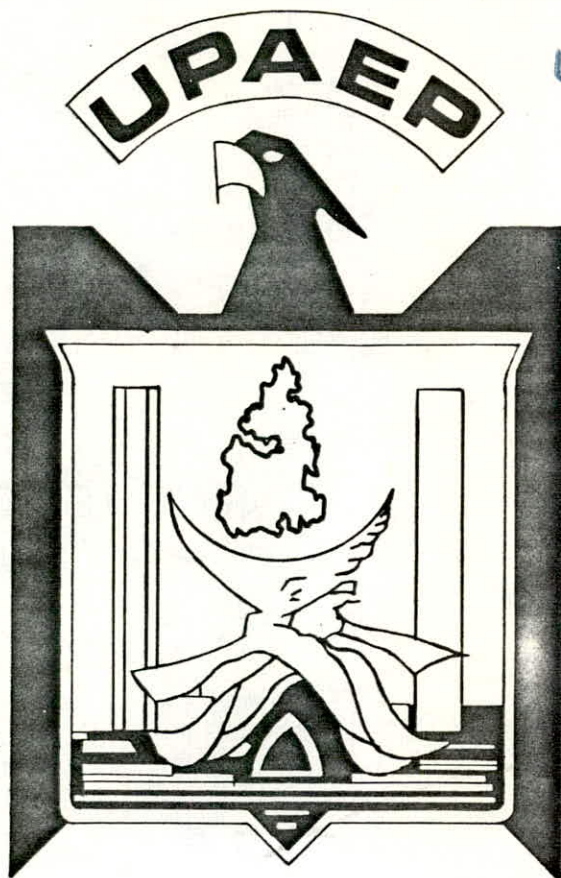


T  
IQ  
ZUG  
1984

REFERENCIA  
Unicamente  
Uso Interno



TRABAJO PRACTICO  
de  
RECEPCION PROFESIONAL

"INTRODUCCION AL CODIGO A.S.M.E.  
SECCION VIII, DIV. I"

MA. MAGDALENA / ZUGASTI MATTAR

AGOSTO 1984

R-10.804  
UPAEP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL ESTADO DE PUEBLA



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

**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 textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

VICTOR J. ZUGASTI TRUJILLO Por el espíritu de lucha y superación que has mostrado durante toda tu vida que me ha servido como ejemplo para superarme.

MAGDALENA MATTAR DE ZUGASTI Por el espíritu de sacrificio que durante toda tu vida ha predominado y porque ni con mil palabras puedo agradecer el amor y el cariño que me has dado, factores completamente indispensables para mi formación como mujer y como profesionista. Agradezco a Dios haberme dado una persona tan valiosa como tú.

REFERENCIA  
Unicamente  
Uso Interno

A MIS HERMANOS:

SERGIO HUGO

ERNESTO HERNANDO

VICTOR

Porque su ejemplo siempre me ha motivado a superarme y a ser mejor cada día y en todos los aspectos de mi vida.

A MIS MAESTROS Y AMIGOS,

Y en especial al Ingeniero Leopoldo Muro G., muy querido maestro y amigo, por su valiosa ayuda y colaboración en la elaboración de este trabajo práctico.

AL ING. CARLOS ROSETE GLZ.

Entrañable amigo, en quien he encontrado un gran apoyo en todos los aspectos dentro de este camino que he elegido en mi vida.

Y MUY ESPECIALMENTE A:

ALBERTO LOPEZ DE LA CONCHA Con todo el amor que merece una persona tan especialmente importante para mí, porque con tu apoyo he logrado superarme y vencer todos los obstáculos que he encontrado en mi vida.

62750

A TODOS ELLOS Y A DIOS...GRACIAS.

## I N D I C E

|              |    |                                                                                                                                                                                  |
|--------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| INTRODUCCION | A) | PANORAMA GENERAL DEL TRABAJO                                                                                                                                                     |
| CAPITULO I   | A) | PAPEL DEL INGENIERO QUIMICO EN EL AREA -<br>DEL DISEÑO                                                                                                                           |
|              | B) | IMPORTANCIA DEL DISEÑO                                                                                                                                                           |
| CAPITULO II  | A) | BREVE EXPLICACION DE LOS PARAMETROS MAS -<br>USADOS DENTRO DEL CODIGO A.S.M.E. SECCION<br>VIII DIVISION 1                                                                        |
| CAPITULO III | A) | INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL CODIGO A.S.M.E.<br>1.- Introducción                                                                                                                  |
|              | B) | CODIGO A.S.M.E. SECCION VIII DIVISION 1<br>1.- Alcances<br>2.- Procedimientos de diseño y requisitos<br>generales<br>3.- Materiales de construcción<br>4.- Método de fabricación |
| CAPITULO IV  | A) | REPRESENTACION GENERAL DE UN REACTOR Y LA<br>ESPECIFICACION DE SUS PARTES BASADAS EN -<br>EL CODIGO A.S.M.E.                                                                     |
|              | B) | RESOLUCION DE UN PROBLEMA TIPO PARA EL -<br>DISEÑO DE UN RECIPIENTE SUJETO A PRESION                                                                                             |



- 1.- Formulación de un problema
- 2.- Resolución por medio de la cinética -  
química
- 3.- Resolución del problema en base a -  
las condiciones que establece el código  
80 A.S.M.E. sección VIII división 1
- 4.- Cálculos adicionales para la soportabilidad del reactor.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

# INTRODUCCION

## PANORAMA GENERAL DEL TRABAJO

El siguiente trabajo pretende establecer las bases del -  
diseño mecánico para la construcción de recipientes sujetos a-  
presión.

El trabajo está realizado en base al estudio del Código -  
A.S.M.E. sección VIII división 1, que establece los requisitos-  
necesarios para la construcción de Calderas y Tanques sujetos-  
a presión.

Todos los recipientes presionados manufacturados bajo el-  
Código A.S.M.E., están contenidos dentro de la sección VIII di-  
visión 1 del mismo.

Desde su primera edición, realizada en 1925, éste Código -  
ha sido una referencia importante para las personas dedicadas-  
al diseño y a la fabricación de recipientes presionados.

El Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecáni -  
cos es el resultado de muchos años de experiencia y desarrollo  
y contiene una gran cantidad de información sobre los detalles  
de la construcción.

En base a lo antes mencionado, la siguiente exposición -  
ilustrará un problema específico que es usual encontrar en la-  
vida diaria, facilitando el entendimiento de la aplicación de -  
las reglas del Código y además tratará de establecer un crite-  
rio para la determinación de las características de las partes  
que conforman un recipiente presionado.

Primeramente, se establecerá que dentro de éste estudio -  
se hará mención únicamente al campo de los reactores, los cua-

les, al tener las características requeridas por el Código A.S.M.E. se encuentran dentro de la sección VIII división 1, base de éste trabajo.

El estudio comienza por definir todas las constantes o parámetros que usamos como términos comunes dentro del código para el mejor entendimiento del idioma en el que se desenvuelve, para conocer que partes específicas o que elementos se refiere cuando se nos trata de dar alguna especificación determinada.

Conociendo dichos términos damos paso a la formulación de una explicación general de las partes que conforman el código, para dar posteriormente lugar a la realización de un diagrama de un reactor, en el cual se especifican todas las partes de que consta y junto con ellas la especificación necesaria basada en el código, para poder determinar datos como son: su presión de trabajo, su temperatura de trabajo, los diferentes tipos de tapas que se pueden utilizar, los tipos de soldaduras que existen y cuales son las más eficientes, etc., para posteriormente tomarlos como base en el proyecto del diseño y adaptarlo a nuestras necesidades.

Teniendo los antecedentes indispensables que nos llevan al conocimiento y al dominio del Código A.S.M.E. sección VIII-división 1, pasaremos a la parte práctica de éste estudio que se refiere a la aplicación de todos los requigitos a un problema común dentro de la Ingeniería Química, como es el diseño de un reactor para la elaboración de un producto determinado.

La ilustración de un problema, generalmente, consta de dos partes principales: la primera es aquella que se refiere al Estudio Cinético de la reacción que se lleva a cabo dentro del



reactor, del cual sólo se hará mención muy superficialmente, dando una breve explicación general de lo que es en esencia y de los pasos que hay que seguir en este tipo de problemas.

En la resolución de nuestro problema nos basaremos en que todos los datos disponibles fueron determinados anteriormente, siendo los correctos y recordando que la base de este estudio es el diseño mecánico del recipiente presionado.

La Cinética Química es el estudio del comportamiento de una reacción en base a las velocidades de reacción a través del mecanismo de la reacción; que es lo que abarcaría el Diseño de Reactores en base a sus propiedades químicas.

El estudio cinético es importante, ya que al conocer las velocidades de reacción (que es la masa en moles de un producto formado o de un reactante consumido) podemos saber como se comporta un producto dentro de una reacción y qué se realiza dentro de él, el cual, además de darnos las características químicas del producto, nos dará un panorama de su comportamiento al estar expuesto a diferentes materiales, estableciéndose así un criterio para determinar si un producto a una concentración dada es corrosivo, volátil, erosivo, etc. siendo éstos elementos importantes para el diseño.

Además de proporcionar dichas características, por medio de la cinética química, podemos calcular el volumen real de dicho recipiente en base a la producción necesaria y al consumo real requerido.

Conociendo los datos sobre las propiedades químicas del producto y su volumen, procedemos con la segunda parte del problema que es el diseño general de dicho reactor en base a los requisitos que exige el código A.S.M.E. Recipientes Suje-

tos a Presión.

El problema presentado se refiere a la oxidación del Tolueno para la producción de Acido Benzoico con desprendimiento de Hidrógeno, donde es importante conocer las características tanto de los reactivos como de los productos formados, tomando en cuenta que a partir del volumen real, podemos avocarnos a la utilización de datos tabulados para la elección del material para la elaboración del recipiente. Además, en base a estándares dados dentro del código podremos adaptar al diseño todos los elementos necesarios como son: una forma de calentamiento o enfriamiento, sus registros, sus boquillas, sus bridas - sus refuerzos, los soportes, las estructuras, los tornillos, etc.

De ésta manera, podemos estar seguros que el proyecto en cuestión está dentro de los límites de seguridad establecidos para éste caso y con la confianza de que puede funcionar tal como lo deseamos y para los fines que fué diseñado.

## C A P I T U L O   I

a) PAPEL DEL INGENIERO QUIMICO EN EL AREA DEL DISEÑO

b) IMPORTANCIA DEL DISEÑO

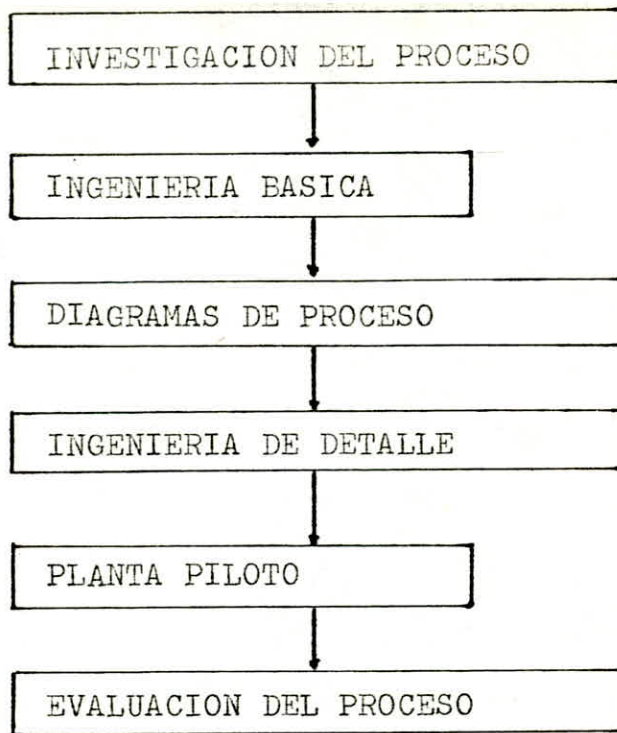
## PAPEL DEL INGENIERO QUIMICO EN EL AREA DEL DISEÑO

Como habíamos dicho anteriormente, el Diseño es una parte importante dentro de la ingeniería, hasta el grado de que se dice que se diseña en base a una buena ingeniería.

El ingeniero químico es la persona que está capacitada para desarrollar este tipo de ingeniería, ya que es el profesional que aplica los principios de las ciencias físicas y químicas simultáneamente con los principios de economía y de relaciones humanas en las actividades concernientes a los procesos y a los equipos de proceso en los cuales la materia prima es tratada para efectuar los cambios de estado o para la elaboración de un producto. Una de las principales áreas de trabajo del Ingeniero Químico es el proyecto o también llamada ingeniería de proyecto, puesto que éste es capaz de desarrollar, proyectar y dirigir. Durante el desarrollo se dedica a investigar, experimentar, etc., durante el desarrollo del proceso, verá el alcance del proceso y lo realizará por medio de la planeación y el desarrollo de un programa de trabajo, por medio de la construcción de una planta piloto, por medio de la evaluación de los datos obtenidos, etc., para lograr una buena inversión en donde los resultados sean óptimos en cuanto al funcionamiento, a la seguridad y sobre todo a la economía.

En base a lo anteriormente mencionado, podemos decir que, dentro de las actividades que realiza el ingeniero químico en cuanto al desarrollo de un proyecto están:





La investigación del poceso es una parte esencial, ya que es la que nos dará toda la información del comportamiento del producto. Se basa en los datos obtenidos a través de laboratorio de investigaciones, de la cinética química, a partir de las presiones de operación, de las temperaturas de trabajo, etc.

Es una parte elemental, aunque es la más tardada ya que se necesita estar experimentado e investigando constantemente para determinar las características del producto deseado.

Este estudio contiene una parte donde se introduce la cinética química, en una forma superficial, ya que los datos de los cuales partimos (como ya se había mencionado anteriormente) son datos ya conocidos y que se han determinado a través de estudios continuos y de constantes experimentaciones teniendo en cuenta las propiedades del producto, como son: Los calores específicos, los calores de formación y otro tipo de propiedades que influyen en el comportamiento del producto.

El segundo paso consiste en realizar la ingeniería básica, la cual consta de datos a nivel industrial como son:

- 1.- Investigación, para conocimiento de características del -  
proceso; las investigaciones pueden ser:
  - a) Físicas
  - b) Químicas
  - c) De factibilidad
  - d) Análisis de resultados
- 2.- Desarrollo por medio del cual podemos conocer:
  - a) el comportamiento de la reacción
  - b) el comportamiento de los parámetros tanto físicos como quí  
micos
  - c) controles del proceso
  - d) instrumentación
  - e) diagramas de flujo, etc.
- 3.- Escalación, también llamada "Scale Up", siendo el medio para  
conocer datos como:
  - a) la factibilidad
  - b) el análisis de inversiones
  - c) la necesidad de servicios
  - d) el lugar de ubicación óptimo para la planta
  - e) las descripciones financiera, etc.
- 4.- Diagramas de flujo, siendo los más comunes:
  - a) diagramas de proceso
  - b) diagramas de servicios
  - c) diagramas específicos de equipo
  - d) diagramas de instrumentación, etc.
- 5.- Especificaciones de todos los elementos:
  - a) de materiales
  - b) de los equipos usados

c) de la instrumentación

d) y en especial del diseño para realizar la ingeniería de detalle

6.- Dibujos necesarios para el proyecto, como son:

a) Arquitectónicos

b) Mecánicos

c) Eléctricos, etc.

7.- Uso eficiente de normas; que es un requisito importante pues constituye la base del diseño. Existen diferentes tipos de normas:

a) ANSI (American National Standards Institute)

b) ASTM (American Society of Testing Materials)

c) API (American Petroleum Institute)

d) NEC (National Electric Code)

e) ASME (American Society of Mechanical Engineering)

Después de haber realizado la ingeniería básica, que en realidad constituye la base del diseño, seguiremos realizando los diagramas de proceso, que constituye un elemento más dentro del desarrollo del proyecto.

Este punto se encuentra también dentro de lo que es la ingeniería básica, pero se ha considerado necesario que se trate por separado debido a la importancia que tiene, pues nos proporciona datos sobre direcciones de flujo, condiciones de operación, líneas de tuberías, etc. y a través de los cuales podemos obtener los balances Estequiométricos, para darnos una idea de las cantidades de producto que estamos trabajando con las cuales se satisfarán las demandas de producción.

Un cuarto punto se refiere a la ingeniería de detalle, la -



cual constituye un medio para la evaluación del costo del proyecto, la seguridad de la planta, etc., ya que interviene en la determinación de las condiciones apropiadas de mantenimiento de factores de seguridad indispensables para el correcto funcionamiento de una planta.

La ingeniería de detalle consta de varias fases como son:

1.- Estudio del terreno, en cuanto a la ubicación, a su topografía, a su poligonal, etc.

2.- Planta de conjunto, también denominada "Lay Out", que consta de:

- a) dimensiones de edificio, de equipos, etc.
- b) localización de áreas
- c) accesos
- d) calles
- e) tuberías
- f) drenajes, etc.

3.- Diseño de estructuras civiles, con cálculos y dibujos con base en:

- a) estructuras
- b) cimentaciones
- c) soporterías
- d) pisos
- e) muros, etc.

4.- Diseños arquitectónicos, incluyendo:

- a) fachadas
- b) cortes, etc.

5.- Diseños mecánicos, complementados por medio de:

- a) isométricos
- b) racks de tuberías



- c) ductos
  - d) soportería, etc.
- 6.- Diseños eléctricos(en alta y baja tensión) con dimensiones y cálculos:
- a) motores
  - b) centros de control de motores (CCM)
  - c) alumbrados
  - d) tableros de control
  - e) subestaciones, etc.
- 7.- Construcción, para lo cual intervienen:
- a) concursos
  - b) selección y contratos
  - c) panorama de obra
  - d) claves contables
  - e) controles de obra
  - f) control de calidad
  - g) administración, en la que se pueden englobar todos los requisitos indispensables para un buen funcionamiento de la planta como son los presupuestos, rendimientos, IMSS, los seguros de montaje, etc.

La ingeniería de detalle, como podemos observar, es el complemento de lo teórico; constituye el paso intermedio entre la ingeniería básica y la construcción del proyecto, ya que al no cubrirse éstos requisitos básicos, el proyecto se torna no factible y como consecuencia dará una incosteabilidad e inseguridad para la propia planta.

El quinto paso dentro de la elaboración de un proyecto - consiste en llevar la investigación a la práctica por medio de

una planta piloto. Cuando el proyecto ya está aceptado, es necesario que se lleve a cabo una prueba preeliminar antes de la realización de una unidad a gran escala.

La inversión hecha en una planta piloto, a largo plazo, nos reedituará en ganancias y nos dará como consecuencia un aumento en la productividad, ya que podremos obtener los parámetros exactos para la fabricación de un producto y los límites dentro de los cuales puede mantenerse para lograr con ello un aumento en los rendimientos.

La última fase de la realización del proyecto es su evaluación, en donde, en base a datos obtenidos, podemos descartar o aceptar los procesos, decidiendo si son rentables y confiables. En este caso se tendrá que hacer un recuento de las inversiones realizadas y los beneficios que se obtendrán al poner en marcha el proyecto.

Dentro de éste trabajo se hará mención exclusivamente a la ingeniería básica, debido a que éste es una recopilación de investigaciones y la aplicación de las normas del A.S.M.E. al diseño de un reactor, teniendo como fin el cumplimiento de todos los requerimientos que engloba el código dentro de esta sección. Lo referente a la construcción de recipientes sujetos a presión se encuentra con amplios detalles en la sección VIII de la división 2.

## IMPORTANCIA DEL DISEÑO

Antes de adentrarnos en el diseño de un reactor específico para la producción de ácido benzoico, es necesario hacer un poco de historia sobre lo que es el diseño de un reactor y además, de los pasos que se deben seguir para lograrlo.

Estrictamente, la palabra Diseñar, quiere decir dar forma real a las ideas que se tienen en mente para lograr un fin determinado.

En este caso, Diseñar un Reactor, es dar forma real o la más adecuada a un recipiente que estará sujeto a presión, adecuándolo a nuestras necesidades.

Un buen diseño de reactores químicos requiere varios tipos de conocimientos como son: cinética química, de la cual ya hemos hablado anteriormente; de algún tipo de procesos físicos (transporte de masa y de energía); y otro tipo de conocimientos, donde a partir de ellos podemos obtener las ecuaciones de velocidad y con ello tener las bases del diseño de reactores químicos. Estas ecuaciones son determinadas experimentalmente en base a datos obtenidos en el laboratorio.

Una secuencia importante para el diseño de un reactor comercial para fabricar un producto podría ser el siguiente: (fig. No. 1). Donde los conceptos de la derecha indican las disciplinas cinéticas involucradas en las etapas entre el descubrimiento de la reacción y el reactor a gran escala. La trayectoria vertical, del reactor del descubrimiento al del tamaño comercial, es un camino ideal y generalmente hipotético. Implica que las ecuaciones de velocidad y la selectividad pueden determinarse con datos obtenidos en el reactor del descubrimiento.

Por lo general esto implica algo imposible, ya que este reactor no ha sido diseñado de acuerdo con los datos reales de cada



unidad. Por consiguiente es necesario construir un reactor de laboratorio con el objeto de obtener los datos exactos.

Después de establecer la ecuación de velocidad intrínseca- ésta se utiliza para desarrollar un modelo matemático del reactor a gran escala. El primer paso consiste en determinar una velocidad total para cualquier punto del reactor y de aquí obtener conversiones y selectividades deseadas del producto.

En primer término es posible ir directamente del modelo del reactor a la unidad a gran escala. No obstante suele ser inadecuado este paso, por lo que se requiere una planta piloto.

La planta piloto puede omitirse si el tratamiento del proceso físico del modelo (distribución de velocidades, mezclado, etc.), es adecuado para predecir sus efectos sobre la conversión y la selectividad, pero esto no sucede con frecuencia. Se usa eficientemente para un propósito general que es ayudar al ingeniero químico a obtener un modelo adecuado para el reactor a gran escala.

Sirve como unidad de ensayo para determinar que tan bien se pueden combinar algunos efectos que pueden surgir a la vista como el desprendimiento de temperatura y velocidad con las ecuaciones de velocidad para predecir las velocidades de fabricación de los productos.

El cálculo o proyección comercial del proceso de una reacción implica la aplicación directa de los resultados de una unidad de laboratorio para determinar el tamaño y las condiciones de operación de una unidad a gran escala.

La simplicidad de la proyección comercial es muy atractiva aunque, desafortunadamente, no se usa con frecuencia para el diseño de reactores químicos.



Como nos damos cuenta, las bases químicas del diseño se complementan con las bases para el diseño mecánico, por lo que un buen diseño es base a los productos que se manejan, conduce a un correcto diseño mecánico, pues nos dará las características exactas de los parámetros que hay que controlar para la fabricación de una unidad a gran escala.

En el diseño del reactor intervienen una serie de criterios que son los que nos conducirán posteriormente a la realización del reactor de acuerdo a nuestras necesidades.

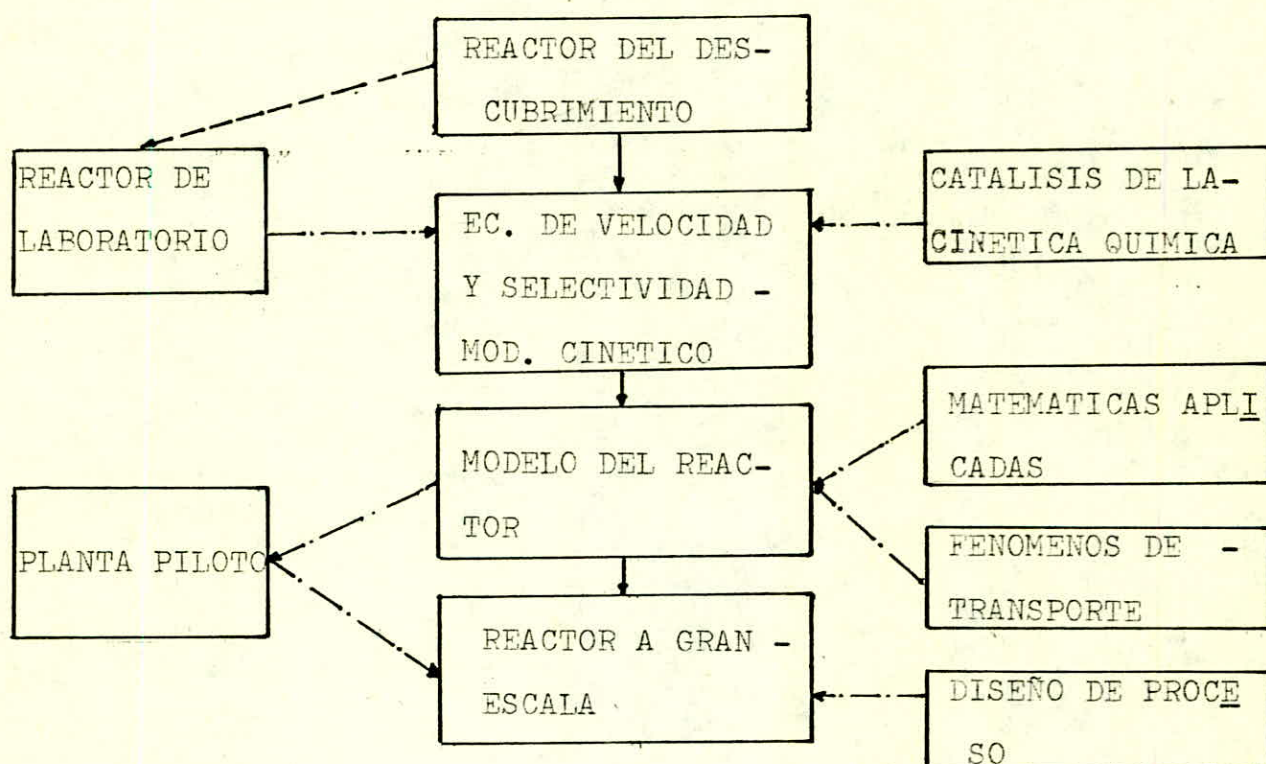


FIG. No. 1

## C A P I T U L O    I I

- a) BREVE EXPLICACION DE LOS PARAMETROS MAS USADOS DENTRO DEL  
CODIGO A.S.M.E. SECCION VIII DIVISION 1

## DEFINICIONES

Con el objeto de entender en todos los aspectos del Código A.S.M.E. es necesario que se comience por definir una serie de parámetros importantes, los cuales, además de ayudarnos a comprender mejor el lenguaje de éste, nos dará una idea general de todos los conceptos en cuanto a sus propiedades, tanto mecánicas como químicas.

