.



Esta clase de hechos han ocurrido tan frecuentemente, que se debe examinar el material que será utilizado en servicios a temperaturas y presiones críticas al 100% y además no se deben de omitir las pruebas radiográficas en ningún caso.

b) Todos los soldadores involucrados en la fabricación del reactor químico, deberán estampar con letra de golpe, la letra que se les fué designada después de su calificación como soldador del proceso y posición de soldadura correspondiente, a cada 50 cm de separación cuando menos, a fin de identificar a los soldadores que efectuaron la unión durante la inspección de las soldaduras.

3.- Asegurarse que todas las soldaduras sean inspeccionadas y se les realicen al menos las siguientes pruebas no destructivas:

a) La inspección visual es imprescindible pero no determinante debido a que la mayor parte de los defectos no se pueden observar a simple vista tales como defectos finos ni internos, únicamente podemos detectar grietas o hendiduras.

b) La inspección de líquidos penetrantes no se debe de omitir, ya que determina defectos abiertos a la superficie aun cuando estos sean muy estrechos, en forma rápida y muy eficaz. De no llevarse acabo dicha inspección, se pueden presentar fisuras que incrementan rápidamente al paso del tiempo y pueden provocar fugas.

c) La inspección radiográfica es indispensable sobre todo en la fabricación de las cabezas del reactor químico, ya que se deben de radiografiar al 100% (de acuerdo a lo que establece el Código ASME) y además la mayor parte de los fabricantes de reactores químicos y recipientes sujetos a presión, radiografían al menos por puntos las envolventes cuerpo de aquellos equipos que trabajarán a altas presiones y temperaturas, a fin de reducir el espesor de la placa de dicha envolvente cuerpo y con ello el costo de fabricación.

d) La prueba hidrostática es requisito indispensable para todos los recipientes diseñados a presión interna y se debe de aplicar a todas las partes del recipiente, ya sea cuerpo del reactor químico o medio calefactor. Es de suma importancia su realización ya que con ella se prueban principalmente todas las soldaduras del reactor químico, además de que la prueba debe de ser a temperatura ambiente.

Otro aspecto importante dentro de la fabricación del reactor químico es que todos los instrumentos, maquinaria y equipo utilizado en la fabricación, así como en las pruebas no destructivas, debe de ser calibrados al menos una vez cada seis meses para garantizar su buen funcionamiento, especialmente los manómetros utilizados en las pruebas hidrostáticas.

Por otro lado, es de suma importancia que los equipos fabricados especialmente en aceros inoxidable sean pasivados a fin de garantizar una mayor resistencia al ataque químico por parte del material y a su vez una mayor vida útil del equipo.

Es importante hacer mención que durante la fabricación del reactor químico, un inspector autorizado por Código ASME seguirá muy de cerca el proceso de fabricación de dicho reactor, desde los cálculos, dibujos de taller, algunas partes del proceso de fabricación, así como las pruebas a las cuales es sometido, pero el inspector no se hace responsable de las fallas que pudieran presentarse tanto a corto como a mediano plazo, ya que únicamente certifica que se sigan los requisitos establecidos por ASME.

La calidad de los reactores químicos depende en un alto porcentaje de la calidad de los materiales de construcción utilizados durante su fabricación. El mercado nacional no se distingue precisamente por la óptima calidad en materiales y equipos, pues existen fabricantes de gran responsabilidad y muchos otros con deficiencias de orden técnico o con una actitud negativa a cumplir fielmente con los requisitos que establecen las normas. Dentro de esta realidad, los fabricantes de reactores químicos, tienen la

obligación de tomar medidas efectivas que cubran esas deficiencias para evitar el uso de materiales inadecuados, a fin de seleccionar a los mejores proveedores, por que de ello depende la calidad del producto, no conformarse con sólo exigir certificado de materiales, se requiere pues de disponer de equipos, materiales, personal capacitado e intervenir activamente con los proveedores en sus plantas, ejerciendo el derecho que las mismas normas establecen y vigilando que dichos requisitos se cumplan.

Todas las normas que se involucran en la fabricación de los reactores químicos, en especial el Código ASME proveen un control de calidad progresivo, es decir que todos los casos de construcción de reactores químicos sujetos a presión son evaluados y el paso siguiente es permitido si todos los anteriores se realizaron conforme a dicho Código.