Dichos conceptos son los siguientes:

1.- ABRASION Se llama abrasión al desgaste de la superficie de un cuerpo provocado por las partículas de otro cuerpo generalmente más duro, llamado "abrasivo". No debe confundirse el término abrasión con el desgaste por frotamiento.

El roce directo de un cuerpo por otro, sobre todo después de haber igualado ambas superficies, sólo causa un desgaste ligero de las mismas. La introducción de partículas sólidas entre ambas superficies provoca, por el contrario, un desgaste importante, y tanto más activo, cuanto mayores sean los granos abrasivos.

Estos granos son sustancias duras utilizadas, como se mencionó anteriormente, para raspar materiales con objeto de limpiar la superficie, rectificarla o labrarla de cualquier otra forma.

Existen dos tipos de abrasivos: Naturales y Artificiales.

ABRASIVOS

ARTIFICIALES

vidrio pulverizado

rojo de pulir

colcotar

carborunda

corindón artificial





Por último mencionaremos que la eficiencia de un abrasivo depende de su naturaleza, en cuanto a su dureza.

2.- ACERO Hierro descarburado con una porción de carbono inferior al 1.8% que puede ser templado y adquirir otras propiedades mediante tratamientos térmicos o mecánicos.

Hierro colado o Arrabio, contiene no solamente un exceso de carbono procedente del carbón que ha servido para reducir el mineral, sino también un porcentaje considerable de azufre, fósforo e impurezas.

El acero ordinario contiene 5% de cuerpos aleados con hierro como son: carbono, siliceo y magnesio en un 0.1%; azufre, fósforo y oxígeno en un 0.001%; y otros más.

Los aceros pueden adquirir propiedades diferentes mediante tratamientos térmicos (templado, recocido), fisicoquímicos (forjado, laminado, estirado, embutido, etc).

Los tratamientos térmicos más importantes son los siguientes:

a) El Templado.- es el endurecimiento del metal, especialmente el que se obtiene calentándolo profundamente y sumergiéndolo bruscamente en un líquido frío.

El temple confiere dureza y flexibilidad a los metales dotados de suficiente templabilidad, o sea, los que, en razón -

62750



a su estructura pueden ser enfriados con rapidez, ya no superficialmente, sino lo bastante profundo en el seno de su estructura molecular. El templado consta de dos partes: durante la primera, se mejora la dureza y la flexibilidad del metal, modificando su estructura interna por medio de calor. La segunda fase consiste en el enfriamiento rápido del metal, el cual le dará las propiedades de dureza necesarias.

- b) El Recocido.- es el tratamiento térmico a que se someten los productos de metal o de vidrio con objeto de disminuir su fragilidad - mediante supresión de las tensiones internas creadas durante su fabricación- y consiste en calentarlos a temperaturas elevadas y en prolongar su enfriamiento para que al efectuarse lentamente, no engendre tensiones internas.

Dentro de los tratamientos fisicoquímicos se encuentran:

- a) La Forja.- es el trabajo del metal incandescente, especialmente el hierro y el acero con el fin de convertir los lingotes en piezas brutas de formas apropiadas para ser labradas con máquina herramienta, o en el caso de la forja a mano, para darle su forma definitiva a las labores de herrería hechas a partir de barras. También se forjan los lingotes con objeto de mejorar las características del material.

Un buen metal de forja ha de resistir bien a los golpes - tener un buen coeficiente de alargamiento y un límite de elasticidad bastante bajo.

- b) El Laminado.- es la acción de reducir un metal a chapa o perfilados haciendo pasar los lingotes o las barras por -

entre los cilindros laminadores. La laminación de los lingotes se efectúa en caliente, salvo si se trata de fabricar chapas de menos de dos milímetros de espesor. Los lingotes se someten a temperaturas excesivamente grandes dentro de los hornos y luego se hacen pasar por los huecos entre los cilindros de las laminadoras. La forma de los canales de las laminadoras varía progresivamente con objeto de que, por corrimientos sucesivos del metal, éste adopte la forma deseada sin agrietarse ni perder sus características mecánicas. Ello suele obligar a recocer el metal varias veces en el curso de su laminación.

Por el contrario, el laminado en frío, para hacer una chapa de hierro (palastro), se calienta al ser estirada y es necesario rociarla para que no alcance temperaturas excesivas.

Cada paso entre un par de cilindros, al reducir el espesor o sección del metal, provoca el alargamiento de la pieza, y un sólo lingote puede dar un rollo de decenas o centenares de metros de placa.

c) Estirado.- es el alargamiento por efecto de una tracción. El estirado se efectúa en bancos de estirar horizontales. Un extremo de la barra previamente adelgazada, se pasa por un orificio de la hilera y es aferrado por una mordaza de la cual tira una cadena arrastrada por un motor potente. Para los tubos se utiliza un mandril con el cual se obtiene a la vez una disminución del espesor y una rectificación del diámetro interior.

d) Embutido o Extrusión.- es la acción de labrar con la prensa una placa de metal para darle una forma hueca.



La extrusión es la labor de prensado que permite fabricar piezas huecas a partir de recortes de chapa. Esta operación con prensas especialmente adaptadas; en el vástago se fija un macho que reproduce la forma interior del objeto que se ha de fabricar. En la mesa se fija la matriz hueca - que reproduce la forma exterior de dicho objeto, con un dispositivo llamado eyector, el cual facilitará la extracción del mismo.

Al bajar al macho, deforma la chapa más allá de su límite de elasticidad, por cuya razón la deformación subsiste al retirarse aquel de la matriz. Solamente si la deformación fuera muy grande, se correría el riesgo de agrietar la pieza y romperla.

e) El Prensado.- es la acción de comprimir o apretar por medio de una prensa. Esta prensa es una máquina construida especialmente para dar este efecto, está constituida por dos elementos planos o cilindricos, entre los cuales, mediante un acondicionamiento mecánico, hidráulico o neumático, puede ser comprimida alguna pieza con el fin de modificar sus formas.

3.- CAPACIDAD La capacidad es la cantidad de fluido que puede contener un recipiente en su interior. La capacidad está en función al consumo que se requiera en cuanto al proceso, por lo tanto, es indispensable que el recipiente cumpla con la capacidad adecuada para obtener la producción deseada.

4.- CARGA Se denomina carga a la presión o el peso que soporta alguna cosa. Este término también es usado para determinar la cantidad de fluido que entra por un recipiente, en éste caso al reactor, para su operación.



5.- CONCENTRACION La concentración es la masa de un cuerpo - contenido en un determinado volúmen de disolución. En una disolución, la sustancia disuelta se denomina Solute y la sustancia donde se disuelve, el Solute.

Este parámetro es de suma importancia porque nos determina en gran parte las bases del diseño, puesto que cuando conocemos ésta condición, podemos determinar los índices de corrosión, volatilización, etc. esenciales para los cálculos.

Existen dos formas de expresar las concentraciones:

- a) En unidades Físicas: - Peso por unidad de volúmen de disolución
- Porcentaje de composición
- Peso de soluto en peso de disolvente
- b) En unidades Químicas: - Molaridad
- Molalidad
- Formalidad
- Normalidad
- Fracción mol.

6.- CORROSION La corrosión constituye un factor importante cuando se tiene que trabajar con materiales para construcción. La corrosión es un fenómeno complejo que puede tomar una o varias formas. Por lo común se limita a la superficie del metal y que se conoce con el nombre de Corrosión General, pero hay veces en que se tiene lugar a lo largo de límites de granos u otras líneas débiles por resistencia a los ataques o a la acción electrolítica local.

Según el concepto electrolítico, la reacción completa de corrosión se divide en una porción anódica y otra catódica, -

que se producen simultaneamente en puntos discretos sobre la superficie metálica. Se puede generar un flujo de electricidad de las zonas anódicas a las catódicas mediante celdas locales colocadas ya sea en una superficie metálica simple o entre metales distintos.

La corrosión de los metales se aplica específicamente a los ataques químicos electrolíticos. El deterioro de los plásticos y otros materiales no metálicos propensos al hinchamiento, al desquebrajamiento, al destemplado, al ablandamiento, etc., es un fenómeno netamente fisicoquímico, más que electrolítico. Los materiales no metálicos se pueden deteriorar fácilmente cuando se exponen a un ambiente dado, o en el otro extremo, pueden verse poco afectados.

Los factores que influyen directamente en la producción de corrosión son: la temperatura, la velocidad, el pH, la concentración, el tiempo, las películas formadas y por último las impurezas.

7.- CHAFLAN El chaflán es una esquina cortada por un plano que forma un ángulo de  $45^{\circ}$  con sus caras.

Es la cara formada en una esquina rematada por un corte longitudinal.

8.- DISCO DE RUPTURA es un dispositivo de seguridad en forma de anillo. Estos discos están calibrados a un cierto rango de temperatura y presión. Se colocan entre las bridas de una tubería y por lo general antes de los dispositivos de seguridad, para darles mayor confianza.

Este dispositivo tiene como función ampliar los límites de seguridad de nuestros equipos, ya que por lo regular se colocan antes de una válvula de seguridad, y, como están cali-



brados a una cierta presión, cuando se sobrepasan dichos límites, primero tendrá que votarse el disco y después podrá llegar hasta la válvula, pero tenemos la ventaja de que podemos darnos cuenta de la falla mucho antes de que llegue a la válvula de seguridad, gracias a éste dispositivo.

9.- EROSION La erosión es la destrucción de un metal por la acción combinada de la corrosión y la abrasión, o la fricción causada por el flujo de líquido o gas (con sólidos suspendidos o sin ellos).

Cuando el líquido o el gas contienen partículas sólidas que son más duras que la superficie metálica afectada, se producirá la erosión por la acción de la corrosión con la abrasión.

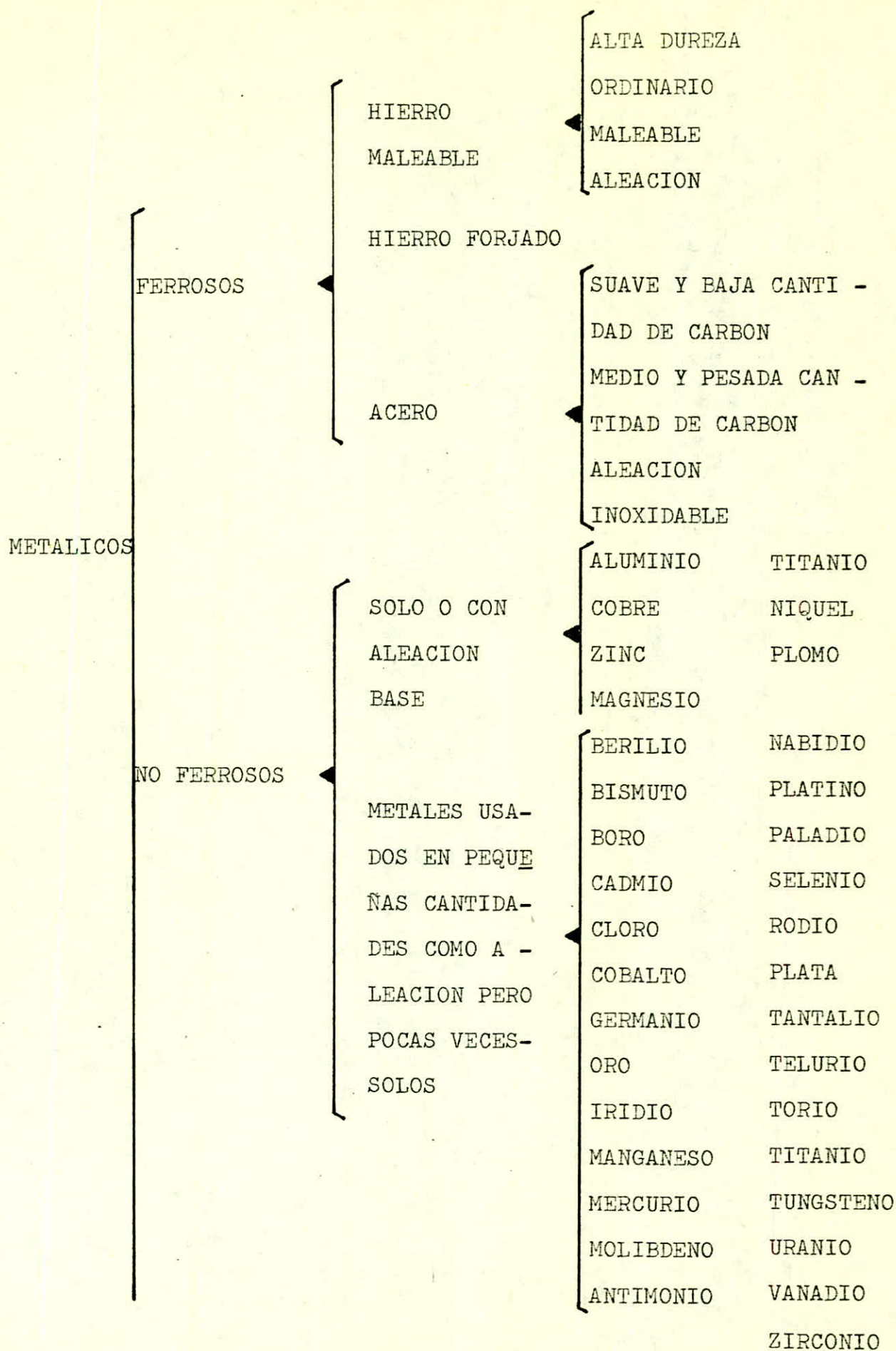
Cuando el fluido no contenga sólidos suspendidos o tenga partículas más blandas que el metal, la erosión se producirá por la corrosión o fricción. Los materiales más duros, los cambios de velocidad o ambiente y la adición de inhibidores, son algunos de los métodos que se usan para evitar los ataques de la erosión.

Erosión por Cavitación es la formación de huecos transitorios o burbujas vacías en la corriente de líquido que pasa sobre una superficie (cavitación), el rompimiento de éstas burbujas de vacío es a lo que denominamos Erosión por Cavitación.

Cuando se produce éste hundimiento sobre una superficie metálica, hay un fuerte impacto o un efecto explosivo que puede causar daños en la corrosión, puede acelerar considerablemente debido a la destrucción de la película protectora.



- 10.- ESFUERZO es la fuerza que, al ejercer sobre una pieza, -  
tiende a alargarla, comprimirla o doblarla, torcerla o cor-  
tarla y a la cual se dá respectivamente el nombre de es -  
fuerzo de tracción, de compresión, de flexión, de torsión y -  
esfuerzo de cortante.
- 11.- ESFUERZO MAXIMO, VALOR DEL es la unidad de esfuerz<sup>o</sup> máxi -  
mo permitido en un material dado y es causado por la fuer -  
za que se ejerce sobre él. Es usado comúnmente en la cons -  
trucción de recipientes sujetos a presión.
- 12.- ESPESOR espesor es una de las tres dimensiones que posee  
un sólido. Es el grosor de la placa de construcción de un -  
recipiente sujeto a presión.
- 13.- JUNTA una junta es un punto, una superficie o un espacio -  
donde se unen dos cosas contiguas. También se denomina -  
junta de materia que se interpone entre las superficies -  
de dos piezas para que la unión sea hermética.
- Una junta también es el empalme de dos tuberías. Existen -  
diferentes tipos de juntas, una de ellas es la llamada -  
Junta de Dilatación u Omega, la cual es especialmente rea -  
lizada por la compensación del alargamiento o acortamien -  
to de tuberías debido a cambios bruscos en la temperatura
- Eficiencia de Junta se refiere al porcentaje de efectiv<sup>i</sup> -  
dad que se tiene con dicha junta para que su unión sea -  
completamente resistente y hermética.
- 14.- MATERIALES MAS USADOS EN LA CONSTRUCCION DE RECIPIENTES -  
SUJETOS A PRESION los materiales más usados dentro del -  
campo de la ingeniería son clasificados generalmente en:-  
Metálicos y No Metálicos.



NO  
METALICOS

METALES ALCALINOS

CALCIO  
POTASIO  
SODIO  
LITIO

CAUCHO:NATURAL Y SINTETICO

ASBESTO

CEMENTO,CONCRETO

CERAMICA

CARBON:GRAFITO Y DIAMANTE

FIBRAS:NATURALES Y SINTETICAS

VIDRIO

ACEITE,PETROLEO

PLASTICO: TERMOPLASTICO,TERMOFIJO

15.- PESO peso es la fuerza que ejerce el cuerpo del recipiente sobre su apoyo y que resulta de la acción de la gravedad.

Es de suma importancia que el peso del recipiente se tome en cuenta cuando está este a su máxima capacidad, ya que de esta manera conoceremos el peso real y por medio de éste dato sabremos cual es la forma correcta de soportarlo, ya sea, apoyado en el suelo o por medio de armazones para mantener el recipiente en una posición determinada.

16.- PLACA las placas o Planchas de material son usadas en la construcción para la formación de las diferentes piezas que conforman un recipiente de un volumen específico. Un ejemplo lo constituye el recipiente que se pretende diseñar en éste trabajo, en el cual, el cuerpo y las tapas están fabricadas por medio de placas unidas entre sí hasta-



formar las dimensiones deseadas. Las placas deberán cumplir con las normas del código A.S.M.E. y del A.S.T.M.

17.-PRESION se denomina así a la fuerza ejercida perpendicularmente a una superficie por un fluido, por el peso o el empuje de un sólido. Los vapores y los gases en virtud de la Teoría Cinética tienden a ocupar el mayor volumen posible y ejercen así en las paredes de los recintos que las contienen una presión llamada también Fuerza Elástica o Tensión.

Para líquidos, la fuerza que ejerce sobre la cara de las paredes del recipiente es perpendicular en todas las direcciones del recipiente y nula en la superficie libre. La presión se mide en unidades peso/magnitud de superficie. Presión de Trabajo se define como la presión a la que opera el recipiente, es decir, es la presión en las condiciones iniciales de trabajo.

Presión de Diseño para nuestro estudio es la máxima diferencia en presión entre el interior y el exterior. Corresponde al 16% sobre la presión de trabajo máxima. (Código ASME, UG-21)

Presión Crítica es la presión del vapor saturado a temperatura crítica.

Presión Interna presión que se ejerce o que ejercen las moléculas del fluido dentro del recipiente, y contra las paredes de éste.

Presión Externa presión ejercida sobre las paredes exteriores debido a diferentes tipos de fenómenos como podría ser la acción del viento, o en su defecto, por la acción de vacío.

Presión de Prueba es la presión provocada por la presión hidrostática o neumática. Corresponde a 1.5 veces la presión de trabajo.

18.- PRUEBAS ensayos o experiencia que se realiza para averiguar o comprobar alguna calidad de una pieza o producto industrial especialmente para determinar su resistencia, cerciorarse de su buen funcionamiento o medir su rendimiento. Los tipos más usados en éstos casos son:

- a) Tratamientos térmicos
- b) Pruebas hidrostáticas
- c) Pruebas de impacto
- d) Pruebas destructivas
- e) Pruebas no destructivas
- f) Pruebas neumáticas
- g) Pruebas radiográficas
- h) Exámenes por ultrasonido

De las pruebas anteriores, las más importantes en cuanto a su complejidad son:

Las pruebas radiográficas son procedimientos de radiografía en la cual la emulsión sensible no es impresionada por la luz, sino por rayos X (éstos rayos tienen la propiedad de atravesar la materia). Esta técnica consiste en radiografiar puntos estratégicos donde es posible encontrar alguna irregularidad, o sólo para cerciorarse que todas las uniones funcionan correctamente y que no hay problemas de picaduras producidas por fenómenos internos del material en reacción en soldaduras defectuosas.

Exámenes de Ultrasonido, el cual por medio de ciertas vibraciones sonoras de frecuencia excesivamente grande(a



tal grado que el oído humano no lo puede percibir), mayor -  
que 20 000 periodos/segundo. Las ondas ultrasonoras se -  
transmiten mejor en el agua y en medios sólidos que en el -  
aire y dan origen a fenómenos de reflexión cuando pasan -  
de un medio a otro diferente. Por otra parte en el corto -  
espacio que media entre la semionda en que se halla compri -  
mido el aire y la semionda sometida a depresión, existen -  
diferencias de presión de varias atmósferas y se compren -  
de que éstas ondas pueden ejercer efectos mecánicos de la  
materia finamente dividida, las suspensiones etc.

Por éstas propiedades, nos damos cuenta de que tiene gran -  
des aplicaciones, como puede ser la medición industrial de -  
espesores y detección de burbujas, grietas y otros defectos  
internos de las piezas (se puede detectar aire dentro de -  
la pieza del metal).

- 19.-RECUBRIMIENTO recubrimiento o revestimiento es una capa -  
de una materia (vidrio, pintura, etc.) que se aplica sobre -  
la superficie de un metal para reforzarlo o protegerlo con -  
tra la acción de agentes químicos, contra el calor u otro -  
tipo de sustancias.

El revestimiento contribuye a la resistencia mecánica del -  
material.

- 20.-REFUERZO técnicamente un refuerzo es un espesor mayor que  
se dá a una pieza en las partes en que ha de soportar es -  
fuerzos superiores. También se usa éste término a aquella -  
pieza que se aplica contra otra desgastada o insuficiente -  
mente fuerte, para aumentar su resistencia.

- 21.-RESISTENCIA fuerza que se opone al movimiento de un cuer -  
po. Las piezas de toda construcción mecánica se hallan some



tidas a esfuerzos que las deforman y provocan fenómenos - de fatiga.

Por lo tanto al establecer el proyecto de construcción se diseña cada pieza con forma y dimensiones tales que la fatiga admisible sea suficientemente mayor a la fatiga real-máxima que pueda resultar de los esfuerzos soportados en la construcción.

22.-RIVETEADO es la colocación de cinta como refuerzo en las orillas de alguna cosa.

23.-SOPORTE nombre dado a numerosos armazones, piezas y aparatos propios para servir de apoyo a una cosa, sostenerla o tenerla en una posición dada.

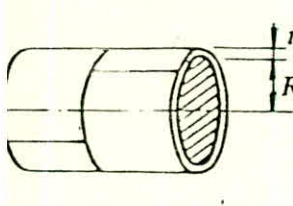
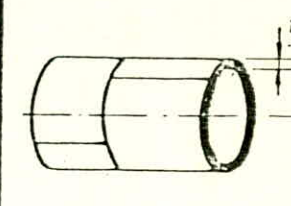
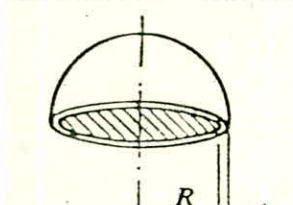
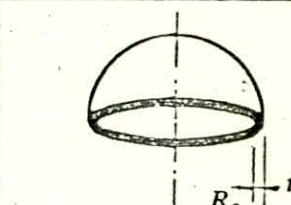
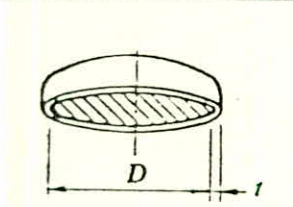
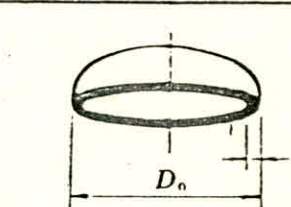
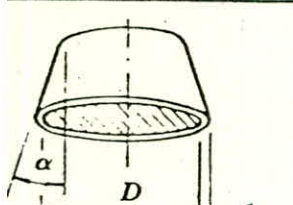
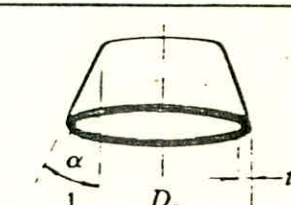
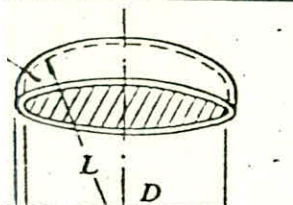
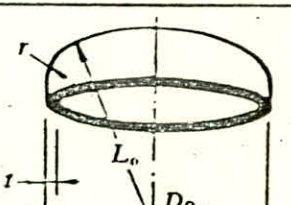
24.-TAPAS tapas o cabezas son las piezas que cubren o cierran por las partes extremas un objeto.