Se puede decir que el Código ASME es una gran guía que incluye como organizar el control de calidad de la fabricación, previniendo, detectando y corrigiendo los problemas que se podrían presentar en el transcurso del armado y funcionamiento del reactor químico.

En cuanto al aspecto económico, el seguimiento de éstas normas que aunque aparentemente incrementan el costo de un recipiente, equivale a tomar un seguro contra accidentes donde el valor de los beneficios que se obtienen es muy superior al incremento del costo y dentro de dichos beneficios tenemos los siguientes:

a) Se reduce el riesgo de siniestros en los cuales se puedan perder vidas humanas y la destrucción de equipos aledaños.

b) Se reduce el riesgo de que una falla suspenda la operación y consecuentemente ocasione pérdidas por paros de producción mano de obra ociosa y reparaciones de maquinaria.

c) Para el fabricante representa evitar la ejecución de reparaciones, que equivale a efectuar dos veces el mismo trabajo, cobrándolo sólo una vez.

d) La fabricación bajo las normas establecidas dará al fabricante mayor prestigio que repercutirá en un incremento en sus ventas.

Una vez que el reactor químico ha sido terminado de fabricar y ha pasado todas las pruebas establecidas, el inspector de Código ASME autorizado, procede a proporcionarle un número de estampado de acuerdo al consecutivo que lleve el fabricante, para que posteriormente dicho número de estampado sea registrado en la asociación ASME en Estados Unidos de Norte America.

Finalmente respecto al contenido del trabajo pensamos que se ha cumplido con el objetivo, ya que con éste se pretendió establecer los requisitos mínimos que se deben de cumplir en la fabricación de un reactor químico con chaqueta de media caña de 2,000 galones de capacidad en acero inoxidable y debido a lo extenso del tema, sería muy difícil presentar en un sólo trabajo todo lo referente a la fabricación de los reactores químicos.

A N E X O A .



A92

TABLE IA (CON'TD) SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3; AND SECTION VIII, DIVISION 1 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

TABLE IA (CON'TD) SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3; AND SECTION VIII, DIVISION 1 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

TABLE IA (CON'TD) SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3; AND SECTION VIII, DIVISION 1 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Table with columns: Nominal Composition, Product Form, Spec. No., Type/Grade, Alloy Desig./UNS No., Class/Cond./Temper, Size/Thickness, Min. Tensile Strength, Min. Yield Strength, Applicable and Max. Temp. Limits (NFP, NP, NPV, SPT), External Pressure Chart, Notes Reference, and Maximum Allowable Stress (ksi) for temperatures from -20 to 900.

## DIMENSIONS OF ANSI B36.10 WELDED AND SEAMLESS WROUGHT STEEL PIPE

Nominal Pipe Size	Out-side Diam.	Nominal Wall Thickness For												
		Sched. 10	Sched. 20	Sched. 30	Stand-ard	Sched. 40	Sched. 60	Extra Strong	Sched. 80	Sched. 100	Sched. 120	Sched. 140	Sched. 160	XX Strong
1/8 1/4	0.405	—	—	—	0.068	0.068	—	0.095	0.095	—	—	—	—	—
	0.540	—	—	—	0.088	0.088	—	0.119	0.119	—	—	—	—	—
3/8 1/2	0.675	—	—	—	0.091	0.091	—	0.126	0.126	—	—	—	—	—
	0.840	—	—	—	0.109	0.109	—	0.147	0.147	—	—	—	0.188	0.294
3/4 1	1.050	—	—	—	0.113	0.113	—	0.154	0.154	—	—	—	0.219	0.308
	1.315	—	—	—	0.133	0.133	—	0.179	0.179	—	—	—	0.250	0.358
1 1/4 1 1/2	1.660	—	—	—	0.140	0.140	—	0.191	0.191	—	—	—	0.250	0.382
	1.900	—	—	—	0.145	0.145	—	0.200	0.200	—	—	—	0.281	0.400
2 2 1/2	2.375	—	—	—	0.154	0.154	—	0.218	0.218	—	—	—	—	0.436
	2.875	—	—	—	0.203	0.203	—	0.276	0.276	—	—	—	0.375	0.552
3 3 1/2	3.5	—	—	—	0.216	0.216	—	0.300	0.300	—	—	—	0.438	0.600
	4.0	—	—	—	0.226	0.226	—	0.318	0.318	—	—	—	—	—
4 5	4.5	—	—	—	0.237	0.237	—	0.337	0.337	—	0.438	—	0.531	0.674
	5.563	—	—	—	0.258	0.258	—	0.375	0.375	—	0.500	—	0.625	0.750
6 8	6.625	—	—	—	0.280	0.280	—	0.432	0.432	—	0.562	—	0.719	0.864
	8.625	—	0.250	0.277	0.322	0.322	0.406	0.500	0.500	0.594	0.719	0.812	0.906	0.875



A N E X O B .

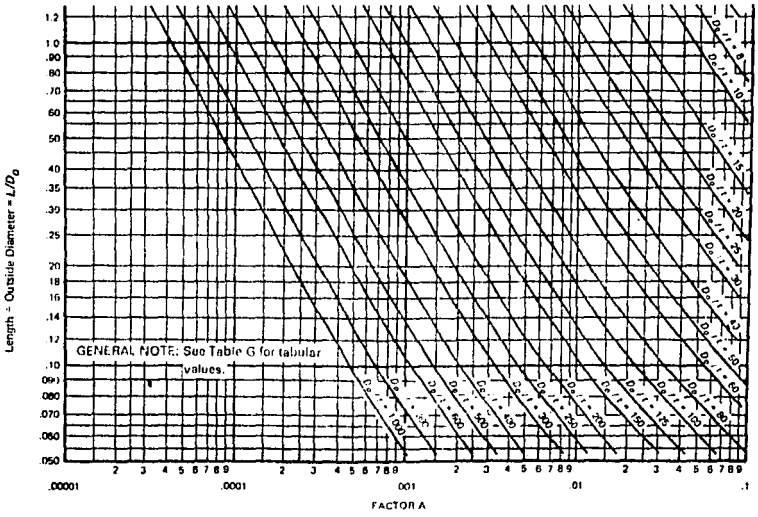
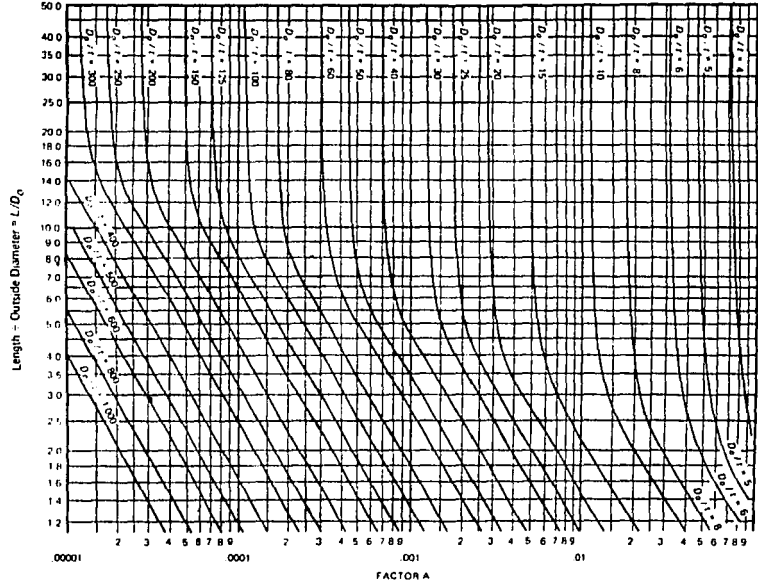


FIG. G GEOMETRIC CHART FOR COMPONENTS UNDER EXTERNAL OR COMPRESSIVE LOADINGS (FOR ALL MATERIALS)

FALLA DE ORIGEN

671

673

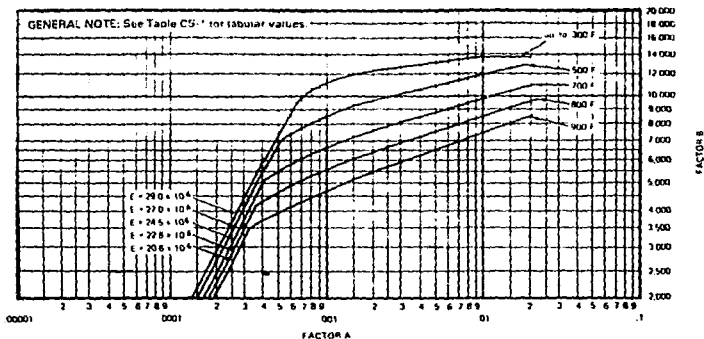


FIG. CS-1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH 24,000 psi TO, BUT NOT INCLUDING, 30,000 psi) (NOTE 1)