25.-TIPOS DE TAPAS los principales tipos de tapas que podemos encontrar dentro del código, se encuentran las siguientes:

- a) Elipsoidales
- b) Toriesféricas
- c) Hemiesféricas
- d) Cónicas
- e) Toricónicas

# NOTATION

|                                          |                                                            |                                      |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| $\alpha$ = Half apex angle of cone, deg. | $L$ = Inside crown radius, inches*                         | $R$ = Inside radius, inches*         |
| $D$ = Inside diameter, inches*           | $L_o$ = Outside crown radius, inches                       | $R_o$ = Outside radius, inches       |
| $D_o$ = Outside diameter, inches         | $M$ = Factor, see table below                              | $S$ = Stress value of material, psi. |
| $E$ = Efficiency of welded joints        | $P$ = Design pressure or maximum allowable pressure, psig. | $t$ = Thickness, inches              |
|                                          |                                                            | * See note 2.                        |

| In Terms Of INSIDE Radius or Diameter                                              |                                                                                                | In Terms Of OUTSIDE Radius or Diameter                                               |                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | $t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$ $P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$                                          |    | $t = \frac{PR_o}{SE + 0.4P}$ $P = \frac{SEt}{R_o - 0.4t}$                                          |
|                                                                                    | CYLINDRICAL SHELL      Formulas for Longitudinal Seam                                          |                                                                                      | CYLINDRICAL SHELL      Formulas for Longitudinal Seam                                              |
|    | $t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$                                        |    | $t = \frac{PR_o}{2SE + 0.8P}$ $P = \frac{2SEt}{R_o - 0.8t}$                                        |
|                                                                                    | SPHERE<br>HEMISPHERICAL HEAD                                                                   |                                                                                      | SPHERE<br>HEMISPHERICAL HEAD                                                                       |
|   | $t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$                                        |   | $t = \frac{PD_o}{2SE + 1.8P}$ $P = \frac{2SEt}{D_o - 1.8t}$                                        |
|                                                                                    | 1:1 ELLIPSOIDAL HEAD<br>LONGITUD                                                               |                                                                                      | 2:1 ELLIPSOIDAL HEAD                                                                               |
|  | $t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)}$ $P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha}$ |  | $t = \frac{PD_o}{2 \cos \alpha (SE + 0.4P)}$ $P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D_o - 0.8t \cos \alpha}$ |
|                                                                                    | CONE & CONICAL SECTION $\alpha$ maximum = 30 deg.                                              |                                                                                      | CONE & CONICAL SECTION $\alpha$ maximum = 30 deg.                                                  |
|  | $t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SEt}{LM + 0.2t}$                                      |  | $t = \frac{PL_oM}{2SE + P(M - 0.2)}$ $P = \frac{2SEt}{ML_o - t(M - 0.2)}$                          |
|                                                                                    | FLANGED & DISHED HEAD                                                                          |                                                                                      | FLANGED & DISHED HEAD                                                                              |

|     |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |       |
|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| FOR | L/t | 6.5  | 7.0  | 7.5  | 8.0  | 8.5  | 9.0  | 9.5  | 10.00 | 10.5 | 11.0 | 11.5 | 12.00 | 13.0 | 14.0 | 15.0 | 16.0 | 16.67 |
|     | M   | 1.39 | 1.41 | 1.44 | 1.46 | 1.48 | 1.50 | 1.52 | 1.54  | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62  | 1.65 | 1.69 | 1.72 | 1.75 | 1.77  |



26.- TEMPERATURA es el estado térmico de los cuerpos, es decir es la cantidad de calor que tiene un cuerpo.

La temperatura es una magnitud que permite expresar el -- grado de calentamiento o enfriamiento de los cuerpos. Las temperaturas se miden en diferentes escalas por medio de termómetros, pirómetros o bolómetros o por medio de espectrógrafos, ya que el calor de un cuerpo en estado de incandescencia depende de su temperatura.

El bolómetro es un detector térmico particularmente sensible que permite medir intensidades de radiación o ínfimas variaciones de la temperatura. Se funda en la propiedad - que tienen los metales, especialmente el platino, de variar su resistencia eléctrica al cambiar su temperatura.

El pirómetro es un instrumento para medir temperaturas - elevadas. Todo fenómeno variable provocado por los cambios de temperatura puede ser aprovechado como principio de - un pirómetro destinado a medir ésta temperatura.

La temperatura es importante para saber en que condiciones es necesario que trabaje el recipiente, si es temperatura excesivamente alta (es decir que dentro del reactor ocurra una reacción exotérmica) es necesario mantener el recipiente a temperatura apropiada por medio de una chaqueta por donde se le adicionará algún refrigerante, o si al contrario, la temperatura a la que trabaja el reactor es - sumamente baja (reacción endotérmica) por medio de la chaqueta se introducirá un fluido caliente, además que en ambos casos, de ser necesario tendrá que aislarse para evitar pérdidas de temperatura.

Temperatura de Trabajo es la temperatura a la cual se - lleva a cabo el proceso, es decir, es la temperatura a la -



cual opera regularmente el recipiente.

Temperatura de Diseño es superior a la temperatura de trabajo. Es la temperatura usada en el diseño y que debe ser - no menor a la temperatura estimada para el metal a través - del espesor esperado bajo las condiciones de operación. - Temperatura hasta la cual puede resistir.

27.-TIPOS DE UNIONES existen varios tipos de uniones, su correcta utilización depende tanto de los diámetros donde se va a realizar la unión, como de la eficiencia con la que se - desee trabajar. Por lo general todas las uniones son efectivas, pero solamente varían en cuanto a la forma de conexión, por ejemplo:

Unión de piezas por Soldadura es la unión por fusión superficial seguida por la solidificación de los puntos en - que ambos se hallan en contacto directamente o con interposición de una tercera materia más fusible.

La soldadura es un procedimiento de unión que permite realizar construcciones rígidas con mayor rapidéz y economía.

Las soldaduras pueden ser de tres tipos:

- a) Unión de soldadura a Tope
- b) Unión de soldadura a Traslape
- c) Unión de soldadura a Filete

Uniones Bridadas es la unión de piezas por medio de un anillo de metal que contiene cierto número de agujeros por medio de los cuales se mantiene la unión hermética, entre - cada brida existe un empaque que es lo que le dá características de efectividad. El número de agujeros que presenta la brida corresponde a la cantidad de presión que puede aguantar. Esta también se encuentra en función al espesor.-

Uniones Roscadas es la unión por medio del resalto formado en una pieza (rosca exterior) o en la pared de un taladro (rosca interior), por un filete arrollado en hélice en el cual se ha de ajustar la rosca o filete de la pieza complementaria, efectuándose el acoplamiento de ambos mediante la rotación relativa de una de ellas respecto a otra, lo -  
-que permite que la unión deseada se realice sin complicaciones y se mantenga durante largo tiempo en condiciones apropiadas.

Unión Riveteada es la unión que se realiza por medio de rivetes o cintas de refuerzo alrededor de los extremos.

28.-TORNILLO cilindro provisto de un filete o resalto helicoidal que permite introducirlo girando en una tuerca o en un taladro provisto interiormente de un filete idéntico - que se encuentra en sentido contrario. Su selección está en función de la resistencia mecánica del metal.

29.-TUBERIA se denomina así al conjunto de conductos o canalizaciones en base a tobos por los cuales se transforma de un lugar a otro un fluido o materia pulverizada.

30.-TUBO conducto hueco cilindrico por lo general, que sirve para el transporte de fluidos.

31.-VALVULA DE RELEVO antes de dar la definición de lo que es una válvula de relevo, es necesario definir primero lo que es una válvula. Una válvula es un dispositivo que sirve para regular el flujo de un fluido, o que éstos mismos sigan un determinado sentido en una canalización, pero no en la dirección contraria.

Las válvulas de relevo son dispositivos de seguridad diseñadas para prevenir y mantener cerrado el paso del fluido-

cuando no se encuentra éste en condiciones de operación. -  
Estas válvulas son dispositivos diseñados para soportar cierta presión de tal modo que sea ésta mayor que la presión de trabajo del recipiente, en el que al haber una sobrepresión se abren automáticamente y desfogan.

32.-VASTAGO barra o varilla que se articula en un émbolo y le transmite movimiento de otro instrumento mecánico o lo recibe de él.

También pueden ser usados en la construcción de partes presionadas para recipientes como son los bordes de los anillos, anillos para soportes, fabricación de aberturas reforzadas, etc.



### C A P I T U L O    I I I

#### a) INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL CODIGO A.S.M.E.

##### 1.- Introducción

#### b) CODIGO A.S.M.E. SECCION VIII DIVISION 1

##### 1.- Alcances

##### 2.- Procedimientos de diseño y requisitos generales

##### 3.- Materiales de construcción

##### 4.- Metodo de fabricación.

## INTRODUCCION AL CODIGO A.S.M.E. SECCION VIII

### DIVISION 1.

La American Society of Mechanical Engineers, escribió el A.S.M.E. Boiler and Pressure Vessel Code, que contiene reglas para el diseño, la fabricación y la inspección de quemadores y recipientes a presión. El Código A.S.M.E., por sí mismo no tiene un valor legal; pero la mayoría de los estados de la unión americana y todas las provincias canadienses han promulgado legislaciones que han convertido al código A.S.M.E. o a algunas de sus partes en requisitos legales. Sólo unas cuantas jurisdicciones han adoptado el código para todos los recipientes. Las otras se aplican a ciertos tipos de recipientes o quemadores.

Los estados emplean inspectores para aplicar las disposiciones del código. Estos se encargan de inspeccionar que los recipientes que se encuentran dentro de ésta división cumplan con los requerimientos adecuados.

El código A.S.M.E. lo redacta un gran comité y muchos subcomités que se componen de ingenieros designados por la A.S.M.E. El comité del código se reúne regularmente para revisar éste último y tomar en consideración las peticiones de revisión, interpretación o extensión.

Por lo general estas revisiones son clasificadas de acuerdo a una serie de colores para distinguir las fechas y los años en que fueron publicadas, además de presentar éstas dentro del código por medio de siglas colocadas a un lado del tema en cuestión.

Estos datos los podemos clasificar de la siguiente manera:

|                     |      |                |
|---------------------|------|----------------|
| a) Verano de 1974   | S-74 | Color Rosado   |
| b) Invierno de 1974 | W-74 | Color Verde    |
| c) Verano de 1975   | S-75 | Color Amarillo |
| d) Invierno de 1975 | W-75 | Color Azul     |
| e) Verano de 1976   | S-76 | Color Salmón   |
| f) Invierno de 1976 | W-76 | Color Gris     |

Las decisiones a las que se llega se publican en la obra "Mechanical Engineering". -

Se publica una nueva edición del código cada tres años. -  
Entre ediciones sólo se modifican y actualizan los temas relacionados al código y se van archivando según las informaciones anteriormente mencionadas.

La American Society of Mechanical Engineer, estableció en 1911 un comité para la formulación de reglas de construcción de calderas y otro tipo de recipientes presionados. Este comité se encargó de establecer reglas para el diseño, fabricación e inspección durante la construcción de calentadores y recipientes presionados. -

El objetivo de éstas reglas fué asumir responsablemente cierta protección de la vida de éstos equipos y dar un margen de deterioro por causa de servicio. -

Las reglas son publicadas en las secciones del código y los constructores, manufactureros e inspectores se basan en éste para su mayor seguridad. -

El A.S.M.E. Boiler and Pressure Vessel Code está integrado por once secciones que son las siguientes:

- I Quemadores o Generadores de Poder
- II Especificaciones de Material



- Parte A      Ferrosos
- Parte B      No Ferrosos
- Parte C      Electrodo
- III    Componentes de Plantas de Energía Nuclear, div. I
  - Subsección NA    Requerimientos Generales
  - Subsección NB    Componentes clase I
  - Subsección NC    Componentes clase 2
  - Subsección ND    Componentes clase 3
  - Subsección NE    Componentes clase MC
  - Subsección NF    Componentes de soportes
  - Subsección NG    Escencia de los soportes estructurales
- IV    Calderas
- V    Exámenes No Destructivos
- VI    Reglas recomendadas para el cuidado y funcionamiento de-  
Calderas de Calefacción
- VII    Reglas recomendadas para el cuidado y funcionamiento de-  
Calderas de Poder
- VIII    Tanques Presionados
  - División 1
  - División 2 reglas alternativas
- IX    Condiciones de Soldadura
- X    Recipientes de Presión de Plástico reforzados con fibra-  
de vidrio
- XI    Reglas para la inspección en servicio de sistemas enfria-  
dores de reactores nucleares.

Los recipientes de presión (para distinguirlos de las cal-  
deras) se incluyen en las secciones II, III, V, VIII, IX, X y XI.

La sección VIII, división 1 es el código de recipientes pre

sionados. La división 2 se estableció como medio para permitir esfuerzos más elevados de diseño, asegurando al menos un grado igualmente elevado de seguridad de la división 1.

Dentro de los alcances del código, también se especifica - que dentro de cualquier sección o de cualquier división, los - recipientes deben llevar el sello "N.B." y ser registrado por - la National Board, para que puedan venderse en cualquier parte. El objetivo de la A.S.M.E. es mantener la reputación del símbolo del código para beneficio del usuario, la ejecución de la jurisdicción y la portación de los símbolos que complementan todos los requisitos.

Basado en éste objetivo, la política a seguir se ha establecido en el empleo de Logotipos de Publicidad de los símbolos para referencia de construcción.

La sociedad americana de ingenieros mecánicos no aprueba, certifica, proporciona o endosa ningún producto o construcción que no cumpla con los establecimientos del código. Un producto manufacturado que porte el símbolo de la A.S.M.E. tiene usos más limitados, y debe aparecer en la literatura de éstos, - que "fueron contruídos de acuerdo con los requisitos del - A.S.M.E. o que siguió las especificaciones de éste".

CODIGO A.S.M.E. SECCION VIII DIVISION 1

A L C A N C E S

La sección VIII, división 1, excluye a ciertos recipientes de su jurisdicción, como son los siguientes:

- 1.- Recipientes bajo control federal
- 2.- Recipientes con un volumen de 120 galones o menos, que con tengan agua a presión
- 3.- Tanques de almacenamiento de agua caliente de no más de - 120 galones, a una temperatura de 200°F y 20000 BTU/hr de - entrada de calor.
- 4.- Recipientes con una presión de operación interna o externa que no sobrepase de 15 lb/in<sup>2</sup>
- 5.- Recipientes con un diámetro interior menor de 6 pulgadas

No se menciona en ésta parte, pero se excluyen, evidentemente, los recipientes nucleares, que trabajan bajo la sección III. La jurisdicción del código termina con la PRIMERA JUNTA DE - TUBERIAS EXTERNAS A UN RECIPIENTE.

Los recipientes que no sobrepasen de 5 pies cúbicos de volumen y 250 lb/in<sup>2</sup> de presión, y los que sobrepasan de 1.5 pies cúbicos y 600 lb/in<sup>2</sup> se deben diseñar según las reglas del código; pero se encuentran exentos de la inspección según el establecimiento del código. Las reglas dadas en la sección 1 se aplican al diseño de recipientes para presiones de hasta 3000 lb/in<sup>2</sup>. Por encima de éste valor, se deben aplicar algunos principios adicionales de diseño para que los recipientes sean - aceptables para recibir el sello del código. Una diferencia con el código en la sección I pero de la división 2 es que éste -



no tiene límites en cuanto a la presión.

Un recipiente de presión que se desvíe de las reglas del código en razón de alguna construcción nueva o por el uso de materiales nuevos, pero que se pueda demostrar que se basa en un diseño adecuado de ingeniería, podrá ser aceptado por las autoridades estatales como un "estado especial". Esto se aplica también a recipientes de capas múltiples.

La división 1 está a su vez dividida en tres subsecciones A, B y C y trece partes designadas por medio de letras, la primera de las cuales es SIEMPRE la "U" que significa Certificado de Autorización para el Usuario. Además consta de apéndices obligatorios y no obligatorios. La exposición siguiente se ocupa de algunas de las porciones del código que se utilizan con más frecuencia.

#### PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO Y REQUISITOS GENERALES

La subsección "A" parte UG incluye reglas sobre el espesor de los recipientes, el refuerzo de las aberturas, la aplicación de éstos, la inspección, las pruebas y los dispositivos de seguridad.

- a) Margen de Corrosión Se analiza generalmente en el párrafo UG-25 y de manera específica en los párrafos UR-13, UB-13, UCS-25, UNF-4, UHA-6, UCL-25 y UHT-25.
- b) Diseño de Presión Interna Los cubren los párrafos UG-27 para recipientes cilíndricos y esféricos y UG-32 para las tapas formadas.

La siguiente gráfica nos muestra las formas de tapas y la-

la forma de cálculo en base a su presión interna.

| DESCRIPCION                         | FORMULAS                                |                                                   | OBSERVACIONES                                                                                     |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tapa cilíndrica                     | $t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$              | $P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$                        | el esfuerzo perimetral (juntas long.). Cuando "t" no sobrepasa 0.5 R o P no mayor de 0.385 de SE  |
| Tapa Esférica                       | $t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$             | $P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$                       | Cuando "t" no sobrepasa 0.356 R o P menor que 0.665 SE                                            |
| Tapa Hemiesférica                   | $t = \frac{PL}{2SE - 0.2P}$             | $P = \frac{2SEt}{L + 0.2t}$                       | "t" no sobrepasa a 0.35 L o P mayor que 0.665-SE.                                                 |
| Tapa Elipsoidal<br>(semielipsoidal) | $t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$             | $P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$                       | tapas semielipsoidales en donde $h = D/4$                                                         |
|                                     | $t = \frac{PDK}{2SE - 0.2P}$            | $P = \frac{SEt}{DK + 0.2t}$                       | para valores de D/h de 2 a 6; $k = 1/6(2 + (D/2h)^2)$                                             |
| Tapa Toriesféricas o A.S.M.E.       | $t = \frac{0.885 PL}{SE - 0.1P}$        | $P = \frac{SEt}{0.885L + 1t}$                     | tapas estandares donde radio de articulación = 6% del r. interior, pero no menor que 3t           |
|                                     | $t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$            | $P = \frac{2SEt}{LM + 0.2t}$                      | valores de L/r de 1a - 16 2/3. $M = 1/4(3 + (L/r))$ , r menor que 3t y 0.06 (d+2t) menor que D+2t |
| Tapa Cónica sin art                 | $t = \frac{PD}{2\cos\alpha(SE - 0.6P)}$ | $P = \frac{2SEt \cos\alpha}{D + 1.2t \cos\alpha}$ | puede necesitar anillo                                                                            |



c) Diseño de Presión Externa Sobre los cilindros y las tapas puede provocarse colapsos, ya sea por inestabilidad elástica o la cedencia plástica. Los recipientes forrados están sujetos a presiones externas. Muchos recipientes se pueden someter accidentalmente a presiones externas (vacío interno), mediante el bombeo o los cambios de temperatura durante el funcionamiento. Es conveniente diseñarlos de conformidad con esas posibilidades.

Los procedimientos de diseño para la presión externa se dan en los párrafos del código UG-28, 29, 30 y 33. También se recomienda consultar una serie de 35 gráficas dadas en el apéndice V. Cada gráfica se aplica a uno o a varios metales similares. Para su utilización sobre un cilindro hay que calcular las razones adimensionales  $D_o/t$  y  $L/D_o$ , donde  $D_o$  es el diámetro exterior del cuerpo, " $t$ " es el espesor y  $L$  la distancia máxima entre montantes de refuerzo para la sección externa y, en éste caso " $l$ " se mide hasta la línea tangente de la tapa, más una tercera parte de su profundidad. Por medio de las intersecciones de las gráficas encontramos un factor " $E$ " que es igual a  $P D_o/t$ , en donde al dividir esto por  $D_o/t$  se obtiene la presión externa permisible " $p$ ".

El código proporciona también procedimientos para utilizar esas mismas gráficas con el fin de calcular esferas y los diversos tipos de tapas formadas. El procedimiento para diseñar montantes de refuerzos de conchas bajo presiones externas, se da en los párrafos UG-29 y 30.

Al verificar un recipiente se puede calcular directamente la presión externa permisible; no obstante al diseñar un

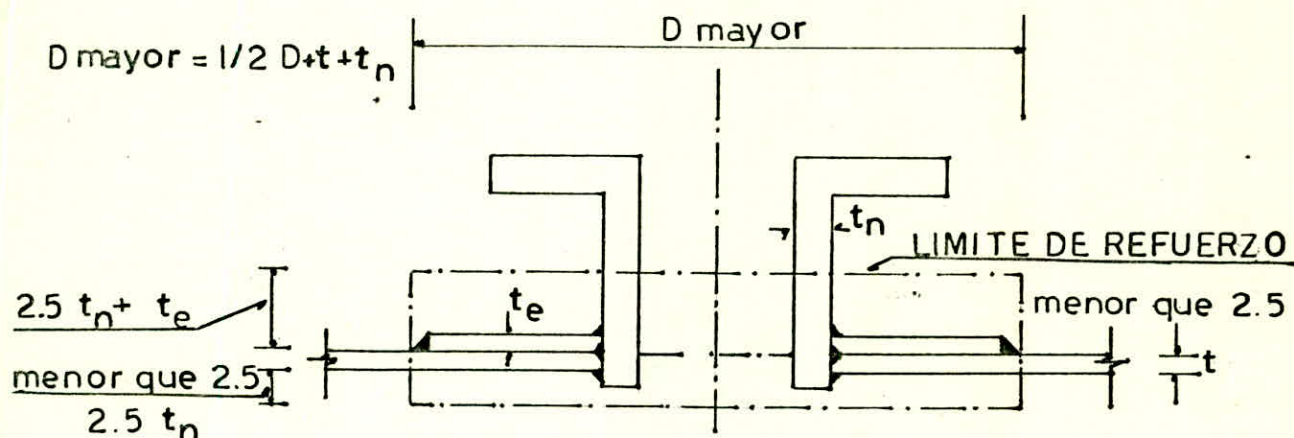


recipiente se trata de un procedimiento por tanteos. Se puede dar, por supuesto un espesor y calcular la presión permisible correspondiente.

d) Tipos de Tapas Se pueden utilizar diferentes tipos de tapas, así como también cubiertas bridadas, para cerrar los extremos de los recipientes. La gráfica expuesta anteriormente nos muestra varios tipos de tapas usadas en el diseño de recipientes presionados. Las tapas elipsoidales y hemiesféricas, tienen un peso menor por pie cúbico de volumen. Tienen también una distribución mejor de esfuerzos. La tapa Toriesférica A.S.M.E. es más fácil de fabricar y proporciona recipientes más cortos. Las tapas Elipsoidales y las Toriesféricas son las que más se usan en los recipientes de presión

e) Refuerzos de las Aberturas Por lo común se requieren refuerzos en las aberturas cuando se penetran en la concha de un recipiente de presión. Esto ocurre usualmente cuando hay conexiones de tobera para tuberías o aberturas para inspección y acceso. Puesto que las conchas de los recipientes de presión se diseñan por lo común para esfuerzos que se acerquen al máximo permitido por el código, es necesario compensar el efecto debilitador de las aberturas. El código exige que todas las aberturas con un diámetro superior a 2 pulgadas y en algunos casos hasta 3 pulgadas reciban un refuerzo. Los detalles se pueden encontrar en los párrafos UG-36 al 42. De modo general, estas reglas requieren el reemplazamiento de materiales cortados por la abertura. Si un recipiente tiene una concha más gruesa que la que se refiere para la presión de diseño, el material

El material que se puede considerar que actúa como refuerzo debe encontrarse dentro de los límites de refuerzo que se dan a continuación:



Los refuerzos se pueden añadir mediante los anillos soldados de placas o barras en torno a la abertura. A veces se inserta un anillo pesado sobre la abertura de la concha, aunque ya no es muy favorecedor. Otro tipo que se utiliza, sobre todo en el recipiente que trabaja a alta presión, es una tobera forjada que se inserta en la concha. Se trata de un diseño excelente y se puede radiografiar la soldadura con mucha facilidad.

El código no limita el tamaño ni la forma de las aberturas sin embargo, tiene recomendaciones y reglas especiales para las aberturas de ciertas formas y para determinados tamaño de éstas.



El código también especifica procedimientos de diseño -  
de Bridas para juntas de forma circular y con el empaque -  
situado dentro del círculo del perno. En el apéndice II del  
código se dan los procedimientos detallados, datos sobre -  
empaques y curvas para calcular esfuerzos, momentos y car -  
gas de las bridas.

El código clasifica las bridas en dos tipos, que son: Inte -  
grales y Sueltas.

Las bridas de tipo Integral se construyen de tal modo que -  
obtienen cierta resistencia del tubo y de la pared de la -  
tobera o recipiente al que se fijan. Las bridas son del ti -  
po Suelto cuando se fijan de tal manera que no es seguro -  
que obtengan resistencia de ese modo. Debe resistir todos -  
los momentos internamente (se refiere al momento causado -  
por la acción entre el círculo de la brida y los pernos -  
que la sujetan).

Esta división tiene un tipo de brida especial llamada Bri -  
da de tipo Opcional (UA-48)

El diseño de bridas del código, tal como se especifica en, -  
el apéndice II (reglas para tornillos, tuercas y conexiones  
UA-45), incluye el cálculo de dos tipos de cargas: la carga  
mínima requerida para los pernos, para las condiciones de -  
trabajo de la abertura, y la carga mínima requerida de los  
pernos para el asiento del empaque.

Cuando se monta inicialmente una junta, es necesario apli -  
car una fuerza suficiente sobre el empaque para que se a -  
molde a la superficie de la brida. La tabla UA-49.1, dentro  
del código proporciona valores recomendado de esfuerzo mí -



nimo de asentamiento de diseño que es necesario para hacer ceder cada tipo de empaque dado y lograr que se conforme a la superficie de la brida. Estos valores de esfuerzo varían de cero para el caucho a  $26\ 000\ \text{lb/in}^2$  para el acero inoxidable.