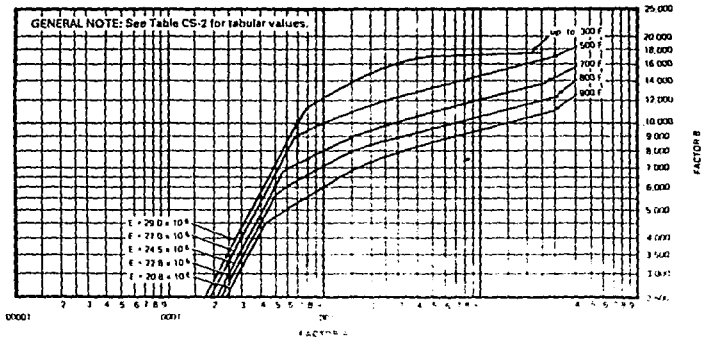


FIG. CS-2 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH 30,000 psi AND OVER EXCEPT FOR MATERIALS WITHIN THIS RANGE WHERE OTHER SPECIFIC CHARTS ARE REFERENCED) AND TYPE 305 AND TYPE 310 STAINLESS STEELS (NOTE 1)

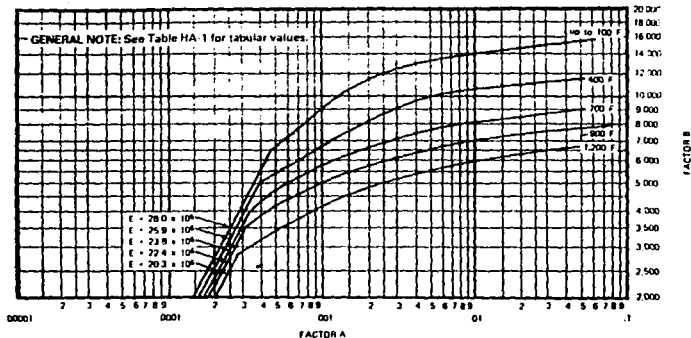


FIG. HA-1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF AUSTENITIC STEEL (18Cr-8Ni, TYPE 304) (NOTE 1)

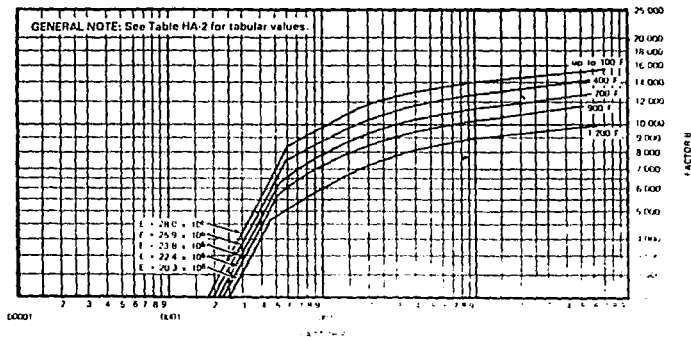


FIG. HA-2 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF AUSTENITIC STEEL (18Cr-8Ni-Mo, TYPE 316; 18Cr-8Ni-Ti, TYPE 321; 18Cr-8Ni-Cb, TYPE 347; 25Cr-12Ni, TYPE 309 (THROUGH 1100°F ONLY); 25Cr-20Ni, TYPE 310; AND 17Cr-17Ni-0.55Nb, TYPE 330) (NOTE 1)

PAULA DE OLIVEIRA

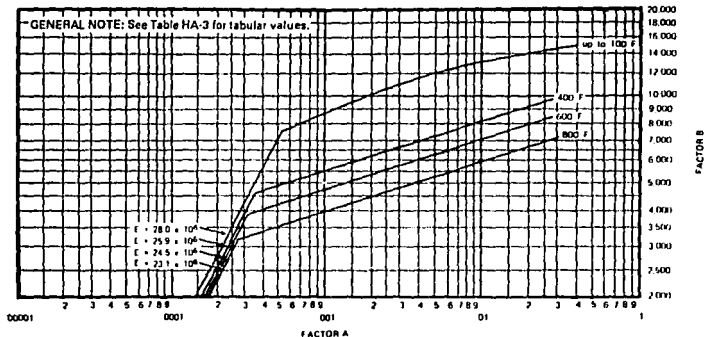


FIG. HA-3 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF AUSTENITIC STEEL (18Cr-8Ni-0.035 MAXIMUM CARBON, TYPE 304L) (NOTE (1))