La Carga Mínima Requerida de los pernos para el asentamiento de los empaques se determina mediante la aplicación de éste esfuerzo a una fracción prescrita del área de empaque (calculada a través de se fórmula general). La brida y los pernos se diseñan para soportar ésta carga (así como también el momento resultante) utilizando los esfuerzos permisibles en los materiales a la temperatura atmosférica. El área completa del empaque no se utiliza para calcular la carga del asiento, debido a que la deflexión de la brida hace que tenga que soportar cargas mayores en el borde exterior del empaque.

Cuando una junta tiene que soportar presión interna, el código supone que no se producirá una fuga si la brida se apoya contra el empaque con una presión que es de cierto múltiplo de la presión interna del recipiente. Este múltiplo se le conoce con el nombre de Factor del Empaque.

Las bridas y los pernos por lo regular se diseñan para absorber las cargas y los momentos, utilizando esfuerzos permisibles en los materiales a la temperatura operacional.

Aunque el código proporciona reglas y datos necesarios para calcular las bridas, no se ocupa de aspectos prácticos ni proporciona muchas indicaciones para los diseñadores. La información al respecto se encuentra en el apéndice "S"

del código. Si se diseñan las juntas de acuerdo a éstas especificaciones nunca habrá problemas de fugas en servicio. Sin embargo, el diseño del código tiene primordialmente la finalidad de proporcionar seguridad contra las rupturas o las deformaciones que causan fugas en las bridas.

f) Presión de Trabajo Permisible es otro de los temas que trata el código. Viene definido en los párrafos UG-98 y UG-60 como la más baja de varias presiones que producirán el esfuerzo máximo permisible sobre cada una de las partes del recipiente, utilizando su espesor nominal, menos el margen de corrosión. En términos estrictos, esto requiere el cálculo de la presión máxima permisible de trabajo de cada parte del recipiente y utilización de la más baja de ellas

g) Presión de Diseño de un recipiente, está dada en los párrafos UG-21 y UA-60. Es la presión utilizada en su diseño con el fin de determinar el espesor mínimo permisible o las características físicas de sus diversas partes. Debido al escalonamiento de los espesores de placas existentes comercialmente, un recipiente puede tener un espesor de pared un poco mayor que el necesario para soportar la presión de diseño.

Por lo consiguiente, la presión de trabajo máxima permisible puede sobrepasar a la de diseño. Sin embargo, en la práctica, para ahorrarse esfuerzos, la presión de trabajo máxima permisible la podemos considerar por lo común como la Presión de Diseño.

h) Recipientes de Presión en todos los recipientes de presión debe haber un dispositivo de purga de presión (párrafos UG-125 a 134) y ajustarse para pasar a una presión que no-



sobrepase la presión máxima permisible de carga. Cuando pasen (por lo común debido a condiciones anormales) esta presión, deberá evitarse que ésta se eleve más del 10% sobre la presión máxima permisible de trabajo; sin embargo, si el recipiente puede estar expuesto a un incendio o a alguna otra fuente externa inesperada de calor, la capacidad adicional de alivio de la presión será necesaria para limitar la presión al 20% por encima de la presión máxima permisible de trabajo. Un recipiente que se utilice para almacenar gases inflamables licuados se considerará dentro de esta categoría.

Los dispositivos de alivio de la presión pueden ser válvulas o discos de Ruptura. Para evitar la abertura frecuente se mantiene por lo común un margen entre la presión operacional y el ajuste del dispositivo de purga.

Los dispositivos de purga de presión se instalan por lo común directamente sobre el recipiente o se conectan a él mediante una tubería corta con un diámetro sobre el recipiente que sea por lo menos igual al de la entrada del dispositivo. La tubería de descarga de un dispositivo a otro debe ser suficientemente grande como para evitar que la contrapresión afecte al flujo.

Se puede instalar una válvula de corte en la línea ya sea que vá o que procede a, o del dispositivo de purga sólo en circunstancias que mantengan una protección adecuada para el recipiente (párrafo UG-134 y apéndice "M").

No se deberá permitir que se atasquen las tuberías que conduzcan a los dispositivos de purga.

- i) Discos de Ruptura se usan en servicios en los que no se -



puede tolerar ninguna fuga en absoluto o en donde el material de que se trate pueda provocar el atascamiento o el mal funcionamiento de una válvula de seguridad o purga.

Cuando se instalan en serie de válvulas y discos de ruptura, debe haber alguna forma de asegurar que no se acumule presión entre ellas, para su mejor funcionamiento.

- j) La Inspección tanto de los materiales como de la fabricación constituye un factor esencial para obtener un recipiente de presión seguro. Los párrafos del código UG-90 a 97 dan los procedimientos generales para la inspección.

Un inspector autorizado no puede ser empleado del fabricante del recipiente, pero éste último puede tener sus propios inspectores para el control de la Calidad.

Para la mayoría de los recipientes de presión de la división 1, se requiere la Comprobación Hidrostática de la presión a 1.5 veces la presión máxima permisible de trabajo (por lo común 1.5 veces la presión de diseño), corregida para tomar en cuenta el efecto de la temperatura sobre el esfuerzo permisible. Este se especifica en los párrafos UG-99 a UG-102. La presión completa hidrostática de prueba se mantiene solo hasta un valor más bajo, pero no menor que las dos terceras partes de la presión de prueba, y se verifican todas las juntas y conexiones para ver si no tiene fugas. Los recipientes no diseñados específicamente para el servicio a bajas temperaturas debe estar a 60°F y de preferencia a temperaturas altas, cuando se someten a las pruebas. Los recipientes esmaltados o recubiertos de vidrio que no puedan soportar el peso del líquido o los que puedan conta

minarse mediante el líquido de prueba, se pueden probar por medio de aire de 1.00 a 1.25 veces la presión máxima permisible de trabajo en las pruebas hidrostáticas.

- k) Las Aprobaciones y Datos para Reporte se cubren en los párrafos UC-115 a UC-120 del código. Un recipiente construido de conformidad al código por un fabricante autorizado, podrá imprimir en la placa de aprobación el símbolo del código "U" de la A.S.M.E.

El símbolo "UM" se utiliza para algunos recipientes pequeños construidos según los requisitos del código, pero que se encuentran exentos de la inspección de él. El símbolo del código, como ya habíamos mencionado anteriormente, va acompañado por cierta información sobre el recipiente o en alguna placa fija permanente. Otros de los símbolos de la A.S.M.E. que se pueden incluir son: "N" para recipientes nucleares; "H" para calderas de calefacción; "S" para calderas de potencia; "M" para calderas en miniatura; "A" montaje de calderas; "UV" válvulas de purga; "NV" para válvulas de seguridad nucleares, y "RP" para los recipientes construidos por medio de plásticos reforzados.

El símbolo de código va siempre encerrado en la hoja de trébol oficial de la A.S.M.E.

El sello "NB" (national Board) se puede utilizar además de los sellos de la A.S.M.E.

- 1) Se debe llevar un Informe sobre Datos del Fabricante para cada recipiente del código y firmarlo el fabricante y el inspector autoridad. Las copias de sus informes se envían siempre al propietario del recipiente. Para que dicho recipiente se registre en la National Board; la junta recibe



dos copias de cada uno de dichos informes, una de las cuales se envía a la autoridad del código en el estado en que se instale dicho recipiente.

En México, éstas tramitaciones se realizan en la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, a través del Departamento de Recipientes Sujetos a Presión.

## MATERIALES DE CONSTRUCCION

La subsección "C" se ocupa de los requisitos relativos a las clases de materiales, se ocupa de los esfuerzos permisibles y de otros requisitos, que dependiendo del material se especifican. Con ciertas excepciones, requiere que todos los materiales sujetos a esfuerzos en los recipientes del código se conformen a una de las especificaciones dadas en la subsección II del código de calderas y recipientes de presión.

La subsección "C" se divide en varias partes como son:

- a) UCS        donde encontramos lo referente a Aceros al Carbón y de Baja Aleación.
- b) UNF        requisitos de materiales de construcción por medio de materiales No Ferrosos.
- c) UHA        requisitos de materiales para Aceros de Aleaciones Altas.
- d) UCI        requisitos de materiales para Hierros Colados.
- e) UCL        requisitos de materiales para placas de revestimiento Integral o Recubrimiento resistente a la corrosión.
- f) UCD        requisitos de materiales para hierro dúctil colado .



- g) UHT requisitos de materiales de construcción para Aceros Ferríticos con propiedades realizadas mediante tratamientos térmicos.

## METODOS DE FABRICACION

La subsección "B" es la encargada de ésta parte relativa a los métodos de fabricación de recipientes de presión.

Esta subsección a su vez se divide en varias partes, como son:

- a) UW requisitos de fabricación de recipientes presionados por medio de soldadura.
- b) UR requisitos de fabricación de recipientes presionados por medio de remates o remaches
- c) UF requisitos de fabricación de recipientes presionados por medio de forjas
- d) UB requisitos de fabricación de recipientes presionados por medio de prensas.

La soldadura se utiliza casi universalmente para la fabricación de recipientes sujetos a presión. A veces se usan recipientes forjados para presiones elevadas, donde el espesor de la concha se hace demasiado grande para la construcción de placas soldadas o laminadas. La soldadura fuerte se utiliza principalmente (prensado) para recipientes pequeños que se producen en pequeñas cantidades, aún cuando el código no establezca límites.

Los recipientes soldados que se analizan en la parte UW se pueden fabricar de cualquiera de los materiales aprobados -

en el código que se demuestre que tiene buenas cualidades de soldadura.

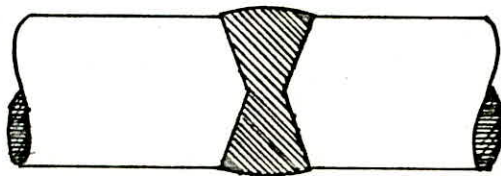
El procedimiento de soldadura que puede establecerse, se realiza de conformidad con la sección IX. Esta sección exige también que cada soldador pase pruebas de competencia para cada tipo dado de soldadura o el manejo de cualquier máquina soldadora que vaya a utilizar.

Por lo común, los aceros de menos de 0.35% de carbono se pueden soldar sin dificultades. Se requiere un tratamiento térmico posterior a la soldadura para algunas condiciones, tales como placas gruesas, servicios a bajas temperaturas, contenidos elevados de carbono y de productos tóxicos.

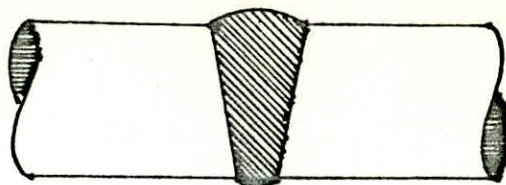
El código no permite que se haga ninguna soldadura cuando el metal este por debajo de 0°F. Entre 0 y 32°F se debe calentar el material adyacente a la soldadura, al menos a 60°F, antes de iniciar la soldadura propiamente dicha. Se recomienda también que no se haga ninguna soldadura cuando las superficies estén húmedas o cubiertas de hielo, cuando cae nieve o se expone a vientos fuertes, a menos que el trabajo este protegido adecuadamente. Por otra parte, las superficies soldadas deben estar libres de grasas, escorias y polvos.

Los tipos de soldaduras utilizadas por la mayoría de las juntas perimetrales y longitudinales en los recipientes de presión son los siguientes:

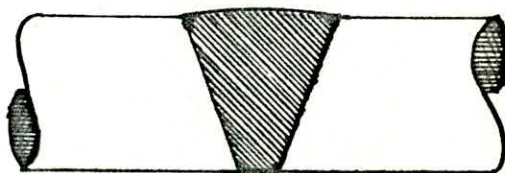
- a) Junta por ensamble de soldadura doble, picada antes de soldar el segundo lado.



- b) Junta por ensamble de soldadura simple con banda de respaldo que puede o no retirarse.



- c) Junta por ensamble de soldadura simple sin banda de respaldo. Sólo permite algunas soldaduras perimetrales.



#### EFICIENCIA DE SOLDADURA

Se refiere a la relación entre el esfuerzo permisible en la soldadura y el esfuerzo permisible en la placa adyacente. Depende no solo del tipo de soldadura, sino también del grado de examen radiográfico. Los detalles y las proporciones para cierto número de conexiones de diseño aprobados, se dan principalmente en la parte UW del código.

En la costura completamente radiografiada, se inspecciona la longitud total. En un radiografiado por puntos, se somete a la inspección una longitud de 6 pulgadas en cada 50 pies. Las imperfecciones que se encuentran fuera de la cantidad permisible se debe reparar mediante soldadura. La sensibilidad del procedimiento radiográfico se verifica mediante el Penetrómetro. Esta pieza delgada y plana de metal contiene tres orificios y se pone adyacente a la soldadura de tal modo que aparezca en la radiografía. Los Penetrómetros tienen aproximadamente el 2% del espesor del metal que se inspecciona, ver párrafo UW-51 del código.



También se pueden examinar las soldaduras mediante el seccionado, las ondas ultrasonicas, por pruebas destructivas y no destructivas, etc.

Las reglas para la fabricación de Recipientes Remachados aparecen en la parte UR. Aunque por lo general ya no se utilizan los recipientes remachados, el código dá reglas para su construcción.

Los recipientes de presión fabricados mediante el Forjado cubre la parte UF. Sólo se aprueba que se conformen a las especificaciones SA-105, SA-181, SA-182, SA-266, SA-336, SA-350 y SA-372. Además de ellos se pueden utilizar materiales de placas y tuberías sin costura de las tablas UCS-23, UHA-23, si se procesan mediante operaciones de forjado. Con ciertas excepciones se pueden fabricar recipientes de presión mediante soldadura de piezas forjadas y otros materiales.

Los requisitos para los recipientes de presión fabricados mediante el prensado aparecen en la sección UB del código. La temperatura máxima permisible operacional de un recipiente construido bajo éstas características depende del metal base, el metal de relleno y del proceso. Varía entre 200 y 400°F.

Los procedimientos y los operarios del prensado deben recibir la aprobación según la sección IX. Las juntas del prensado perimetrales y longitudinales funcionan normalmente con la aleación de la soldadura en corte. Sin embargo, en algunos casos, también funcionan a tensión.

Después de haber dado un panorama general de las partes que constituyen al código, es necesario hacer notar las secciones complementarias a éste, llamados Apéndices.

Los apéndices de la división 1 se dividen principalmente en dos grupos: Obligatorios y No Obligatorios.

Los apéndices Obligatorios, que llevan los números del I al IX, dan detalles sobre los procedimientos que se mencionan con frecuencia en el cuerpo del código. Los apéndices No Obligatorios que llevan las letras B a U (omitiendo H, I, N y O) proporcionan información y procedimientos recomendados que no son esenciales pero que sí pueden ser útiles para los usuarios del código. Algunos de ellos son casi Obligatorios, sobre todo si algún inspector insiste en su empleo.

El apéndice I proporciona tablas y fórmulas suplementarias que extienden la información dada en la parte UG del código. Incluye fórmulas para el espesor de las conchas o tapas cilíndricas y esféricas que se encuentran más allá de los límites superiores de espesor de las fórmulas de párrafos UG-27. También proporciona datos necesarios para el cálculo de tapas elipsoidales y toriesféricas, que no tengan las proporciones dadas o estándares supuestas por las fórmulas que aparecen en UG-32. Igualmente se incluyen secciones de reductores, tapas cónicas con diversos ángulos de ápice y varios tipos de cubierta de plato.

El apéndice II habla sobre el diseño de Bridas.

El apéndice III trae definiciones que se utilizan con frecuencia en el lenguaje del código y que anteriormente ya se han definido.

El apéndice IV contiene gráficas de porosidad, da ejemplos del área permisible de porosidad en las soldaduras y explica la interpretación de las radiografías.



El apéndice V se basa en el diseño para la presión externa.

El apéndice VI, contiene métodos para el examen de partículas magnéticas, se ocupa de un análisis general de las técnicas aceptadas.

El apéndice VII, examen de colados de acero, contiene diferentes referencias a las especificaciones A.S.T.M. aplicables. Las piezas vaciadas de acero soldable, que se encuentran por encima del límite tolerable de defectos, se pueden reparar casi siempre mediante la soldadura. Si no son soldables, se rechazan.

El apéndice VIII, métodos para el examen con líquidos penetrantes, los cuales están dentro de las normas E-165-60 T de la A.S.T.M. "métodos para la inspección de líquidos penetrantes".

El apéndice IX, para recipientes forrados, se ocupa de los problemas que se encuentran en el diseño de recipientes forrado.

A continuación se dan algunos de los apéndices No Obligatorios:

El apéndice "B" aprobación de nuevos materiales bajo el código de calderas y recipientes de presión de la A.S.M.E.

El apéndice "E" prácticas adecuadas que se recomiendan los márgenes de corrosión.

El apéndice "J" conversiones de capacidad para válvulas de seguridad.

El apéndice "L" ejemplos que ilustran la aplicación de las reglas del código.

El apéndice "P" bases para el establecimiento de valores de esfuerzos.



El apéndice "S" consideraciones de diseño para conexiones con bridas atornilladas.

Dentro del apéndice "L" se dan las bases para las personas que no están muy familiarizadas con el manejo del código, ya que nos da la forma de utilizar todas las reglas y las fórmulas que contiene el código en su interior. Incluye además problemas de muestras sobre recipientes sujetos a presión estándar y contiene cierto número de problemas que ilustran el refuerzo de las aberturas etc.

Este es un panorama general de lo que es el código A.S. - M.E. sección VIII, división 1, realizado especialmente para la fabricación mecánica de los recipientes sujetos a presión.

#### SIGNIFICADO DE LAS VARIABLES

- t Espesor mínimo requerido, pulgadas
- P Presión de diseño, libras por pulgada cuadrada
- R Radio del cilindro, pulgadas
- L Longitud de la tapa, pulgadas
- S Esfuerzo de tensión mínima requerida, libras por pulgada cuadrada
- E Eficiencia de soldadura, adimensional
- K Constante que depende de la geometría del recipiente
- M Constante que depende del radio de articulación de la tapa
- D Diámetro del cilindro, pulgadas.

## C A P I T U L O    I V

- a) REPRESENTACION GENERAL DE UN REACTOR Y LA ESPECIFICACION -  
DE SUS PARTES BASADAS EN EL CODIGO A.S.M.E.
- b) RESOLUCION DE UN PROBLEMA TIPO PARA EL DISEÑO DE UN RECI -  
PIENTE SUJETO A PRESION
  - 1.- Formulación del problema
  - 2.- Resolución por medio de la cinética química
  - 3.- Resolución del problema en base a las condiciones que-  
establece el código A.S.M.E. sección VIII división 1
  - 4.- Cálculos adicionales para la soportería del reactor

Technical drawing of a ship's hull structure, showing various components and their specifications. The drawing includes a cross-section of the hull, a plan view of the hull, and a detail view of the hull structure. The components are labeled with their respective specifications and dimensions.

**COMPONENTS AND SPECIFICATIONS:**

- CUBERTA ESPERENCIA** UA-11, UA-12, UA-13, UA-14, UA-15, UA-16, UA-17, UA-18, UA-19, UA-20, UA-21, UA-22, UA-23, UA-24, UA-25, UA-26, UA-27, UA-28, UA-29, UA-30, UA-31, UA-32, UA-33, UA-34, UA-35, UA-36, UA-37, UA-38, UA-39, UA-40, UA-41, UA-42, UA-43, UA-44, UA-45, UA-46, UA-47, UA-48, UA-49, UA-50, UA-51, UA-52, UA-53, UA-54, UA-55, UA-56, UA-57, UA-58, UA-59, UA-60, UA-61, UA-62, UA-63, UA-64, UA-65, UA-66, UA-67, UA-68, UA-69, UA-70, UA-71, UA-72, UA-73, UA-74, UA-75, UA-76, UA-77, UA-78, UA-79, UA-80, UA-81, UA-82, UA-83, UA-84, UA-85, UA-86, UA-87, UA-88, UA-89, UA-90, UA-91, UA-92, UA-93, UA-94, UA-95, UA-96, UA-97, UA-98, UA-99, UA-100, UA-101, UA-102, UA-103, UA-104, UA-105, UA-106, UA-107, UA-108, UA-109, UA-110, UA-111, UA-112, UA-113, UA-114, UA-115, UA-116, UA-117, UA-118, UA-119, UA-120, UA-121, UA-122, UA-123, UA-124, UA-125, UA-126, UA-127, UA-128, UA-129, UA-130, UA-131, UA-132, UA-133, UA-134, UA-135, UA-136, UA-137, UA-138, UA-139, UA-140, UA-141, UA-142, UA-143, UA-144, UA-145, UA-146, UA-147, UA-148, UA-149, UA-150, UA-151, UA-152, UA-153, UA-154, UA-155, UA-156, UA-157, UA-158, UA-159, UA-160, UA-161, UA-162, UA-163, UA-164, UA-165, UA-166, UA-167, UA-168, UA-169, UA-170, UA-171, UA-172, UA-173, UA-174, UA-175, UA-176, UA-177, UA-178, UA-179, UA-180, UA-181, UA-182, UA-183, UA-184, UA-185, UA-186, UA-187, UA-188, UA-189, UA-190, UA-191, UA-192, UA-193, UA-194, UA-195, UA-196, UA-197, UA-198, UA-199, UA-200, UA-201, UA-202, UA-203, UA-204, UA-205, UA-206, UA-207, UA-208, UA-209, UA-210, UA-211, UA-212, UA-213, UA-214, UA-215, UA-216, UA-217, UA-218, UA-219, UA-220, UA-221, UA-222, UA-223, UA-224, UA-225, UA-226, UA-227, UA-228, UA-229, UA-230, UA-231, UA-232, UA-233, UA-234, UA-235, UA-236, UA-237, UA-238, UA-239, UA-240, UA-241, UA-242, UA-243, UA-244, UA-245, UA-246, UA-247, UA-248, UA-249, UA-250, UA-251, UA-252, UA-253, UA-254, UA-255, UA-256, UA-257, UA-258, UA-259, UA-260, UA-261, UA-262, UA-263, UA-264, UA-265, UA-266, UA-267, UA-268, UA-269, UA-270, UA-271, UA-272, UA-273, UA-274, UA-275, UA-276, UA-277, UA-278, UA-279, UA-280, UA-281, UA-282, UA-283, UA-284, UA-285, UA-286, UA-287, UA-288, UA-289, UA-290, UA-291, UA-292, UA-293, UA-294, UA-295, UA-296, UA-297, UA-298, UA-299, UA-300, UA-301, UA-302, UA-303, UA-304, UA-305, UA-306, UA-307, UA-308, UA-309, UA-310, UA-311, UA-312, UA-313, UA-314, UA-315, UA-316, UA-317, UA-318, UA-319, UA-320, UA-321, UA-322, UA-323, UA-324, UA-325, UA-326, UA-327, UA-328, UA-329, UA-330, UA-331, UA-332, UA-333, UA-334, UA-335, UA-336, UA-337, UA-338, UA-339, UA-340, UA-341, UA-342, UA-343, UA-344, UA-345, UA-346, UA-347, UA-348, UA-349, UA-350, UA-351, UA-352, UA-353, UA-354, UA-355, UA-356, UA-357, UA-358, UA-359, UA-360, UA-361, UA-362, UA-363, UA-364, UA-365, UA-366, UA-367, UA-368, UA-369, UA-370, UA-371, UA-372, UA-373, UA-374, UA-375, UA-376, UA-377, UA-378, UA-379, UA-380, UA-381, UA-382, UA-383, UA-384, UA-385, UA-386, UA-387, UA-388, UA-389, UA-390, UA-391, UA-392, UA-393, UA-394, UA-395, UA-396, UA-397, UA-398, UA-399, UA-400, UA-401, UA-402, UA-403, UA-404, UA-405, UA-406, UA-407, UA-408, UA-409, UA-410, UA-411, UA-412, UA-413, UA-414, UA-415, UA-416, UA-417, UA-418, UA-419, UA-420, UA-421, UA-422, UA-423, UA-424, UA-425, UA-426, UA-427, UA-428, UA-429, UA-430, UA-431, UA-432, UA-433, UA-434, UA-435, UA-436, UA-437, UA-438, UA-439, UA-440, UA-441, UA-442, UA-443, UA-444, UA-445, UA-446, UA-447, UA-448, UA-449, UA-450, UA-451, UA-452, UA-453, UA-454, UA-455, UA-456, UA-457, UA-458, UA-459, UA-460, UA-461, UA-462, UA-463, UA-464, UA-465, UA-466, UA-467, UA-468, UA-469, UA-470, UA-471, UA-472, UA-473, UA-474, UA-475, UA-476, UA-477, UA-478, UA-479, UA-480, UA-481, UA-482, UA-483, UA-484, UA-485, UA-486, UA-487, UA-488, UA-489, UA-490, UA-491, UA-492, UA-493, UA-494, UA-495, UA-496, UA-497, UA-498, UA-499, UA-500, UA-501, UA-502, UA-503, UA-504, UA-505, UA-506, UA-507, UA-508, UA-509, UA-510, UA-511, UA-512, UA-513, UA-514, UA-515, UA-516, UA-517, UA-518, UA-519, UA-520, UA-521, UA-522, UA-523, UA-524, UA-525, UA-526, UA-527, UA-528, UA-529, UA-530, UA-531, UA-532, UA-533, UA-534, UA-535, UA-536, UA-537, UA-538, UA-539, UA-540, UA-541, UA-542, UA-543, UA-544, UA-545, UA-546, UA-547, UA-548, UA-549, UA-550, UA-551, UA-552, UA-553, UA-554, UA-555, UA-556, UA-557, UA-558, UA-559, UA-560, UA-561, UA-562, UA-563, UA-564, UA-565, UA-566, UA-567, UA-568, UA-569, UA-570, UA-571, UA-572, UA-573, UA-574, UA-575, UA-576, UA-577, UA-578, UA-579, UA-580, UA-581, UA-582, UA-583, UA-584, UA-585, UA-586, UA-587, UA-588, UA-589, UA-590, UA-591, UA-592, UA-593, UA-594, UA-595, UA-596, UA-597, UA-598, UA-599, UA-600, UA-601, UA-602, UA-603, UA-604, UA-605, UA-606, UA-607, UA-608, UA-609, UA-610, UA-611, UA-612, UA-613, UA-614, UA-615, UA-616, UA-617, UA-618, UA-619, UA-620, UA-621, UA-622, UA-623, UA-624, UA-625, UA-626, UA-627, UA-628, UA-629, UA-630, UA-631, UA-632, UA-633, UA-634, UA-635, UA-636, UA-637, UA-638, UA-639, UA-640, UA-641, UA-642, UA-643, UA-644, UA-645, UA-646, UA-647, UA-648, UA-649, UA-650, UA-651, UA-652, UA-653, UA-654, UA-655, UA-656, UA-657, UA-658, UA-659, UA-660, UA-661, UA-662, UA-663, UA-664, UA-665, UA-666, UA-667, UA-668, UA-669, UA-670, UA-671, UA-672, UA-673, UA-674, UA-675, UA-676, UA-677, UA-678, UA-679, UA-680, UA-681, UA-682, UA-683, UA-684, UA-685, UA-686, UA-687, UA-688, UA-689, UA

GUIA DE REFERENCIA RAPIDA  
A.S.M.E VIII - DIV. 1 (2070)



## DISEÑO DE UN REACTOR POR LOTES PARA LA PRO - DUCCION DE ACIDO BENZOICO.

La oxidación de Tolueno a Acido Benzoico en forma líquida ha sido estudiada en un reactor discontinuo (batch), provisto - de agitación por M. Royo y J. Blanco, utilizando aire como me - dio oxidante, benzaldehído como indicador y acetato de plata co - mo catalizador. La reacción química sigue una cinética de pri - mer orden con respecto a la concentración de tolueno ( $c_t$ )

$$r = k \cdot c_t \quad \text{donde } k = 6.1 \cdot 10^{-6} \text{ seg}^{-1}$$

a una temperatura de  $160^{\circ}\text{C}$ , operando en las condiciones experi - mentales siguientes:

- a) Presión = 20 atmósferas
- b) Flujo de aire = 160 lts/hr en condiciones normales
- c) Concentración inicial de Tolueno = 9.3 mol/lit

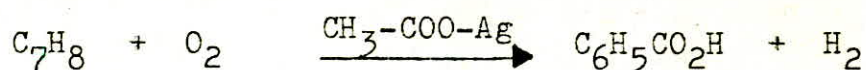
Y la conversión a ácido benzoico del 80%. Deseamos, además - obtener una concentración de 90 g/lit de ácido benzoico (que - es la concentración considerada como máxima con objeto de evi - tar la cristalización de dicho ácido en la instalación).

Se desea encontrar el tiempo de operación si consideramos que el tiempo de carga, descarga y limpieza del reactor es de - 1.2 horas.

Qué volúmen de reactor se necesita para obtener una tone - lada diaria de ácido benzoico (operando 6 horas/día) si supo - nemos que no hay variación de volúmen de mezcla durante el pro - ceso.

Además diseñar el reactor para las condiciones antes men -

cionadas en base al estudio del código A.S.M.E. sección VIII -  
división 1.



$$r = kc_t \quad \text{donde } k = 6.1 \cdot 10^{-6} \text{ seg}^{-1}$$

$$r = 6.1 \cdot 10^{-6} c_t$$

#### D A T O S   A D I C I O N A L E S

- a) Peso Molecular del Acido Benzoico = 122.12 g/mol
- b) Peso Molecular del Tolueno = 92.00 g/mol
- c) Peso Molecular del Oxígeno = 32.00 g/mol
- d) Peso Molecular del Hidropogeno = 2.01 g/mol
- e) Densidad del Hidrógeno = 0.70 g/cm<sup>3</sup> (20°C, 1 atm)
- f) Velocidad de agitación = 150 R.P.M. (15.73 rad/seg)

Primero partiremos de la ecuación de diseño para encontrar el volumen del reactor requerido por medio de la cinética química, en un reactor por lotes.

$$\begin{aligned}\theta &= C_0 \int_0^x \frac{dx}{r} & \text{Donde } x &= \text{conversión} \\ \theta &= C_{t0} \int_0^x \frac{dx}{k c_t} & C_0 &= \text{conc. inic.} \\ C_t &= C_{t0} - C_{t0}x & r &= \text{vel. de reacción.} \\ C_t &= C_{t0}(1-x) & C_{t0} &= \text{conc. inic de tolueno.}\end{aligned}$$

SUSTITUYENDO

$$\begin{aligned}\theta &= C_{t0} \int_0^x \frac{dx}{(6.1 \cdot 10^{-6})(C_{t0}(1-x))} \\ \theta &= \frac{1}{6.1 \cdot 10^{-6}} \int_0^x \frac{dx}{1-x}\end{aligned}$$

RESOLVIENDO LA INTEGRAL POR MEDIO DE UN ARTIFICIO DE INTEGRACION:

$$\begin{aligned}u &= 1-x \\ du &= -dx\end{aligned} \quad \theta = \frac{1}{6.1 \cdot 10^{-6}} \int_0^x -\frac{du}{u}$$

$$\theta = \frac{1}{6.1 \cdot 10^{-6}} \left[ -\ln(u) \right]_0^x$$

SUSTITUYENDO EL VALOR DE "u" :

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{1}{6.1 \cdot 10^{-6}} \left[ -\ln(1-x) \right]_0^x \\ \theta &= \frac{1}{6.1 \cdot 10^{-6}} \left[ -\ln(1-x) + \ln(1) \right] \\ \theta &= -\frac{1}{6.1 \cdot 10^{-6}} \left[ \ln(1-x) \right]\end{aligned}$$



$$\theta = - 1.6393 \cdot 10^5 \ln (1-x) \quad -I$$

Para determinar "x" que es la conversión, tenemos que partir de que deseamos obtener una conversión del 80% y queremos una concentración de 90 g/lt de ácido benzoico.

Sabiendo que el peso del ácido benzoico es de 122.12 g/mol

$$x = \frac{90 \text{ g/lt}}{122.12 \text{ g/mol}} = 0.73698 \text{ mol/lt}$$

$$\frac{0.73698 \text{ mol/lt}}{80\%} \times 100\% = 0.9212 \text{ mol/lt}$$

Que corresponde a la cantidad que se transforma por cada litro de ácido benzoico.

SUSTITUYENDO ENTONCES:

$$C_t = C_{t0} (1 - 0.9212)$$

$$Y \quad C_t = C_{t0} - 0.9212$$

$$ADEMAS : \quad C_{t0} - 0.9212 = C_{t0} (1 - x)$$

SABIENDO QUE  $C_{t0} = 9.3 \text{ mol/lt}$ , ENTONCES:

$$9.3 - 0.9212 = 9.3 (1 - x)$$

$$x = 0.09905 \text{ mol/lt}$$

SUSTITUYENDO ESTE VALOR EN LA ECUACION I, NOS DA:

$$\theta = - 1.6393 \cdot 10^5 \ln (1 - 0.09905)$$

$$\theta = 1.7271 \cdot 10^4 \text{ seg} \times \frac{1 \text{ hr.}}{3600 \text{ seg}} = 4.8 \text{ hr}$$

El tiempo total invertido será: "θ" más el tiempo de carga, descarga y limpieza que se le dá al reactor después de cada operación y que corresponde a 1.2 horas. Por lo tanto:

$$\theta = 4.8 \text{ horas} + 1.2 \text{ horas} = 6.0 \text{ horas}$$

Deseamos calcular además, el volúmen para obtener 1 tonelada por día de ácido benzoico.

$$\frac{1 \text{ Ton}}{\text{día}} \times \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Ton}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hr}} = 41.66 \text{ Kg/hr}$$

$$\frac{41.66 \text{ Kg}}{1 \text{ hr}} \times 6 \text{ hr} = 250 \text{ Kg de ácido / carga}$$

AHORA CALCULAREMOS EL NUMERO DE MOLES:

$$\text{No. de Moles} = \frac{250 \text{ Kg}}{(0.12212)(.8) \text{ Kg/mol}} = 2558.95 \text{ moles}$$

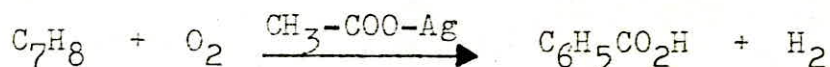
$$2558.95 \text{ moles} \times \frac{1 \text{ Lt}}{0.9212 \text{ mol}} = \text{Vol.}$$

$$\text{Volúmen} = 2777.8532 \text{ lt}$$

$$\text{Volúmen} = 2.7778532 \text{ m}^3$$

Valor correspondiente al volúmen que ocupa la reacción - también llamado volúmen Efectivo de reacción.

En cuanto al diseño, primero calcularemos los volúmenes de reactivos que intervienen en la formación del ácido benzoico - durante cada carga, que obtendremos a partir de la Estequiometría de la reacción de su formación.



DE LA REACCION SABEMOS LOS SIGUIENTES DATOS:

Peso mol del Tolueno = 92 g/mol

Peso mol del ácido Benzoico = 122.12 g/mol

Peso mol del Oxígeno = 32 g/mol

Peso mol del Hidrógeno = 2.016 g/mol

Por estequiometría, un mol de Tolueno nos dá un mol de ácido benzoico, por tanto, la cantidad de ácido benzoico vendrá dada por:

$$\frac{92 \text{ g/mol de tolueno}}{122.12 \text{ g/mol de ác. benzoico}} \times 250\,000 \text{ g de ác. benzoico}$$

$$= 188339.33 \text{ g de Tolueno}$$

$$= 188.33933 \text{ Kg de Tolueno/ carga}$$

La cantidad de hidrógeno que se desprende durante la reacción se encontrará por estequiometría sabiendo que un mol de tolueno desprende una mol de hidrógeno durante la formación de ácido benzoico.

$$\frac{2.016 \text{ g de hidrógeno}}{92 \text{ g de Tolueno}} \times 188339.33 \text{ g de Tol.} = 4127.087 \text{ g}$$

$$= 4127.087 \text{ g de Hidrógeno}$$

Sabemos, además que la densidad del hidrógeno a 20°C y 1 atmósfera es 0.070 g/cm<sup>3</sup>; de ésta manera sabremos el volumen que ocupa éste y el volumen total del reactor que se ocupará para llevar a cabo toda la reacción.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} = 0.070 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Volumen} = \frac{4127.087 \text{ g}}{0.070 \text{ g/cm}^3} = 58958.385 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen} = 0.058958 \text{ m}^3$$

Por la LEY UNIVERSAL DE LOS GASES podemos encontrar el volumen del gas hidrógeno en las condiciones de operación, que son 20 atmósferas y 160°C. De tal manera que el volumen será:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P' \cdot V'}{T'}$$



$$V' = \frac{(1 \text{ atm})(0.058958 \text{ m}^3)(160^\circ\text{C})}{(20 \text{ atm})(20^\circ\text{C})} = 0.02358 \text{ m}^3$$

$$V' = 0.02358 \text{ m}^3$$

Este volumen corresponde aproximadamente a un 20% más del volumen efectivo de reacción, y es el espacio que ocupa el gas hidrógeno cuando se efectúa la reacción de formación del ácido benzoico.

Con éstos datos podemos calcular el volumen total en las condiciones de reacción.

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 2.777853 + (2.777853 \times 0.2)$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 3.33 \text{ m}^3$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 4 \text{ m}^3$$

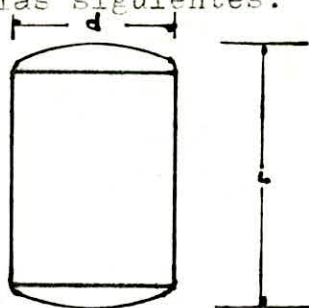
Por medio de este volumen total calculado podemos obtener, por medio de datos tabulados (como se observa en la siguiente tabla), las dimensiones que se considerarán óptimas para el diseño del recipiente sujeto a presión, es decir:



✓ De la tabla anterior podemos ver que las dimensiones-  
óptimas para un recipiente sujeto a presión, que tiene una-  
capacidad de  $4 \text{ m}^3$  son las siguientes:

L= longitud (2.50 M)

D= diametro (1.80 M)



Con éstos datos, haremos un análisis de los productos-  
que están en reacción para tener una referencia y así poder  
escoger el tipo de material de construcción que se utiliza-  
rá en la fabricación.

El Tolueno, metil benceno o fenilmetano; se obtiene de-  
alquitrán de hulla y del gas de coquerías. Industrialmente-  
se le conoce como "Toluol". Se utiliza en la fabricación de  
ácido benzoico y otro tipo de colorantes y de explosivos.

El Tolueno lo podemos trabajar por medio de aluminio,  
acero dúctil, acero inoxidable y de acero al carbón, materia-  
les que contrarrestan los efectos que produce en cuanto a-  
corrosión.

El Oxígeno es un gas altamente corrosivo, por lo que-  
al escoger el material de construcción, se tendrá que utili-  
zar un acero altamente resistente como el acero al carbón-  
o el acero inoxidable.

El Hidrógeno es un gas incoloro y explosivo, pero que-  
resiste a la corrosión si se utiliza acero en cualquier de  
sus presentaciones.

El Acido Benzoico o ácido Bencen carboxílico, es el -  
principal producto obtenido en el proceso, es el resulta



do de la oxidación del tolueno. Su comportamiento químico es similar a la de los ácidos monocarboxílicos. Esta característica hace que podamos utilizar cualquier tipo de material como el acero en cualquier presentación, el níquel, bronce, etc.

## CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Por cuestiones de economía y sabiendo que el Acero al Carbono puede usarse para la fabricación del ácido Benzoico si ocasionar ningún problema sobre corrosión, erosión, etc., tomaremos las siguientes consideraciones de diseño:

- a) El reactor será construido con material de Acero al Carbono SA-285 grado "A" con un rendimiento mínimo especificado de 24 y una tensión mínima especificada de 45000 y un valor de esfuerzo máximo de 11200 psi ("S")
- b) Tendrá además una eficiencia de juntas "E" = 0.85; si utilizamos la técnica de radiografiado en puntos (de acuerdo a UW-12 (b), UW-52, usando doble soldadura, dentro y fuera)

Por medio del radiografiado obtenemos una inspección general efectiva. Se realizará directamente después de ser soldado, ya sea completamente o bien, la unidad completa, ya que si el examen no es satisfactorio podemos corregirlo hasta llegar a los resultados deseados. Un punto será examinado en los primeros 50 pies de la soldadura de cada recipiente y cada punto será examinado por cada 50 pies de soldadura adicional (UW-12).

- c) Presión de Operación = 294 psi (20 atm) a 320°F (160°C)  
Longitud = 2500 mm (2.50 m)  
Diámetro exterior = 1600 mm (1.60 m)

Presión de diseño, corresponde a un 16% de la presión de trabajo, la cual por lo general es igual a la presión de trabajo máxima permisible.

Presión de trabajo = 20 atm  $\pm$  16% = 23 atm presión de diseño.

$$\frac{14.6 \text{ lb/in}^2}{1 \text{ atm}} \times 23 \text{ atm} = 338.72 \text{ psi (23.2 atm)}$$

#### MEMORIA DE CALCULO PARA EL RECIPIENTE SUJETO A PRESION PARA LA PRODUCCION DE AC. BENZOICO

Espesor para placas del cuerpo en Acero al Carbón tomando en cuenta el diámetro exterior del recipiente:

Antes de comenzar con la memoria del cálculo, es necesario hacer hincapié que todas las fórmulas que se usan dentro del código A.S.M.E. sección VIII división 1, vienen expresadas en unidades inglesas, por lo que los cálculos siguientes serán manejados en el sistema Inglés, traduciendo los resultados al sistema Métrico Decimal.

Diámetro Exterior = 160 cm ó 63 inch.

Radio Exterior =  $63/2 = 31.5$  inch.

ESPESOR

$$t = \frac{P R_o}{SE + 0.4 P} \quad \text{UG- 27}$$

t = espesor, inch

P = presión de diseño, psi

R<sub>o</sub> = radio exterior, inch

S = valor del esfuerzo máximo, psi

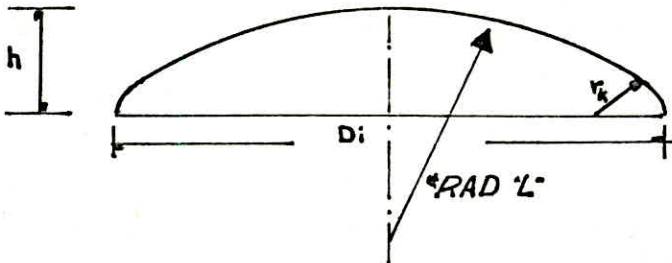
E = eficiencia de junta

SUSTITUYENDO VALORES

$$t = \frac{(338.7 \text{ psi}) (31.5 \text{ inch})}{(11200)(0.85) + 0.4 (338.7 \text{ psi})} = 1.10 \text{ inch}$$

$$t = 2.81 \text{ cm (placas del cuerpo)}$$

Para la parte superior e inferior usaremos tapas toriesféricas o tapas A.S.M.E.



$D_i$  = diámetro interior

$h$  = altura de tapa

$r_k$  = radio núcleo

Las tapas estándar A.S.M.E. son aquellas en las cuales el núcleo mínimo del radio es igual al 6% del radio de la corona interna, pero no es menor que tres veces el espesor de éste. Además la longitud "L" no debe exceder de  $D + 2t$ .

Para las tapas toriesféricas  $r_k = 3t$  ;  $L = D_i$  y el volumen es aproximadamente de  $0.153 h D_i^2$ , con un error de  $\pm 8\%$ .

$$D_i = D_o - \text{espesor}$$

$$D_i = 63 \text{ inch} - 2(1.10 \text{ inch}) = 60.8 \text{ inch}$$

$$D_i = 154.432 \text{ cm}$$

Para nuestro caso, como se mencionó anteriormente, la longitud es igual al diámetro interior.

$$L = D_i$$

$$L = 154.432 \text{ cm}$$

El espesor de las tapas se calcula por medio de la fórmula siguiente, extraída del código:

$$t = \frac{0.885 PL}{SE - 0.1 P}$$

UG-32 (e)

DONDE

$t$  = espesor, inch

$P$  = presión de diseño, psi

$L$  = longitud, inch

$S$  = valor del esfuerzo máximo (acero - al carbón), psi



E = eficiencia de soldadura (radiografía -  
do por puntos)

SUSTITUYENDO TODOS LOS VALORES CORRESPONDIENTES:

$$t = \frac{(0.885)(338.7 \text{ psi})(60.8 \text{ inch})}{(11200)(0.85) - 0.1(338.7 \text{ psi})} = 1.92$$

$$t = 1.92 \text{ inch}$$

$$t = 4.88 \text{ cm}$$

Con el valor del espesor procedemos a calcular el radio -  
del núcleo,  $r_k$ .

$$r_k = 3t \quad \therefore \quad r_k = 3 (1.92) = 5.76 \text{ inch}$$

$$r_k = 14.63 \text{ cm}$$

El resultado anterior es el máximo valor que puede llegar  
a tener el radio del núcleo, por lo que también tendrá un valor  
mínimo, que corresponderá al 6% del valor máximo.

$$\frac{14.63}{100\%} \times 6\% = 0.87 \text{ cm}$$

de ésta manera,  $r_k = 0.06 L$ , donde  $L$  = longitud = diámetro in-  
terior.

$$r_k = 0.06 (60.8) = 3.648 \text{ inch}$$

$$r_k = 9.265 \text{ cm}$$

Cabe hacer mención que según cálculos anteriores, observa-  
mos que al escoger como material de construcción el Acero al -  
Carbón SA-285 grado "A", con un esfuerzo de tensión de 11200 -  
psi y una eficiencia de soldadura de 0.85, los resultados obte-  
nidos para espesores son muy grandes, y poco comunes, ya que no  
son espesores de placas que podamos encontrar en el mercado, -  
por lo cual se tendrían que fabricar especialmente para su uso

encontrándose el problema de que dichas placas tendrían - que ser fabricadas por medio de planchas especiales para darles el espesor requerido, lo cual resulta incosteable. Para evitar este problema, hemos decidido buscar otro tipo de material para su fabricación el cual nos reduzca el espesor de las placas y que además tuviera un valor de esfuerzo máximo superior, para que aunque sea más delgada lnos soporte toda la presión a la que está sujeta.

Por las características que tienen los productos que manejamos y teniendo en cuenta las condiciones que queremos obtener, utilizaremos Acero Inoxidable 304, el cual tiene un valor de esfuerzo máximo de 29907 psi, pudiendo utilizar una eficiencia de soldadura de 1.0, usando también - la técnica de radiografiado por puntos (UW-12, UW-52) con doble soldadura dentro y fuera. Además se examinará el material como en el caso anterior, cada 50 pies de soldadura y con las mismas condiciones.

Este ejemplo nos ilustra la forma y las características que debe cumplir un material que constituya la base - de la construcción de algún tipo de equipo industrial, como es en este caso un reactor.

Los cálculos anteriores los consideraremos obsoletos procediendo a realizar nuevamente todos los cálculos pero con Acero Inoxidable 304 y observaremos las diferencias y las ventajas obtenidas con el uso de éste.

Espesores para placas de Acero Inoxidable con respecto al diámetro Exterior:

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

UG-27 (c)

Diámetro exterior = 1.60 m ó 63 inch

$$t = \frac{(338.7 \text{ psi})(31.5 \text{ inch})}{(29907 \text{ psi})(1.0) + 0.4(338.7 \text{ psi})} =$$

$$t = 0.3551 \text{ inch}$$

$$t = 0.9020 \text{ cm}$$

Espesor para las tapas toriesféricas, usando Acero Inoxi -  
dable 304, será:

$$t = \frac{0.885 \text{ PL}}{\text{SE} - 0.1 \text{ P}} \quad \text{UC-32 (e)}$$

Donde la longitud es igual al diámetro e igual a 62.2 inch  
por lo tanto, sustituyendo valores, nos dará:

$$t = \frac{0.885(338.7 \text{ psi})(62.28 \text{ inch})}{(29907 \text{ psi})(1.0) - 0.1(338.7 \text{ psi})} =$$

$$t = 0.6250 \text{ inch}$$

$$t = 1.58 \text{ cm}$$

Los límites superior e inferior para el núcleo del radio-  
 $r_k$  para éste caso vendrán dados por los valores siguientes:

$$r_k = 3t \quad \therefore \quad r_k = 3(0.610) = 1.83 \text{ inch}$$

$$r_k = 4.64 \text{ cm} \quad \text{correspondiente al límite -} \\ \text{máximo.}$$

$$\text{Y } \frac{4.62}{100\%} \times 6\% = 0.278 \text{ cm} \quad \text{correspondiente al lí -} \\ \text{mite mínimo.}$$

Por lo tanto, el valor real del radio del núcleo será igual  
a :

$$r_k = 0.06 \text{ L} \quad \therefore \quad r_k = 0.06 (62.28 \text{ inch})$$

$$r_k = 3.737 \text{ inch}$$

$$r_k = 9.50 \text{ cm}$$

Calculando los volúmenes, tanto para cuando usamos Acero -  
al Carbón como para cuando usamos Acero Inoxidable, de la mane-  
ra siguiente:



$$\text{Volúmen parte recta} = \pi r^2 h \quad (\text{acero al carbón})$$

$$\text{Donde } V = \text{volúmen, m}^3$$

$$r = \text{radio, m}$$

$$h = \text{altura, m}$$

$$\therefore V = 3.1416 (0.77 \text{ m})^2 (2.0 \text{ m})$$

$$V = 3.7253 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen tapa toriesférica} = 0.0809 D_i^3$$

$$\text{DONDE } D_i = \text{diámetro interior, m}$$

$$\therefore V = 0.0809 (1.54 \text{ m})^3$$

$$V = 0.29547 \text{ m}^3$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = \text{Volúmen parte recta} + \text{Volúmen tapa}$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 3.7253 \text{ m}^3 + 2(0.29547 \text{ m}^3)$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 4.31 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen parte recta} = \pi r^2 h \quad (\text{acero inoxidable 304})$$

$$\text{Donde } V = \text{volúmen, m}^3$$

$$\therefore V = 3.1416 (0.79)^2 (2.0)$$

$$V = 3.9213 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen tapa toriesférica} = 0.0809 D_i^3$$

$$\text{Donde } D_i = \text{diámetro interior, m}$$

$$V = 0.0809 (1.58 \text{ m})^3$$

$$V = 0.3190 \text{ m}^3$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = \text{Volúmen parte recta} + \text{volúmen tapa}$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 3.9213 \text{ m}^3 + 2(0.3190)$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 4.5 \text{ m}^3$$

Por lo que observamos que los dos volúmenes calculados -  
anteriormente, coinciden aproximadamente con el volúmen que cal-  
culamos en tablas.

Conociendo la parte interna y la parte externa del recipiente, ahora veremos cuales son las condiciones que nos marca el problema para tener las bases del diseño.

Para la producción de Acido Benzoico es necesario primero introducir el Tolueno a temperatura ambiente, es decir, a  $20^{\circ}\text{C}$  y para que la reacción se lleve a cabo a  $160^{\circ}\text{C}$ , es necesario encontrar una forma especial para calentarlo. Para ello utilizaremos una chaqueta especial llamada "Dimpled Jacket".

Dentro de la chaqueta circulará vapor de agua a  $180^{\circ}\text{C}$  y con una presión de  $10.225 \text{ Kg/cm}^2$  (145 psi), por lo cual  $\lambda = 481 \text{ Kcal/Kg}$ .