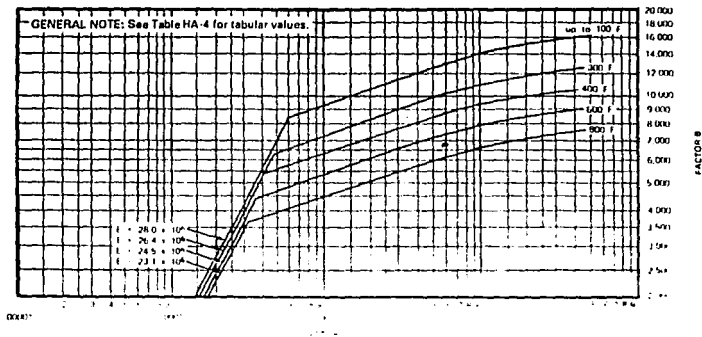


FIG. HA-4 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF AUSTENITIC STEEL (18Cr-8Ni-0.035 MAXIMUM CARBON, TYPES 316L AND 316) (NOTE (1))

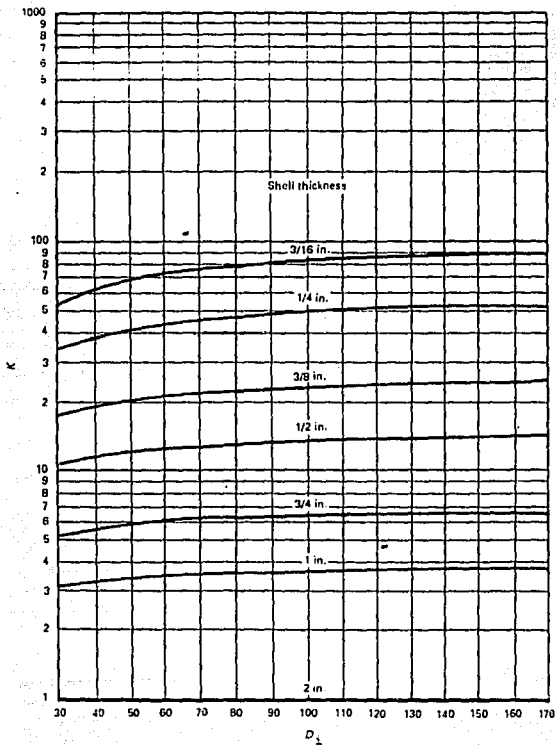


FIG. EE-1 NPS 2 PIPE JACKET

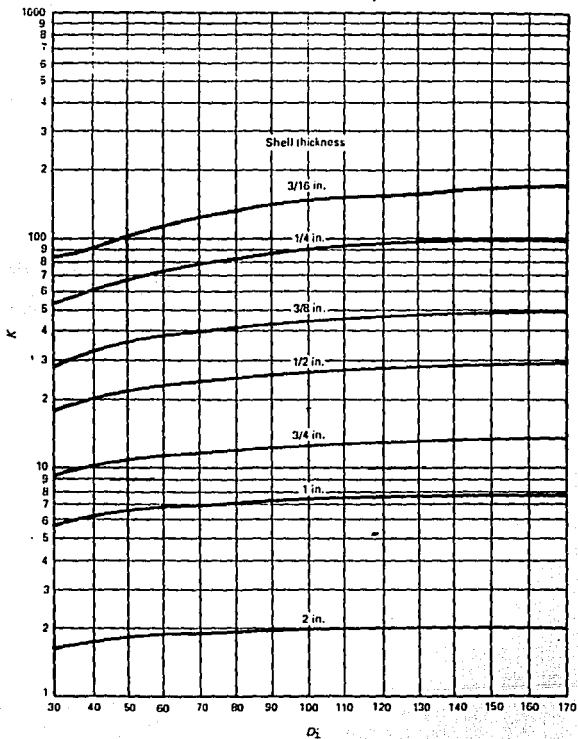
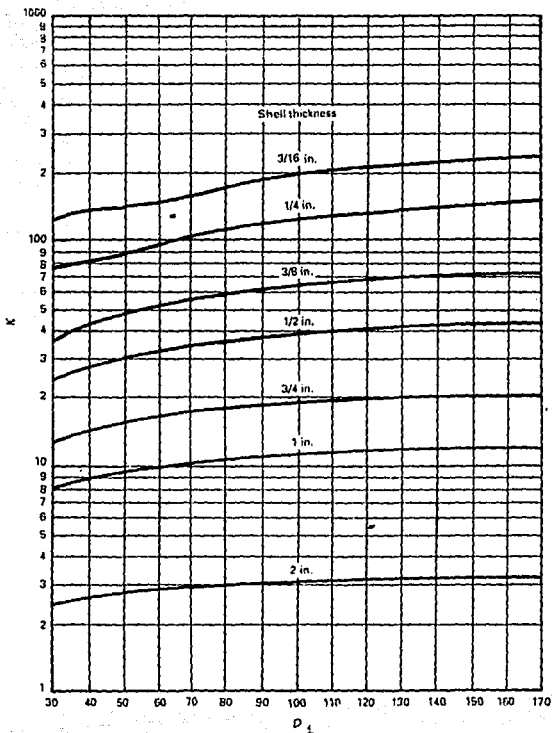
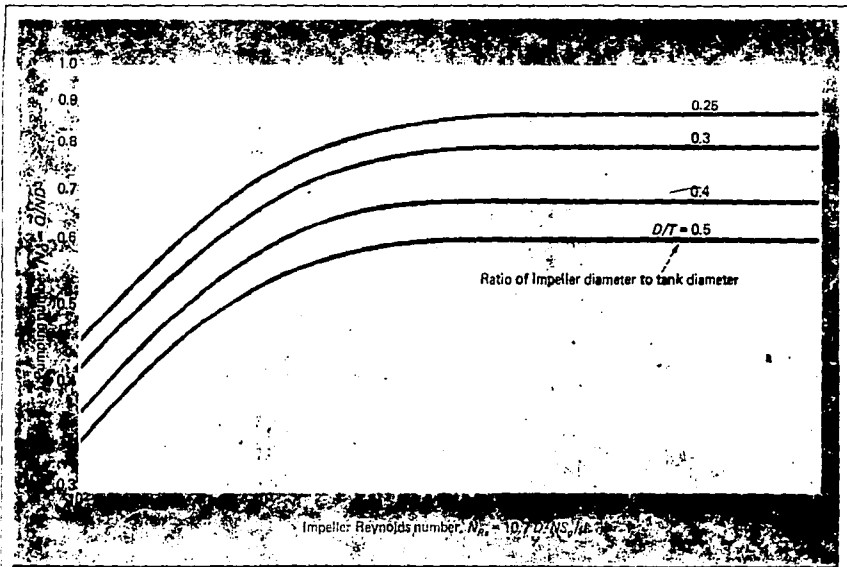


FIG. EE-2 NPS 3 PIPE JACKET





# CE REFRESHER



RENEWED 2007

BIBLIOGRAFIA.

BIBLIOGRAFIA.

**INGENIERIA DE LA CINETICA QUIMICA.**

Autor : J.M. Smith.  
Editorial: CECSA  
Séptima reimpresión.

**INGENIERIA DE LAS REACCIONES QUIMICAS.**

Autor : Octave Levenspiel.  
Ediciones REPLA, s.a.

**MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO.**

Autores : Robert H. Perry.  
Cecil H. Chilton.  
Editorial: Mcgraw-Hill

**MANUAL DE SOLDADURA MODERNA.**

Autore : Howard B. Cary.  
Tomos : I, II y III.  
Editorial: Prentice-Hall.  
Segunda Edición.

**PRESSURE VESSEL HANDBOOK.**

Autor : Eugene F. Megyesy.  
Editorial: Publishing Inc.  
Octava Edición.

**RESISTENCIA DE MATERIALES.**

Autor : Ferdinand L. Singer y Andrew Pytel.  
Editorial: Harla.  
Tercera Edición.

**CODIGO ASME SECCION VIII DIVISION I**

**ASME**  
Adenda 1993.