Haciendo un balance de energía para conocer la cantidad de vapor necesaria para llevar a cabo la transferencia de calor:

$$q = m_1 c_p \Delta t = m_2 \lambda$$

Donde

$$m_1 = \text{masa de tolueno, } 188.33 \text{ Kg } (20^{\circ}\text{C})$$

$$m_2 = \text{masa de vapor, Kg}$$

$$c_p = 0.41 \text{ K cal/kg } ^{\circ}\text{C}$$

SUSTITUYENDO

$$(140^{\circ}\text{C})(188.33 \text{ Kg})(0.41 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C}) = m_2 (481 \text{ Kcal/Kg})$$

$$m_2 = 22.4743 \text{ Kg de vapor de agua}$$

Estos Kg de vapor son los necesarios para llevar a cabo la transferencia.

El vapor a  $180^{\circ}\text{C}$  y a  $10.225 \text{ Kg/cm}^2$  de presión ocupa un volumen de  $0.1939 \text{ m}^3/\text{kg}$ . De ésta manera, los  $22.4743 \text{ Kg}$  de vapor ocupan un volumen de:

$$\frac{0.1939 \text{ m}^3}{1 \text{ Kg vapor}} \times 22.4743 \text{ Kg de vapor} = 4.3577 \text{ m}^3$$

Para calcular la chaqueta, recurriremos a otro tipo de información, ya que el código no contiene reglas para cubrir todos los detalles de construcción y diseño de chaquetas y sólo se limita a describirlas. Por la razón anterior los cálculos se han completado por medio de un estudio sobre la transferencia de calor obtenidos del libro "Procesos de Transferencia de Calor" escrito por Donald Q. Kern.

En primera instancia, para la transferencia de calor de vapor de agua condensada en una chaqueta a agua hirviendo, y tomando en cuenta que el proceso se lleva a cabo por lotes y con agitación, no hay régimen constante, por lo que sí existe una diferencia de temperatura durante el proceso.

Para calentamiento de hidrocarburos ligeros (de viscosidad menor a 0.5 centipoises, donde se encuentra el benceno, el tolueno y otros) el coeficiente de transferencia Total para el diseño " $U_D$ " total será de 75 BTU/hr  $^{\circ}$ F ft<sup>2</sup> (370 Kcal/hr m<sup>2</sup>  $^{\circ}$ C). Este valor incluye un factor de obstrucción total de 0.003 y una caída de presión permisible de 5 a 10 lb/in<sup>2</sup>.

La fórmula para calcular el peso de fluido caliente (vapor) en Kg/hr, teniendo en cuenta los datos anteriores:

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} = \frac{W_c}{MC} \left[ \frac{K_1 - 1}{K_1} \right] \theta$$

$$\text{Y } K_1 = e^{UA/WC}$$

Donde

$T_1$  = Temperatura del vapor

$t_1$  = Temperatura inicial del tolueno

$t_2$  = Temperatura final del tolueno

C = Calor específico del fluido caliente



c = calor específico del fluido frío

W = peso del flujo de fluido caliente

w = peso del flujo de fluido frío

$\theta$  = tiempo de residencia

Gravedad específica del tolueno..... 0.866  $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$

Calor específico tolueno.....0.41 Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$

Coef. total de transferencia,,,,,.....370Kcal/hr m $^{2\circ}\text{C}$

Datos Adicionales:

Calor específico del fluido caliente = 0.47 Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$

Calor específico del fluido frío = 0.41 Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$

densidad del tolueno = 0.866 g/cm $^3$

A = área total de la transferencia

Area de la parte recta:  $A = 2\pi r h$

basandonos en el radio exterior:

$$A = 2(3.1416)(0.80)(2.0)$$

$$A = 10.05\text{m}^2$$

Area de la tapa toriesférica ;que obtenemos de la siguiente -  
ecuación:

$$A = 0.30 \pi D^2$$

$$A = 0.30 (3.1416)(1.60)^2$$

$$A = 2.4127 \text{ m}^2$$

$$\therefore \text{AREA TOTAL DE TRANSFERENCIA} = 10.05 \text{ m}^2 + 2.4127 \text{ m}^2 =$$

$$\text{AREA TOTAL DE TRANSFERENCIA} = 12.4627 \text{ m}^2$$

$$\text{AREA DE TRANSFERENCIA TOTAL} = 134.1477 \text{ ft}^2$$

También calcularemos el tiempo de residencia necesario pa  
ra llevar a cabo la transferencia(obtenida del libro de Proce-  
sos de Transferencia de Calor)

$$\theta = \frac{mc_p}{UA} \ln \left[ \frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} \right]$$

$$\theta = \frac{(188.33)(0.47)}{(370)(12.462)} \ln \left[ \frac{180 - 20}{180 - 160} \right]$$

$$\theta = 0.040 \text{ hr} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} = 2.4 \text{ minutos}$$

Ahora podemos sustituir en la ecuación anterior para calcular el peso del flujo del fluido caliente.

De la fórmula principal, despejaremos W, para determinar el peso, quedando:

$$W = \ln \frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} \left[ \frac{K_1}{K_1 - 1} \right] \frac{Mc}{C\theta}$$

En un tiempo de residencia de 3 minutos (dato calculado anteriormente) la transferencia se lleva a cabo muy rápidamente y sería poco eficiente, ya que no sería posible que en fluido a calentar llegase a la temperatura deseada, por lo cual se tomará un tiempo de residencia de 15 minutos, tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de 160°C deseada.

$$W = \ln \frac{180 - 20}{180 - 160} \left[ \frac{(188.33)(0.41)}{(0.25)} \right] \frac{e^{370(12.46)/W}}{e^{370(12.46)/W} - 1}$$

$$W = \frac{642.26 e^{4611.19/W}}{e^{4611.19/W} - 1}$$

$$\ln \left[ \frac{\frac{W}{e^{4611.19/W}}}{\frac{W}{e^{4611.19/W}}} \right] = 6.465$$

$$W = 713.256 \text{ Kg/hr}$$

$$W = 1572.4338 \text{ lb/hr}$$

$$\therefore K_1 = e^{4611.19/713.256}$$

$$K_1 = 642.267$$

El peso del flujo de fluido es necesario para hallar el -  
 volúmen indispensable de la chaqueta por la cual circulará el-  
 vapor para llevar a cabo la transferencia de calor. La ecuación  
 que nos relaciona al peso del fluido con su densidad, se denomi-  
 na Gasto la cual será:

$$Q = 0.125 \frac{W}{\rho}$$

$$\rho = 1 \text{ lb/ft}^3$$

$$W = 1 \text{ lb/hr}$$

La densidad del vapor de agua a  $180^\circ\text{C}$  es de  $0.8866 \text{ g/cm}^3$  -  
 o  $55.323 \text{ lb/ft}^3$ .

$$Q = 0.125 \frac{1572.433}{55.323} = 3.5528 \text{ gal/min}$$

$$Q = 0.8068513 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Podemos denominar a "Q" en éste caso como velocidad volu-  
 métrica. El volúmen real que ocupa el vapor durante un determi-  
 nado tiempo de residencia es:

$$\theta = \frac{\text{volumen}}{\text{velocidad volumétrica}}$$

$$\text{Volúmen} = \text{tiempo de residencia} \cdot \text{velocidad volumétrica}$$

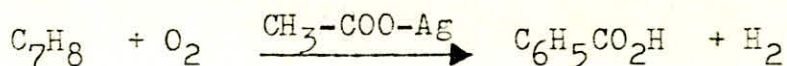
$$\text{Volúmen} = 0.2017128 \text{ m}^3$$

El proceso determina primeramente que, antes de comenzar -  
 la reacción de formación del ácido Benzoico, se calienten los -  
 reactivos (tolueno, etc.) de temperatura ambiente hasta  $160^\circ\text{C}$  -  
 momento en el cual se empieza a burbujear el aire a  $160 \text{ l/hr}$  -  
 y principia la formación del ácido.

La reacción de oxidación del tolueno, es una reacción exp



térmica determinada por:



Calcularemos el calor de la reacción que se desprende por medio de las energías de enlace de los reactivos.

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{\text{enlaces rotos}} - \Delta H_{\text{enlaces formados}}$$

$$\Delta H = \text{Calor de Reacción en Kcal/mol}$$

a) Enlaces Rotos:

$$3 \text{ enlaces } \text{C} - \text{H} \quad \text{H} = 99 \text{ Kcal/mol}$$

$$1 \text{ enlace } \text{O} = \text{O} \quad \text{H} = 118 \text{ Kcal/mol}$$

b) Enlaces Formados:

$$1 \text{ enlace } \text{C} = \text{O} \quad \text{H} = 170 \text{ Kcal/mol}$$

$$1 \text{ enlace } \text{C} - \text{O} \quad \text{H} = 84 \text{ Kcal/mol}$$

$$1 \text{ enlace } \text{O} - \text{H} \quad \text{H} = 111 \text{ Kcal/mol}$$

$$1 \text{ enlace } \text{H} - \text{H} \quad \text{H} = 104 \text{ Kcal/mol}$$

SUSTITUYENDO:

$$\Delta H_{\text{total}} = (3(99) + 118) - (170 + 84 + 111 + 104)$$

$$\Delta H_{\text{total}} = - 54 \text{ Kcal/mol}$$

El signo menos nos indica que la reacción desprende una cantidad de 54 Kcal, lo cual indicará una reacción exotérmica.

Por cada carga se fabricarán 250 Kg de ácido benzoico, de esta manera:

$$250 \text{ Kg de ác. benzoico} \times \frac{1 \text{ mol}}{0.12212 \text{ Kg}} = 2047.16 \text{ mol-}$$

$$\frac{2047.16 \text{ mol de ác. benz.}}{100\%} \times 80\% = 1637.73 \text{ mol de ácido}$$

$$- \frac{54 \text{ Kcal}}{1 \text{ mol}} \times 1637.73 \text{ mol} = - 88\,437.60 \text{ Kcal}$$

$$- \frac{88\,437.60 \text{ Kcal}}{1 \text{ carga}} \times \frac{1 \text{ carga}}{6 \text{ horas}} = - 14739.57 \text{ Kcal/hr}$$

∴ El calor desprendido de la reacción será 14739.57 Kcal/hr

Como existe una cantidad de calor de 14739.57 Kcal, también tendremos que utilizar un medio adecuado para contrarrestar los efectos producidos por éste, para lo cual usaremos una chaqueta por donde circulará agua fría o agua de enfriamiento.

Al comenzar el proceso, se necesitó de vapor para calentar los productos, ahora usaremos otra para absorber el calor desprendido de la reacción por medio de agua fría. Por lo cual será necesario calcular el volumen que ocupará ésta y compararlo con el volumen utilizado para el vapor, para trabajar de ésta manera con las condiciones más críticas para obtener un mejor rendimiento.

En estas condiciones, la ecuación para cuando se utiliza un medio enfriante no isotérmico es:

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} = \frac{W C}{M C} \left[ \frac{K - 1}{K} \right] \theta$$

esta ecuación toma en cuenta que el recipiente es un lote agitado.

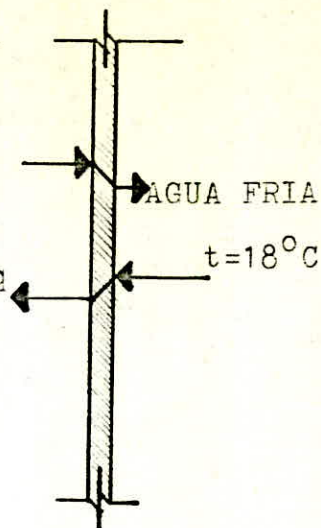
Esta forma de enfriamiento se lleva a cabo durante todo el tiempo de operación del reactor, es decir, que de las 6 horas que dura la producción del lote, utilizamos 1.2 horas para mantenimiento y descarga, y 15 minutos para calentamiento de los reactantes, por lo que el enfriamiento se utilizará durante las cinco horas restantes aproximadamente.

# REACCION ACIDO BENZOICO

$$t = 160^{\circ}\text{C}$$

$$H = - 14\,739.57 \text{ kcal} = q$$

Acero Inoxidable 304



Balance de Energía

$$q = k A \Delta t$$

$k$  = conductividad calorífica  
del acero Inox. 304

$$k = 16 \text{ Kcal/m hr } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{q}{k A}$$

$$\Delta t = \frac{14\,739.57 \text{ Kcal/hr}}{\frac{16 \text{ Kcal}}{\text{m hr } ^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{10.84 \text{ m}^2}{0.00902 \text{ m}}} = 0.766^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$t_2 = 19^{\circ}\text{C}$$

Tamnbien

$$q = U_d A \Delta t$$

$$\Delta t = q / U_d A$$

donde  $U_D$  para el enfriamiento con agua, teniendo en cuenta que la densidad del Acido Benzoico es 1.02942, por consiguiente, a  $160^{\circ}\text{C}$  se considerará como una sustancia orgánica media y su valor será de  $U_D = 427.21 \text{ Kcal/hr m}^2 ^{\circ}\text{C}$  - (87.5 BTU/hr  $\text{ft}^2 ^{\circ}\text{F}$ )

$$t = \frac{14739.57 \text{ Kcal/hr}}{\frac{427.21 \text{ Kcal}}{\text{hr m}^2 ^{\circ}\text{C}} \cdot 12.4627 \text{ m}^2} = 2.7684^{\circ}\text{C}$$



$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$t_2 = 21^{\circ}\text{C}$$

La ecuación utilizada cuando se tiene un medio enfriante es la siguiente:

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} = \frac{W C}{MC} \left[ \frac{K_1 - 1}{K_1} \right] \theta$$

$$W = \ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} \left[ \frac{K_1}{K_1 - 1} \right] \frac{MC}{C\theta}$$

Siendo;

$$K_1 = e^{UA/WC}$$

$$\text{y } \theta = 0.25 \text{ horas}$$

SUSTITUYENDO VALORES

$$K_1 = e^{427.21 (12.4727)/W}$$

$$W = \ln \frac{18 - 160}{22 - 160} \left[ \frac{(250)(0.424)}{(0.25)(0.424)} \right] \frac{e^{5324.19/W}}{e^{5324.19/W} - 1}$$

$$W = \frac{28.5733 e^{5324.19/W}}{e^{5324.19/W} - 1}$$

$W = 1588.1382 \text{ Kg/hr}$  de agua de enfriamiento a 1 atm de presión y a  $18^{\circ}\text{C}$ , con una densidad de  $998.5 \text{ Kg/m}^3$  y una capacidad calorífica igual a  $1.00 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$

El calor específico del ácido benzoico se tomó igual a  $0.424 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ .

$$W = 3501.1865 \text{ Lb/hr}$$

Observando que se requiere mayor cantidad de agua de enfriamiento que vapor por hora, por lo que los cálculos para el volumen de la chaqueta, los espesores de pared, etc. se realizarán en base al agua de enfriamiento que constituye las condi -

ciones críticas.

#### CALCULO DEL VOLUMEN DE LA CHAQUETA

Primeramente calcularemos el gasto en  $\text{m}^3/\text{hr}$  de agua. Densidad -  
del agua a  $18^\circ\text{C} = 1.00 \text{ Kg}/\text{m}^3$  o  $62.4 \text{ Lb}/\text{ft}^3$

$$Q = 0.125 \left[ \frac{3501.1865 \text{ Lb}/\text{hr}}{62.4 \text{ Lb}/\text{ft}^3} \right] = 7.0136 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\frac{7.0136 \text{ gal}}{1 \text{ minuto}} \times \frac{3.785 \text{ lt}}{1 \text{ galón}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} =$$

$$= 1.5927873 \text{ m}^3/\text{hr}$$

El volúmen será por lo tanto:

$$\hat{e} = \frac{\text{Volúmen}}{\text{Gasto}}$$

$$\text{Volúmen} = (0.25 \text{ horas})(1.5927873 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$\text{Volúmen} = 0.398196 \text{ m}^3$$

Comparando los dos volúmenes, para vapor y para agua de enfriamiento:

$$\text{a) Volúmen de Vapor} = 0.2017128 \text{ m}^3$$

$$\text{b) Volúmen de Agua de Enfriamiento} = 0.398196 \text{ m}^3$$

por lo que ya teniendo las referencias anteriores procederemos a calcular el volúmen total del recipiente, incluyendo recipiente interior y chaqueta.

$$\text{Volúmen total} = \text{Volúmen real interior} + \text{volúmen de la chaqueta}$$

$$\text{Volúmen total} = 4 \text{ m}^3 + 0.398196 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen total} = 4.398196 \text{ m}^3$$

Para calcular el ancho de la chaqueta utilizaremos el mé-

todo por aproximaciones sucesivas, sabiendo que:

$$V_t = \pi r^2 h + 0.0809 D_i^3$$

$$V_t = 4.398196 \text{ m}^3$$

La altura "h" se determina, de acuerdo con el código de la manera siguiente:

Longitud = 2.0 m                      parte recta del recipiente

altura tapa = 0.25 m              ( h )

$$1/3 h = 0.0833 \text{ m}$$

$$\therefore h = 2.0 + 2(0.0833)$$

$$h = 2.16 \text{ m}$$

A partir del volumen total, conociendo que el radio interior del tante es 0.80 m y el diámetro interior es de dos veces el radio interior, la anchura de la chaqueta la calcularemos por medio de aproximaciones sucesivas de la manera siguiente:

1.- suponemos que  $J = 0.10 \text{ mts}$

$$\text{radio} = 0.80 + 0.10 = 0.90 \text{ m}$$

$$V_t = \pi (0.90)^2 (2.16) + 0.0809 (1.8)^3$$

$$V_t = 5.96 \text{ m}^3$$

2.- suponemos que  $J = 0.05 \text{ m}$

$$\text{radio} = 0.80 + 0.05 = 0.85 \text{ m}$$

$$V_t = 5.3 \text{ m}^3$$

3.- suponemos que  $J = 0.04 \text{ m}$

$$\text{radio} = 0.80 + 0.04 = 0.84 \text{ m}$$

$$V_t = 5.17$$

4.- suponemos que  $J = 0.03 \text{ m}$

$$\text{radio} = 0.80 + 0.03 = 0.83 \text{ m}$$

$$V_t = 4.9 \text{ m}^3$$

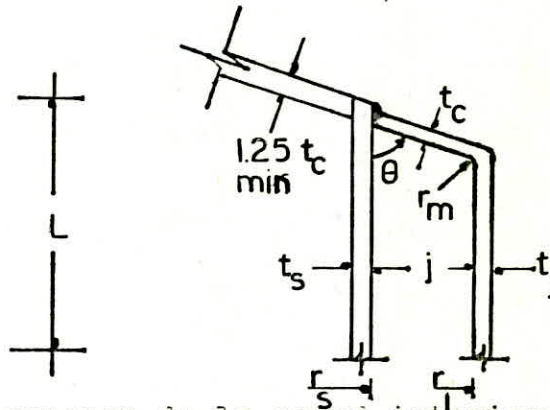
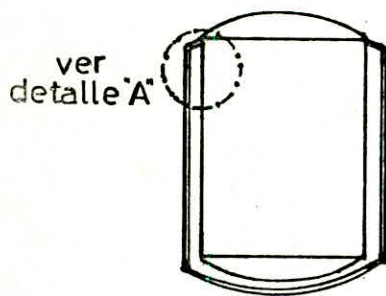


5.- suponemos que  $J = 0.02$  m

$$\text{radio} = 0.80 + 0.02 = 0.82 \text{ m}$$

$$V_t = 4.7 \text{ m}^3$$

Usaremos una anchura de  $J=2$  cms para tener una tolerancia de  $\pm 1.08\%$  y de esta manera contrarrestar los efectos de expansión térmica que son producidos por las diferencias de temperaturas. Por lo tanto queda el siguiente esquema:



DETALLE  
"A"

Donde  $t_s$  = espesor de la pared interior, m

$t_j$  = espesor de la pared exterior de la chaqueta, m

$t_c$  = espesor de la cubierta, m

$r$  = radio de la esquina toriesférica, m

$j$  = anchura de la chaqueta, m  $J = R_j - R_s$

$R_s$  = radio exterior del interior del recipiente, m

$R_j$  = radio interior de la chaqueta, m

Como sabemos  $J = R_j - R_s$

$$R_j = R_s + J$$

$$R_j = 0.80 + 0.02$$

$$R_j = 0.82 \text{ m}$$

6  $R_j = 32.3 \text{ inch}$

Para la chaqueta, los espesores de tapa y de cuerpo, se deter

minan de la misma forma que para los espesores del recipiente interior que ya calculamos anteriormente.

Usaremos en primera instancia Acero al Carbón SA-285 grado "A", y después haremos la comparación de los mismos espesores si se utilizara para su construcción Acero Inoxidable 304-que, como notamos anteriormente, nos da menores espesores y mejores rendimientos, ya que tiene un valor de esfuerzo máximo superior al del acero al carbón.

Según los reglamentos del código, los espesores son:

$$t_j = \frac{P R}{SE - 0.6 P} \quad \text{UG-32}$$

$$t_j = \frac{(14.7 \text{ psi})(32.3 \text{ inch})}{(11200)(0.85) - 0.6(14.7 \text{ psi})} = 0.05 \text{ in}$$

$$t_j = 0.13 \text{ cm}$$

El espesor de la cubierta:

$$t_c = \frac{0.885 PL}{SE - 0.1 P} \quad \text{UG-32 (e)}$$

$$t_c = \frac{0.885(14.7 \text{ psi})(64.6 \text{ in})}{11200(0.85) - 0.1 (14.7 \text{ psi})} = 0.09 \text{ in}$$

$$t_c = 0.25 \text{ cm}$$

para ésta ecuación la longitud L es igual al diámetro interior  $D_i = 2(R_j) = 2(32.3 \text{ in}) = 64.6 \text{ inch}$ . El valor obtenido de  $t_c$  es mucho mayor que el espesor  $t_j$  ya que éste constituye el punto donde ocurren con más fuerza los efectos de expansión térmica.

El radio mínimo corresponde a 2 veces el espesor de la cubierta:

$$r_{\min} = 2 (t_c)$$

$$r_{\min} = 2(0.9) = 1.8 \text{ inch}$$

$$r_{\min} = 0.5 \text{ cm}$$

y el espesor mínimo de la parte superior recta es:  $1.25 t_c$

$$1.25 (0.09) = 0.1125 \text{ inch}$$

$$= 0.30 \text{ cm}$$

En Acero inoxidable 304 los espesores quedan determinados por las siguientes expresiones:

Para la pared exterior:

$$t_j = \frac{P R}{SE - 0.6 P} \quad \text{UG-32}$$

donde  $S = 29\,907 \text{ psi}$

$$E = 1.0$$

$$t_j = \frac{(14.7 \text{ psi})(32.3 \text{ in})}{(29907)(1) - 0.6(14.7 \text{ psi})}$$

$$t_j = 0.0158 \text{ inch}$$

$$t_j = 0.0403 \text{ cm}$$

Espesor de la cubierta:

$$t_c = \frac{0.885 P L}{SE - 0.1 P} \quad \text{UG-32 (e)}$$

$$t_c = \frac{0.885 (14.7 \text{ psi})(64.6 \text{ in})}{(29907)(1) - 0.1 (14.7 \text{ psi})} =$$

$$t_c = 0.028 \text{ inch}$$

$$t_c = 0.07115 \text{ cm}$$

El radio mínimo será:

$$r_{\min} = 2(t_c)$$

$$r_{\min} = 2 (0.07115)$$



$$r_{\min} = 0.056 \text{ inch}$$

$$r_{\min} = 0.1423 \text{ cm}$$

El espesor mínimo de la parte superior recta =  $1.25 t_c$

$$1.25 (0.07115) = 0.889375 \text{ cm}$$

$$= 0.035 \text{ inch}$$

Conociendo ya todos los requisitos de material, espesores y dimensiones de todo el recipiente enchaquetado, tanto de acero al carbón como de acero inoxidable, se procederá a calcular las dimensiones de las boquillas de entrada y salida de nuestros productos.

Como todos los cálculos anteriores, nos basamos en las condiciones más críticas que se presentaban usando agua de enfriamiento, también las aberturas tendrán base en lo anteriormente dicho.

De las tablas del "Manual de Diseño de Tuberías" podemos obtener las ecuaciones que nos relacionan las velocidades típicas en tuberías de acero.

Para agua de enfriamiento, la velocidad típica es de 6.5 - ft/seg. El diámetro inicial puede determinarse por medio de la velocidad para un tipo específico, y viene dada por:

$$d^2 = 0.408 (Q/v)$$

Datos

$$Q = \text{gasto}, 7.0136 \text{ gal/min}$$

$$v = \text{velocidad}, 6.5 \text{ ft/seg}$$

SUSTITUYENDO

$$d^2 = 0.408 (7.0136/6.5)$$

$$d = 0.6635 \text{ inch}$$

$$d = 1.6853 \text{ cm}$$

Para un diámetro de una pulgada, el factor de fricción en-

en la tubería, obtenido también de las tablas del mismo manual-  
será determinado a partir del Número de Reynolds que nos dirá-  
el tipo de flujo que se maneja dentro de la tubería.

$$N_{Re} = \frac{D v_e}{\mu} = 6.31 (W/d \mu)$$

$$\mu_{\text{agua}} = 1.12 \text{ c.p. a } 18^{\circ}\text{C}$$

$$N_{Re} = 6.31(3501.1865) / (0.66)(1.12)$$

$$N_{Re} = 29\,887.021 \quad \therefore \quad \text{Flujo Turbulento}$$

NOTA De la figura no.5 del manual mencionado (pág 65) el fac-  
tor de fricción con éste valor del número de Reynolds y-  
el diámetro de la tubería es igual a 0.023 en tubería de  
acero comercial.

El manual considera que tanto el vapor como el agua de en-  
friamiento tienen un factor de seguridad ya incluido que puede  
ir desde 1.25 hasta 1.5 dependiendo del tamaño de la tubería y  
de su tiempo de vida.

Otro tipo de accesorios que hay que considerar son

- a) Una mirilla de 8 pulgadas de diámetro
- b) Una válvula de seguridad de 24 pulgadas de diámetro
- c) Un registro de entrada hombre de 20 pulgadas de diámetro
- d) Un motor para agitación de 12 pulgadas de diámetro
- e) Una entrada de alimentación de catalizador de 1/2 pulgadas  
de diámetro

Entrada de aire a 160 lt/hr que equivale a 0.7045 gal/min requiere una boquilla de alimentación calculada a partir del-gasto y de su velocidad.

La densidad del aire es 0.0764 lb/ft<sup>3</sup>

$$Q = 0.125 ( W/e )$$

$$W = \frac{0.7045 (0.0764)}{0.125} = 0.4306 \text{ lb/hr}$$

$$W = 0.19532 \text{ Kg/hr}$$

conociendo el gasto (Q=0.7045) podemos extraer de fórmulas de el Manual de Diseño de Tuberías el diámetro de la tubería, a - una velocidad de 1.3 ft/seg (0.39624 m/seg) ;obteniéndose un - diámetro de 1/2 pulgadas.

Alimentación de Producto Se alimentan 188.33 Kg de to - lueno en cada carga. Basandonos en un estudio económico podre - mos determinar el tiempo necesario para poder introducir éste, en el menor tiempo posible, de manera que no desperdicie tiempo de producción. Consideraremos que el tiempo necesario para car - gar el reactor es de 10 minutos, considerando una velocidad - promedio de 3 ft/seg (0.9144 m/seg).

La densidad del Tolueno es 0.866 g/cm<sup>3</sup> ó 54.061 lb/ft<sup>3</sup>

$$\frac{188.33 \text{ Kg}}{0.166 \text{ hr}} = 1130.02 \text{ Kg/hr} \quad \text{ó} \quad 2491.23 \text{ lb/hr}$$

$$Q = 0.125 \left[ \frac{2491.23 \text{ lb/hr}}{54.061 \text{ lb/ft}^3} \right] = 6.80 \text{ gal/min}$$

$$d^2 = 0.408 ( Q/v )$$

$$d^2 = 0.408 ( 6.8 / 3 )$$

$$d = 0.961 \text{ inch} \approx 1 \text{ pulgada}$$

$$d = 2.54 \text{ cm}$$



Para descarga de ácido benzoico, sabiendo que se descargan 250 Kg, consideraremos que dicha operación se llevará a cabo en 30 minutos y con una velocidad de 3 ft/seg (0.9144 m/seg)

La densidad del ácido benzoico es de  $1.266 \text{ g/cm}^3$  ó  $78.99 \text{ lb/ft}^3$ .

$$\frac{250 \text{ Kg}}{0.5 \text{ horas}} = 500 \text{ Kg/hr} \quad \text{ó} \quad 1102.29 \text{ lb/hr}$$

$$Q = 0.125 (W/Q)$$

$$Q = 0.125 (1102.29/78.99)$$

$$Q = 1.75 \text{ gal/min}$$

$$d^2 = 0.408 (Q/v)$$

$$d^2 = 0.408 (1.75/3) = 0.23799 \text{ in}^2$$

$$d = 0.4878 \text{ inch} \approx 1/2 \text{ inch}$$

$$d = 1.25 \text{ cm}$$

Durante la reacción se desprenden vapores de hidrógeno, los cuales se deben desalojar del reactor para evitar cualquier problema de explosión durante dicho proceso, por lo cual es necesario colocar una abertura de descarga y poder mandar los vapores a un condensador.

Sabiendo que se desprenden  $0.02358 \text{ m}^3$  de hidrógeno colocando una tubería de 1/2 pulgada (1.25 cm) podemos resolver el problema del desalojo de éste, para darle un uso adecuado posteriormente.

Con lo anterior damos por concluido el diseño general del reactor para la producción de ácido benzoico con base en el código A.S.M.E. de Recipientes Sujetos a Presión, ya que como lo especifica éste, sólo se limita al establecimiento de reglas

para el diseño incluyendo sólo la primera conexión exterior a éste.

Sólo nos resta hacer un pequeño análisis de la soportería que se utilizará en éste caso, el cual estará sostenido sobre el piso y para el cual se usarán unas estructuras en forma de patas apoyadas sobre el piso, para lo cual es necesario obtener el peso total del recipiente tomado a partir del peso de las placas utilizadas para su construcción y del peso total del recipiente totalmente lleno de agua.

Tomando en cuenta que para el cuerpo utilizaremos placa de acero de 3/8", la cual tiene un peso de 75 Kg por cada  $m^2$ , para las tapas se utilizará placa de acero de 5/8", la cual pesa 125 Kg por cada  $m^2$ . En la elaboración de la chaqueta del recipiente utilizaremos placa de 3/16" tanto para el cuerpo como para la tapa inferior que cubre el reactor. La placa de 3/16" pesa 37.9 Kg por cada  $m^2$  de superficie. Por lo tanto tenemos:

|          |                    |                |              |   |                   |
|----------|--------------------|----------------|--------------|---|-------------------|
| CUERPO   | Placa 3/8"-----    | 75 Kg/ $m^2$   | x 3.2 $m^2$  | = | 240 Kg            |
| TAPAS    | Placa 5/8"-----    | 125 Kg/ $m^2$  | x 12.4 $m^2$ | = | 1557 Kg x 2       |
|          |                    |                |              |   | <u>3355.68 Kg</u> |
| CHAQUETA | Placa 3/16"-----   | 37.9 Kg/ $m^2$ | x 3.54 $m^2$ | = | 134.25 Kg         |
| TAPA     | Placa 3/16"-----   | 37.9 Kg/ $m^2$ | x 2.54 $m^2$ | = | <u>96.27 Kg</u>   |
|          |                    |                |              |   | <u>230.52 Kg</u>  |
|          | PESO TOTAL         |                |              |   | 3586.20 Kg        |
|          | Por Norma Francesa |                |              |   | 500.00 Kg         |
|          | (por accesorios)   |                |              |   | <u>4086.20 Kg</u> |

Podemos considerar que el peso anteriormente calculado corresponde al peso del recipiente totalmente vacío, pero para calcular el peso real de éste es necesario considerarlo total-

mente lleno de agua, es decir para las condiciones más críticas para lo cual es necesario considerar la densidad del líquido - igual a  $1000 \text{ Kg/m}^3$ , y recordando que la capacidad para la cual fué diseñado el reactor es de  $4 \text{ m}^3$ . (es decir al 100% de su capacidad)

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa (Peso)}}{\text{Volúmen}}$$

$$\text{Peso} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 4 \text{ m}^3 = 4000 \text{ Kg}$$

Este peso sumado al peso del recipiente vacío nos dá el - peso total de  $8086.107 \text{ Kg}$  ( =  $8.1$  Toneladas ).

A continuación, es necesario hacer un análisis de los fenómenos que se originan al tener dentro de un recipiente presionado, un líquido agitado y un gas producido durante la reacción los cuales ejercen una determinada presión es este, la que deberá tomarse en cuenta para diseñar la forma más adecuada de soportar el reactor sin que se originen averíos durante su operación.

Los datos mencionados a continuación serán los necesarios para el cálculo de la soportería:

Velocidad de Agitación "w" =  $150 \text{ R.P.M.}$  ( $15.73 \text{ rad/min}$ )

Peso esp. del ac. Benzoico =  $1.0294 \text{ gr/cm}^3$  ( $.0010294 \text{ Kg/cm}^3$ )

Presión de Hidrógeno =  $20.66 \text{ Kg/cm}^2$  ( $20 \text{ atm.}$ )

Altura del soporte =  $1.50 \text{ m}$



La presión de un fluido viene dada por la siguiente expresión:

$$P \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = \text{Densidad (Kg/cm}^3\text{)} \times \text{altura (cm)}$$

La forma de la superficie libre de un líquido que gira en el recipiente que lo contiene es un paraboloide de revolución. Cualquier plano vertical que pasa por el eje de revolución, corta a la superficie libre según la parábola que describe. La ecuación de la parábola es :

$$y = \frac{w^2}{2g} x^2$$

donde "x" es el radio del círculo que forma la parábola. Además "x" y "y" representan las coordenadas en metros de un punto genérico de la superficie medidas con el origen del vértice situado en el eje de revolución y "w" es la velocidad angular dada en radianes por segundo.

Por lo tanto, sustituyendo éste valor, en la ecuación que nos determina la presión, obtenemos:

$$P = d \frac{w^2}{2g} x^2$$

Como no hay variación de volumen en el gas interior al recipiente, se deduce que el volumen del paraboloide es igual al volumen sobre el nivel entre el líquido y el gas.

$$\frac{\pi d^2}{4} x h = \frac{\pi x^2}{2} y_2$$

Y además 
$$y_2 = \frac{w^2}{2g} x_2^2 = \frac{(15.73)^2}{2 \times 9.81} x_2^2 = 12.61 x_2^2$$

Sustituyendo

$$\frac{\pi (1.6)^2 (0.2)}{4} = \frac{\pi (12.61 x_2^2) x_2^2}{2}$$

$$x_2 = 0.3775 \text{ mts.}$$

$$y_2 = 1.80 \text{ mts}$$

Las coordenadas que calculamos anteriormente representan la distancia del centro del recipiente hasta el lugar donde se encuentra el líquido cuando se encuentra en movimiento y la distancia entre el nivel original entre el líquido y el gas y el punto más bajo que forma el vórtice; respectivamente.

Este punto mas bajo de la parábola que forma el vórtice - lo hemos denominado "S" y es localizada a 0.45 m sobre el fondo del recipiente, tomando en cuenta que el reactor tiene una altura total de 2.25 m sin tomar en cuenta la altura de la tapa superior.

La altura de presión, es decir, la distancia imaginaria que originaría la agitación de un líquido sobre las paredes del recipiente que lo contiene, viene dado por la expresión siguiente

$$y_1 = \frac{w^2}{2g} x_1^2$$

siendo

$x_1$  = diámetro interior del recipiente

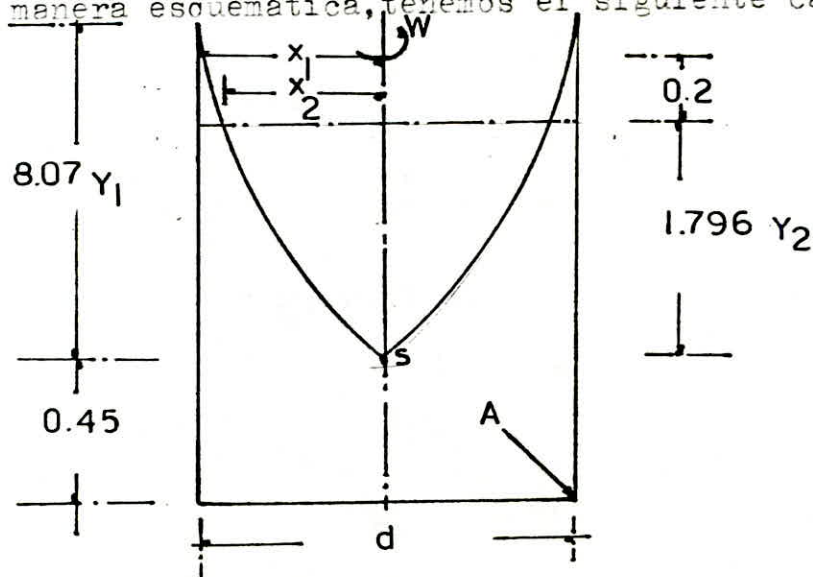
$w$  = velocidad de agitación, radianes / segundo

Sustituyendo en la ecuación original:

$$y_1 = \frac{(15.73)^2}{2(9.81)} (0.8)^2$$

$$y_1 = 8.07 \text{ m}$$

De una manera esquemática, tenemos el siguiente caso:



en donde el punto "S" se encuentra situado a 0.45 mt sobre el fondo del recipiente. La altura de presión, que corresponde a la altura imaginaria que alcanzaría el líquido dentro del recipiente si se encontrara abierto, viene dada por la siguiente expresión:

$$y_1 = \frac{w^2}{2g} x_1^2$$

$$y_1 = \frac{(15.73)^2}{2(9.81)} (0.8)^2$$

$$y_1 = 8.071 \text{ mts.}$$

Para el cálculo de los soportes del reactor, es necesario obtener la presión en el punto de la figura anterior, marcado con la letra "A". Esta presión multiplicada por el área de contacto, nos dará una fuerza que actúa del centro de gravedad del tanque hacia el punto "A", y su ángulo de inclinación con respecto a la horizontal será:

$$= \text{Arc Tang } 1.25/0.80$$

$$= 57.38^\circ$$

Esta fuerza se descompone en dos, una vertical y una horizontal. La fuerza vertical se sumará al peso del tanque en cada soporte y la horizontal la utilizaremos para el cálculo del momento de volteo.

$$F_1 = F \cos 57.38^\circ$$

$$F_2 = F \sin 57.38^\circ$$

La presión en el punto "A" será:

$$P_A = \text{densidad} \times \text{altura}$$

$$P_A = (0.0010292) (807.1 + 45.0)$$

$$P_A = 21.53 \text{ Kg/cm}^2 \quad (21 \text{ atm})$$

Anteriormente se había calculado el peso total del reac-



tor, el cual dividido entre cuatro, obtendremos el peso real repartido entre los soportes, y que es igual a 2.025 ton en cada uno. Escogeremos ahora una sección, considerando que los soportes serán realizados en tubo de acero de 8 pulgadas de diámetro y  $42.5 \text{ cm}^2$  de área. Por lo tanto:

$$F_1 = F \cos \text{ de } 57.38^\circ$$

$$F = \text{Presion} \times \text{Area}$$

$$F = (21.53)(42.5)$$

$$F = 915.1 \text{ Kg} \quad (0.915 \text{ Ton})$$

$$F_1 = (0.915) \cos 57.38$$

$$F_1 = 0.5 \text{ Ton}$$

$$\text{Y } F_2 = (0.915) \sin 57.38$$

$$F_2 = 0.78 \text{ Ton}$$

El valor de  $F_2$  se lo adicionaremos al peso del tanque dividido entre cuatro, para lo cual tendremos un valor de  $2.02 + 0.78 = 2.8 \text{ Ton}$ .

El valor de  $F_1$ , multiplicado por la altura del soporte - nos dará el valor del momento de volteo:

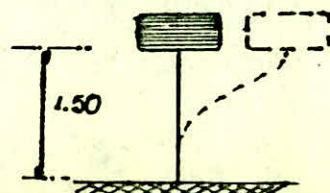
$$M_a = F_1 \times h$$

$$M_a = (0.5)(1.50)$$

$$M_a = 0.75 \text{ Ton}\cdot\text{m}$$

Ya con estas condiciones del análisis procederemos al diseño de los soportes.

Consideraremos la siguiente condición de apoyo: Rotación-fija y traslación libre; debido al movimiento del tanque y a la fijación del soporte al mismo. Esto es:



También consideraremos un empotramiento del soporte al suelo. Los esfuerzos admisibles dependen de esta condición de apoyo, lo que determina el valor del factor  $K = 1.2$ . Este factor, multiplicado por la longitud de la columna nos representa la longitud efectiva de la misma, con lo que se procederá al diseño.

Como la longitud del soporte es de 1.5 m la relación de esbeltez correspondiente es:

$$Kl / r = \frac{1.2 \times 1500}{7.5} = 240 < 250 \quad \text{OK.}$$

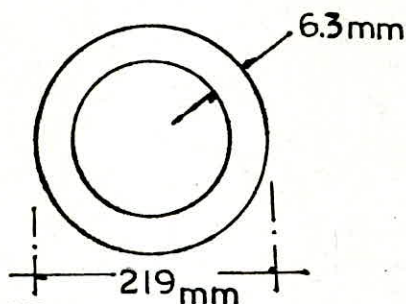
Donde :  $K$  = Factor que depende de la condición de apoyo (1.2)

$l$  = Longitud del soporte (1500)

$r$  = Radio de giro del soporte considerado, depende de la geometría del soporte ( $I/A$ ). Si  $r$  es mayor,  $Kl/r$  será menor y el soporte tendrá menos problemas.

$Kl$  = Longitud efectiva

La sección en tubo de acero que hemos escogido para la soportería del reactor consta de varias características, como son



$r = 7.5$  cm (radio de giro)

$S = 219$  cm<sup>3</sup> (módulo de sección)

$I = 2402$  cm<sup>4</sup> (mom. de inercia)

$A = 42.5$  cm<sup>2</sup> (área)

La sección de tubo facilita el proceso constructivo.

Una columna de acero a Flexocompresión se revisa de acuerdo con la fórmula de interacción siguiente, que combina los efectos de la compresión y la Flexión simples:

$$\frac{P}{P_e} + \frac{M}{M_r} \leq 1.0$$

O en función de los esfuerzos :

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1.0$$

Donde :

$f_a$  y  $f_b$  son los esfuerzos actuantes a compresión y flexión simple respectivamente.

$F_a$  y  $F_b$  son los esfuerzos admisibles.

El esfuerzo admisible a compresión simple depende de la relación de esbeltez y se obtiene de la fórmula de Euler:

$$F_a = \frac{12 \pi^2 E}{25 (Kl/r)^2}$$

En el manual AHMSA encontramos la fórmula desarrollada para diferentes relaciones de esbeltez

$$\text{Para } Kl/r = 240 \quad F_a = 182.3 \text{ Kg/cm}^2$$

Así la fuerza admisible a compresión es :

$$P_a = F_a A = (182.3 \text{ Kg/cm}^2)(42.5 \text{ cm}^2) = 7,747.75 \text{ Kg}$$

El momento resistente(admisible) de la sección se obtiene con la fórmula de la Escuadría:

$$M_r = \frac{0.6 f_y I}{C} = 0.6 f_y S = 0.6(2530)(219)$$

$$M_r = 332,442 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = 3.32 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Donde  $F_y$  = límite elástico mínimo aparente del acero, o también llamado límite de fluencia del acero e igual a 2530 Kg/cm<sup>2</sup>.

Sustituyendo estos valores en la fórmula de interacción, tenemos :

$$\frac{3.77}{7.74} + \frac{1.68}{3.32} \leq 1.0$$

$$0.98 < 1.0$$

oK



Y en función de los esfuerzos :

$$f_a = P/A = 3770 / 42.5 = 88.70 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_b = M/S = 168188.2/219 = 767.98 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_a = 182.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_b = 0.6 f_y = 0.6 (2530) = 1518 \text{ Kg/cm}^2$$

Sustituyendo:

$$\frac{88.7}{182.3} + \frac{767.98}{1518} \leq 1.0$$

$$0.98 < 1.0 \quad \text{oK}$$

Por lo que nos damos cuenta que la sección propuesta cumple con las limitaciones especificadas para cuando se usan -- secciones tubulares en acero para soportería.

La sección tubular estará compuesta de una placa de refuerzo en la parte superior y una placa de acero también como base de los soportes.

Con lo anterior damos por terminado el diseño mecánico de un recipiente sujeto a presión, que será utilizado para la producción de ácido benzoico., basado en el estudio del código - A.S.M.E. sección VIII división 1.

A P E N D I C E S

**Typical Sections of Steam Tables—Table II**

| Saturated steam and saturated water  |                                 |                             |                                  |                                          |
|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|
| Pressure<br>Absolute, $P'$ ,<br>Psia | Pressure<br>Gage, $P$ ,<br>Psig | Temperature,<br>$t$ ,<br>°F | Heat of the<br>Liquid,<br>Btu/Lb | Latent Heat of<br>Evaporation,<br>Btu/Lb |
| 110.0                                | 95.3                            | 334.79                      | 305.8                            | 883.1                                    |
| 111.0                                | 96.3                            | 335.46                      | 306.5                            | 882.5                                    |
| 112.0                                | 97.3                            | 336.12                      | 307.2                            | 882.0                                    |
| 124.0                                | 109.3                           | 343.74                      | 315.2                            | 875.8                                    |
| 125.0                                | 110.3                           | 344.35                      | 315.8                            | 875.3                                    |
| 126.0                                | 111.3                           | 344.95                      | 316.4                            | 874.8                                    |
| 127.0                                | 112.3                           | 345.55                      | 317.1                            | 874.3                                    |

| Superheated steam                    |                                 |                                       |                       |         |         |         |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|
| Pressure<br>Absolute, $P'$ ,<br>Psia | Pressure<br>Gage, $P$ ,<br>Psig | Saturated<br>Temperature,<br>$t$ , °F | Total Temperature, °F |         |         |         |
|                                      |                                 |                                       | 500                   | 600     | 700     | 800     |
| 400.0                                | 385.3                           | 444.60                                | $\bar{v}$ 1.2841      | 1.4763  | 1.6499  | 1.8151  |
|                                      |                                 |                                       | $h_g$ 1,245.1         | 1,307.4 | 1,363.4 | 1,417.0 |
| 420.0                                | 405.3                           | 449.40                                | $\bar{v}$ 1.2148      | 1.4007  | 1.5676  | 1.7258  |
|                                      |                                 |                                       | $h_g$ 1,242.4         | 1,305.8 | 1,362.3 | 1,416.2 |
| 440.0                                | 425.3                           | 454.03                                | $\bar{v}$ 1.1517      | 1.3319  | 1.4926  | 1.6445  |
|                                      |                                 |                                       | $h_g$ 1,239.7         | 1,304.2 | 1,361.1 | 1,415.3 |

$\bar{v}$  is specific volume, ft<sup>3</sup>/lb; and  $h_g$  is total heat of steam, Btu/lb.

**Typical Liquid Velocities in Steel  
Pipelines—Table III**

| Nominal Pipe Sizes, In.                             | 2 or less      | 3 to 10        | 10 to 20       |
|-----------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Liquid and Line                                     | Velocity, Ft/S | Velocity, Ft/S | Velocity, Ft/S |
| <b>Water</b>                                        |                |                |                |
| Pump suction                                        | 1 to 2         | 2 to 4         | 3 to 6         |
| Pump discharge (long)                               | 2 to 3         | 3 to 5         | 4 to 7         |
| Discharge leads (short)                             | 4 to 9         | 5 to 12        | 8 to 14        |
| Boiler feed                                         | 4 to 9         | 5 to 12        | 8 to 14        |
| Drains                                              | 3 to 4         | 3 to 5         | —              |
| Sloped sewer                                        | —              | 3 to 5         | 4 to 7         |
| <b>Hydrocarbon liquids<br/>(Normal viscosities)</b> |                |                |                |
| Pump suction                                        | 1.5 to 2.5     | 2 to 4         | 3 to 6         |
| Discharge header (long)                             | 2.5 to 3.5     | 3 to 5         | 4 to 7         |
| Discharge leads (short)                             | 4 to 9         | 5 to 12        | 8 to 15        |
| Drains                                              | 3 to 4         | 3 to 5         | —              |
| <b>Viscous oils</b>                                 |                |                |                |
| Pump suction,                                       |                |                |                |
| Medium viscosity                                    | —              | 1.5 to 3       | 2.5 to 5       |
| Tar and fuel oils                                   | —              | 0.4 to 0.75    | 0.5 to 1       |
| Discharge (short)                                   | —              | 3 to 5         | 4 to 6         |
| Drains                                              | 1              | 1.5 to 3       | —              |

TABLA PARA SECCIONES TÍPICAS EN VAPOR

VELOCIDADES TÍPICAS EN TUBERIAS DE ACERO

**Typical Velocities in Gas and Vapor  
Lines—Table IV**

| Nominal<br>Pipe Size,<br>In. | Saturated Steam or<br>Saturated Vapor | Superheated Steam,<br>Superheated Vapor, or Gas |                |
|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------|
|                              | Low Pressure                          | Medium Pressure                                 | High Pressure  |
|                              | Velocity, Ft/S                        | Velocity, Ft/S                                  | Velocity, Ft/S |
| 2 or less                    | 45 to 100                             | 40 to 80                                        | 30 to 60       |
| 3 to 4                       | 50 to 110                             | 45 to 90                                        | 35 to 70       |
| 6                            | 60 to 120                             | 50 to 120                                       | 45 to 90       |
| 8 to 10                      | 65 to 125                             | 80 to 160                                       | 65 to 125      |
| 12 to 14                     | 70 to 130                             | 100 to 190                                      | 80 to 145      |
| 16 to 18                     | 75 to 135                             | 110 to 210                                      | 90 to 160      |
| 20                           | 80 to 140                             | 120 to 220                                      | 100 to 170     |

Note: Within the above velocities and line-size ranges, (a) large lines can have higher velocities than smaller ones, and (b) short lines, and leads from headers, can have higher velocities than long lines and headers.

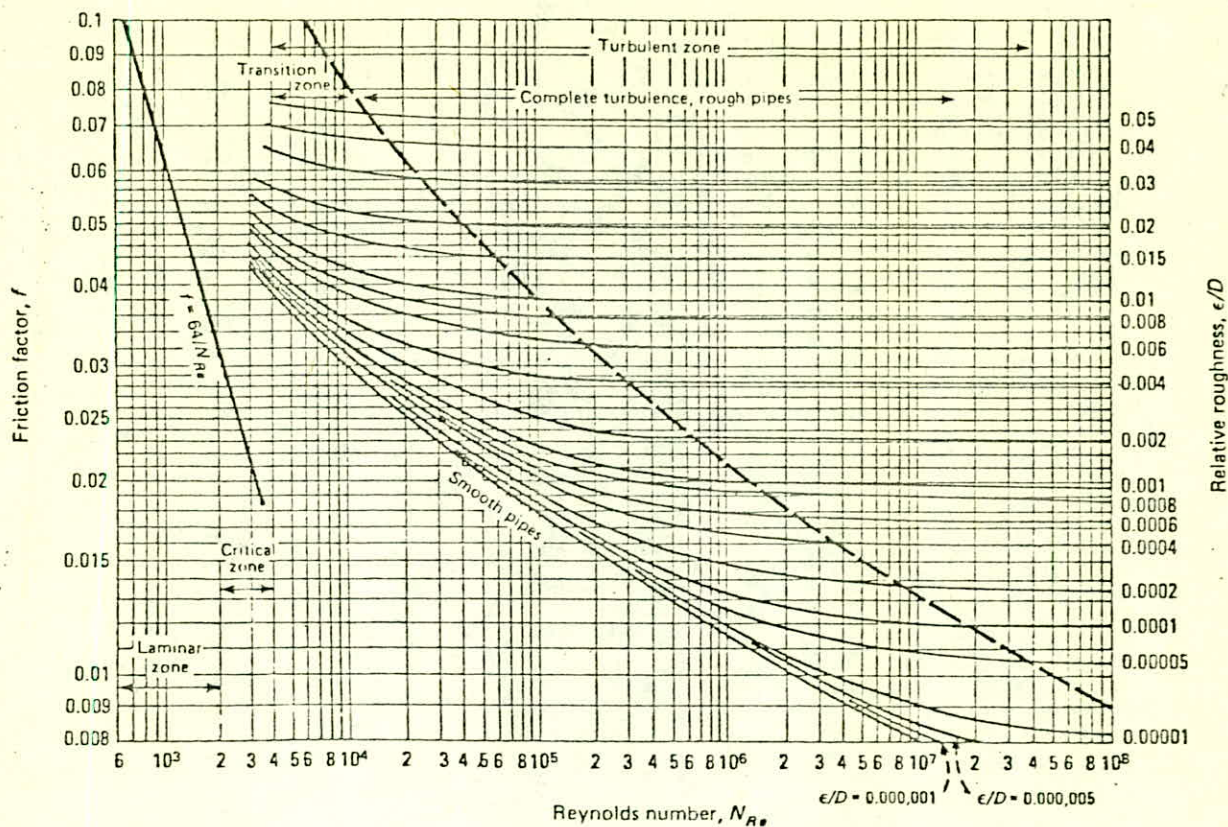
| Equipment Lines                       | Velocity, Ft/S |
|---------------------------------------|----------------|
| Reboiler, downcomer (liquid)          | 3 to 7         |
| Reboiler, riser (liquid and vapor)    | 35 to 45       |
| Overhead condenser                    | 25 to 100      |
| Two-phase flow                        | 35 to 75       |
| Compressor, suction                   | 75 to 200      |
| Compressor, discharge                 | 100 to 250     |
| Inlet, steam turbine                  | 120 to 320     |
| Inlet, gas turbine                    | 150 to 350     |
| Relief valve, discharge               | 0.5 $v_c$      |
| Relief valve, entry point at silencer | $v_c$          |

\* Obtain sonic or critical velocity,  $v_c$ , from:

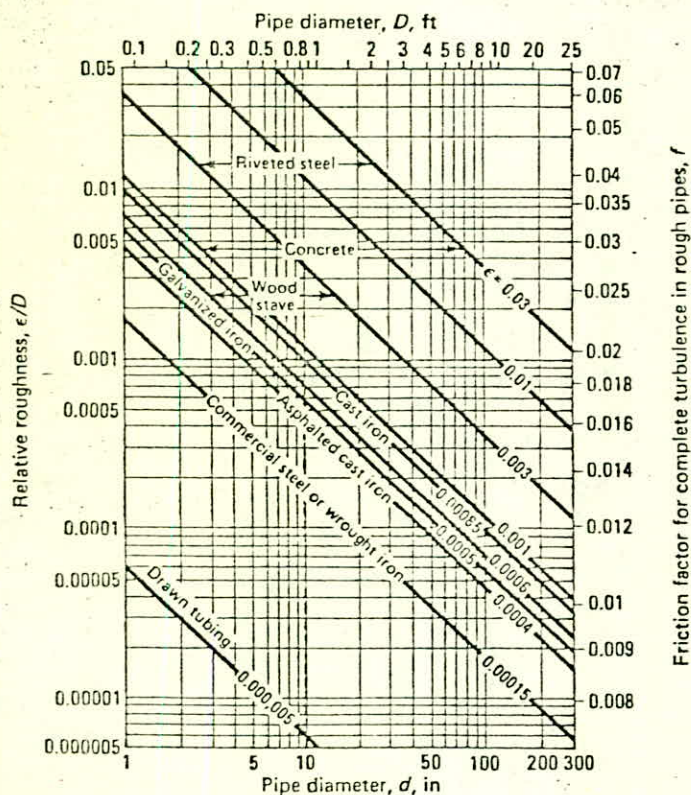
$$v_c = 68 \sqrt{k(P'/\rho)} \text{ ft/s. } k \text{ from Table I.}$$

VELOCIDADES TÍPICAS  
EN LINEAS DE GAS Y  
VAPOR.





FACTOR DE FRICCIÓN PARA CUALQUIER TIPO DE TUBERIA COMERCIAL



Properties of Selected Gases and Vapors—Table I

| Gas or Vapor    | Molecular Weight | Specific Heat Ratio at 60°F. $k = c_p/c_v$ | Critical Pressure, $P_c$ , Psia | Critical Temperature, $T_c$ , °R |
|-----------------|------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Acetylene       | 26.04            | 1.24                                       | 905                             | 557                              |
| Air             | 28.97            | 1.40                                       | 547                             | 239                              |
| Ammonia         | 17.03            | 1.31                                       | 1,657                           | 731                              |
| Benzene         | 78.11            | 1.12                                       | 714                             | 1,013                            |
| Carbon dioxide  | 44.01            | 1.30                                       | 1,073                           | 548                              |
| Carbon monoxide | 28.01            | 1.40                                       | 510                             | 242                              |
| Chlorine        | 70.91            | 1.36                                       | 1,119                           | 751                              |
| Ethane          | 30.07            | 1.19                                       | 708                             | 550                              |
| Ethyl alcohol   | 46.07            | 1.13                                       | 927                             | 930                              |
| Ethyl chloride  | 64.52            | 1.19                                       | 764                             | 829                              |
| Ethylene        | 28.05            | 1.24                                       | 742                             | 510                              |
| Hydrogen        | 2.02             | 1.41                                       | 188                             | 60                               |
| Methane         | 16.04            | 1.31                                       | 673                             | 344                              |
| Methyl alcohol  | 32.04            | 1.20                                       | 1,157                           | 924                              |
| Methyl chloride | 50.49            | 1.20                                       | 968                             | 750                              |
| Natural gas*    | 18.82            | 1.27                                       | 675                             | 379                              |
| Nitrogen        | 28.02            | 1.40                                       | 492                             | 228                              |
| Oxygen          | 32.00            | 1.40                                       | 730                             | 278                              |
| Propane         | 44.09            | 1.13                                       | 617                             | 666                              |
| Propylene       | 42.08            | 1.15                                       | 658                             | 658                              |
| Water vapor     | 18.02            | 1.33                                       | 3,208                           | 1,166                            |

\* Approximate values based on average composition.

Source: "Engineering Data Book—1957," 7th ed., Natural Gasoline Supply Men's Assn.



### Maximum Velocities To Prevent Erosion Or Corrosion of Pipe Wall—Table V

|                                         | Maximum Velocity,<br>Ft/S |
|-----------------------------------------|---------------------------|
| Liquid in carbon-steel pipe             |                           |
| Phenolic water                          | 3                         |
| Concentrated sulfuric acid              | 4                         |
| Cooling-tower water                     | 12                        |
| Salt water                              | 6                         |
| Calcium chloride brine                  | 8                         |
| Caustic soda (>5% by volume)            | 4                         |
| Aqueous amine (mono- or diethanolamine) | 10                        |
| Wet phenolic vapor                      | 60                        |
| Liquid in plastic or rubber-lined pipe  | 10                        |

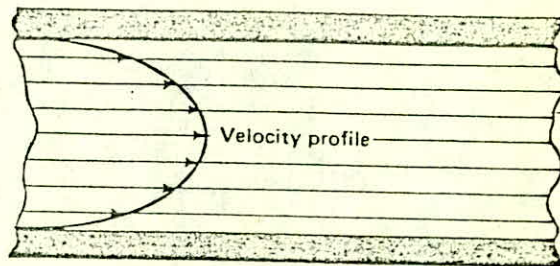
VELOCIDADES

MAXIMAS PARA

PREVENCIÓN DE

CORROSIÓN Y

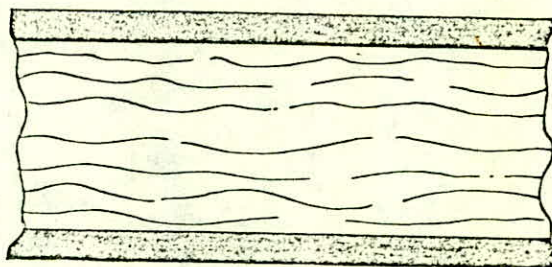
EROSIÓN



a. Viscous Flow

$$N_{Re} < 2,000$$

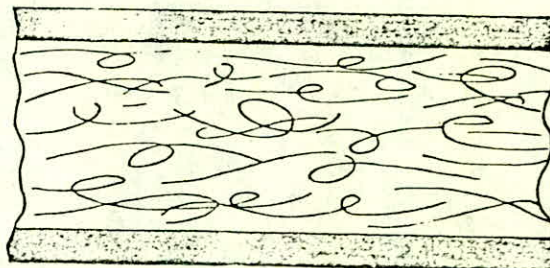
$$f = 64/N_{Re}$$



b. Transition Flow

$$N_{Re} = 2,000 \text{ to } 4,000$$

$$f = 0.04 \text{ to } 0.052 \text{ for steel pipes.}$$



c. Turbulent Flow

$$N_{Re} > 4,000$$

$$f \text{ from Fig. 5 and 6}$$

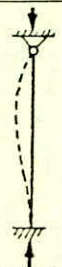
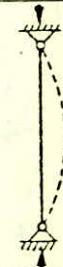
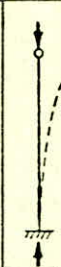
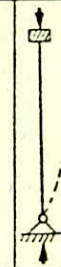
## ESFUERZOS ADMISIBLES EN Kg.cm<sup>2</sup>, PARA MIEMBROS DE COMPRESION

### VALORES DEL FACTOR DE LONGITUD EFECTIVA K.

Los esfuerzos admisibles dependen de las condiciones de apoyo de la columna que determinan el valor del factor K.

A continuación se dan valores de K, para condiciones ideales de sujeción.

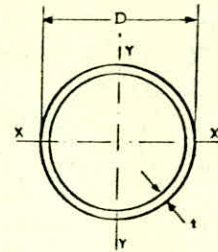
TABLA II. 1

| Valores del factor de longitud efectiva K para condiciones ideales de apoyo |                                                                                                                        |                                                                                                                           |                                                                                                                           |                                                                                                                  |                                                                                      |                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| La configuración deformada de la columna se muestra con línea punteada.     |                                      |                                         |                                         |                                |  |  |
| Valor teórico de K                                                          | 0.5                                                                                                                    | 0.7                                                                                                                       | 1.0                                                                                                                       | 1.0                                                                                                              | 2.0                                                                                  | 2.0                                                                                  |
| Valor recomendado para diseño K                                             | 0.65                                                                                                                   | 0.80                                                                                                                      | 1.2                                                                                                                       | 1.0                                                                                                              | 2.1                                                                                  | 2.0                                                                                  |
| Condiciones de los apoyos                                                   |  Rotación y traslación restringidas |  Rotación libre traslación restringida |  Rotación restringida traslación libre |  Rotación y traslación libres |                                                                                      |                                                                                      |



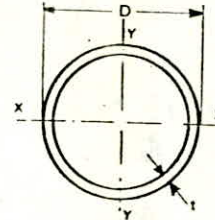


**PROPIEDADES DE TUBOS DE ACERO**



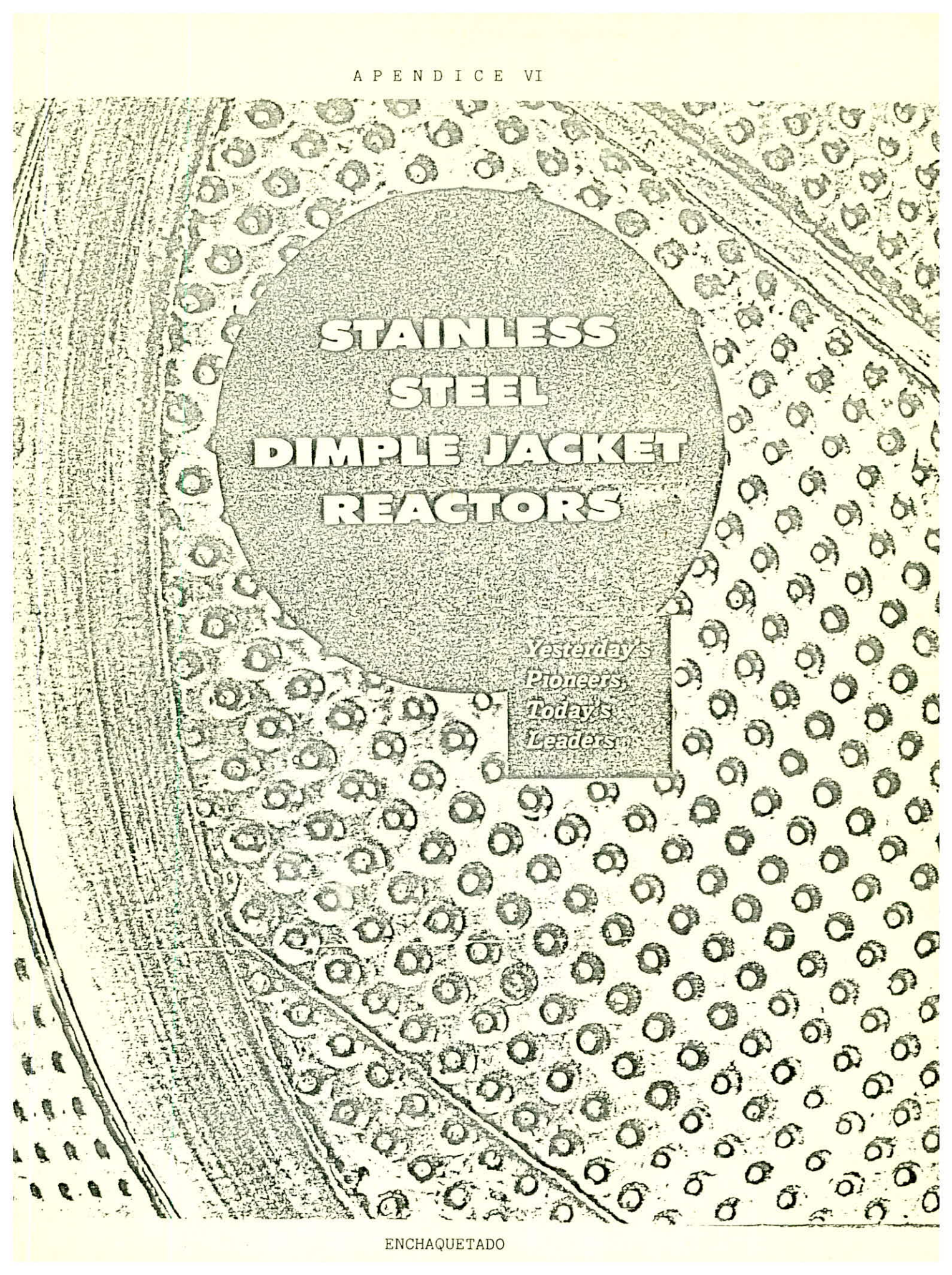
| Diámetro Nominal<br>Pulg. mm | Diám. Ext. D<br>mm | Diám. Interior<br>mm | Espesor<br>t<br>mm | Peso<br>kg/m | Area<br>cm² | Momento de Inercia<br>cm⁴ | Modulo de Sección<br>cm³ | Radio de Giro<br>cm | Nº de Cedula |
|------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|-------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| 1½<br>38                     | 48                 | 41                   | 3.7                | 4.0          | 5.2         | 12.9                      | 5.3                      | 1.6                 | 40           |
|                              | 48                 | 38                   | 5.1                | 5.4          | 6.9         | 16.3                      | 6.7                      | 1.5                 | 80           |
|                              | 48                 | 34                   | 7.1                | 7.2          | 9.2         | 20.1                      | 8.3                      | 1.5                 | 160          |
| 2<br>51                      | 60                 | 53                   | 3.9                | 5.4          | 6.9         | 27.7                      | 9.2                      | 2.0                 | 40           |
|                              | 60                 | 49                   | 5.5                | 7.5          | 9.5         | 36.1                      | 12.0                     | 1.9                 | 80           |
|                              | 60                 | 48                   | 8.7                | 11.1         | 14.1        | 48.4                      | 16.0                     | 1.9                 | 160          |
| 2½<br>64                     | 73                 | 63                   | 5.2                | 8.6          | 11.0        | 63.7                      | 17.4                     | 2.4                 | 40           |
|                              | 73                 | 59                   | 7.0                | 11.4         | 14.5        | 80.1                      | 21.9                     | 2.3                 | 80           |
|                              | 73                 | 54                   | 9.5                | 14.9         | 19.0        | 97.9                      | 26.8                     | 2.3                 | 160          |
| 3<br>76                      | 89                 | 78                   | 5.5                | 11.3         | 14.4        | 126                       | 28.3                     | 3.0                 | 40           |
|                              | 89                 | 74                   | 7.6                | 15.3         | 19.5        | 162                       | 36.5                     | 2.9                 | 80           |
|                              | 89                 | 67                   | 11.1               | 21.3         | 27.2        | 210                       | 47.2                     | 2.8                 | 160          |
| 3½<br>89                     | 102                | 90                   | 5.7                | 13.6         | 17.4        | 199                       | 39.2                     | 3.4                 | 40           |
|                              | 102                | 85                   | 8.1                | 18.6         | 23.8        | 261                       | 51.5                     | 3.3                 | 80           |
| 4<br>102                     | 114                | 102                  | 6.0                | 16.1         | 20.6        | 301                       | 52.7                     | 3.8                 | 40           |
|                              | 114                | 97                   | 8.5                | 22.3         | 28.5        | 400                       | 70.0                     | 3.8                 | 80           |
|                              | 114                | 92                   | 11.1               | 28.3         | 36.1        | 485                       | 84.8                     | 3.7                 | 120          |
|                              | 114                | 87                   | 13.5               | 33.6         | 42.9        | 552                       | 96.7                     | 3.6                 | 160          |
| 5<br>127                     | 141                | 128                  | 6.6                | 21.8         | 27.8        | 631                       | 89.3                     | 4.8                 | 40           |
|                              | 141                | 122                  | 9.5                | 30.9         | 39.5        | 860                       | 121.8                    | 4.7                 | 80           |
|                              | 141                | 116                  | 12.7               | 40.3         | 51.5        | 1071                      | 151.6                    | 4.6                 | 120          |
|                              | 141                | 110                  | 15.9               | 49.0         | 62.6        | 1250                      | 177.0                    | 4.5                 | 160          |
| 6<br>152                     | 168                | 154                  | 7.1                | 28.2         | 36.0        | 1171                      | 133.3                    | 5.7                 | 40           |
|                              | 168                | 146                  | 11.0               | 42.5         | 54.3        | 1685                      | 200.2                    | 5.6                 | 80           |
|                              | 168                | 140                  | 14.3               | 54.2         | 69.2        | 2077                      | 247                      | 5.5                 | 120          |
|                              | 168                | 132                  | 18.3               | 67.4         | 86.1        | 2455                      | 292                      | 5.3                 | 160          |
| 8<br>203                     | 219                | 206                  | 6.3                | 33.3         | 42.5        | 2402                      | 219                      | 7.5                 | 20           |
|                              | 219                | 205                  | 7.0                | 36.8         | 47.0        | 2635                      | 241                      | 7.5                 | 30           |
|                              | 219                | 203                  | 8.1                | 42.5         | 54.3        | 3018                      | 276                      | 7.5                 | 40           |
|                              | 219                | 198                  | 10.3               | 53.1         | 67.8        | 3696                      | 338                      | 7.4                 | 60           |
|                              | 219                | 194                  | 12.7               | 64.6         | 82.5        | 4400                      | 402                      | 7.3                 | 80           |
|                              | 219                | 189                  | 15.0               | 75.7         | 96.7        | 5053                      | 461                      | 7.2                 | 100          |
|                              | 219                | 183                  | 18.0               | 90.3         | 115.3       | 5852                      | 534                      | 7.1                 | 120          |
|                              | 219                | 178                  | 20.6               | 100.9        | 128.8       | 6402                      | 585                      | 7.1                 | 140          |
|                              | 219                | 173                  | 23.0               | 111.2        | 142.0       | 6905                      | 631                      | 7.0                 | 160          |
|                              | 273                | 260                  | 6.3                | 42.1         | 53.8        | 4728                      | 346                      | 9.4                 | 20           |
| 10<br>254                    | 273                | 257                  | 7.8                | 50.9         | 65.0        | 5719                      | 419                      | 9.4                 | 30           |
|                              | 273                | 255                  | 9.3                | 60.2         | 76.9        | 6689                      | 490                      | 9.3                 | 40           |
|                              | 273                | 248                  | 12.7               | 81.5         | 104.1       | 8824                      | 646                      | 9.2                 | 60           |
|                              | 273                | 243                  | 15.1               | 95.8         | 122.3       | 10194                     | 747                      | 9.1                 | 80           |
|                              | 273                | 237                  | 18.2               | 114.6        | 146.3       | 11913                     | 873                      | 9.0                 | 100          |
|                              | 273                | 230                  | 21.4               | 132.7        | 169.5       | 13498                     | 989                      | 8.9                 | 120          |
|                              | 273                | 222                  | 25.4               | 155.0        | 197.9       | 15309                     | 1122                     | 8.8                 | 140          |
|                              | 273                | 216                  | 28.6               | 172.6        | 220.4       | 16624                     | 1218                     | 8.7                 | 160          |

**TUBOS DE ACERO**  
**PROPIEDADES PARA DISEÑO**



| Diametro<br>Nominal<br>Pulg mm | Diam.<br>Ext. D<br>mm | Diam.<br>Interior<br>mm | Espesor<br>t<br>mm | Peso<br>kg/m | Area<br>cm <sup>2</sup> | Momento<br>de<br>Inercia<br>cm <sup>4</sup> | Modulo<br>de<br>Sección<br>cm <sup>3</sup> | Radio<br>de<br>Giro<br>cm | Nº de<br>Cédula |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| 12<br>305                      | 324                   | 311                     | 6.3                | 49.7         | 63.5                    | 8004                                        | 494                                        | 11.2                      | 20              |
|                                | 324                   | 307                     | 8.4                | 65.2         | 83.3                    | 10343                                       | 638                                        | 11.2                      | 30              |
|                                | 324                   | 303                     | 10.3               | 79.8         | 101.9                   | 12499                                       | 772                                        | 11.1                      | 40              |
|                                | 324                   | 295                     | 14.3               | 108.9        | 139.1                   | 16670                                       | 1029                                       | 10.9                      | 60              |
|                                | 324                   | 289                     | 17.4               | 131.9        | 168.4                   | 19779                                       | 1221                                       | 10.8                      | 80              |
|                                | 324                   | 281                     | 21.4               | 160.7        | 205.2                   | 23384                                       | 1443                                       | 10.7                      | 100             |
|                                | 324                   | 273                     | 25.4               | 186.8        | 238.9                   | 26710                                       | 1649                                       | 10.6                      | 120             |
|                                | 324                   | 267                     | 28.6               | 208.3        | 266.0                   | 29165                                       | 1828                                       | 10.5                      | 140             |
| 14<br>356                      | 324                   | 257                     | 33.3               | 239.6        | 306.0                   | 32520                                       | 2007                                       | 10.3                      | 160             |
|                                | 356                   | 343                     | 6.3                | 55.1         | 70.4                    | 10655                                       | 599                                        | 12.3                      | 10              |
|                                | 356                   | 340                     | 7.9                | 68.5         | 87.5                    | 13107                                       | 736                                        | 12.3                      | 20              |
|                                | 356                   | 337                     | 9.5                | 81.8         | 104.5                   | 15517                                       | 872                                        | 12.2                      | 30              |
|                                | 356                   | 333                     | 11.1               | 93.8         | 119.8                   | 17881                                       | 1005                                       | 12.2                      | 40              |
|                                | 356                   | 325                     | 15.1               | 126.5        | 161.5                   | 23409                                       | 1315                                       | 12.0                      | 60              |
|                                | 356                   | 318                     | 19.0               | 159.2        | 203.3                   | 28616                                       | 1608                                       | 11.9                      | 80              |
|                                | 356                   | 308                     | 23.8               | 194.9        | 248.9                   | 34152                                       | 1919                                       | 11.8                      | 100             |
| 16<br>406                      | 356                   | 300                     | 27.8               | 224.7        | 286.9                   | 38701                                       | 2174                                       | 11.6                      | 120             |
|                                | 356                   | 292                     | 32.0               | 254.5        | 325.0                   | 42768                                       | 2403                                       | 11.5                      | 140             |
|                                | 356                   | 284                     | 35.7               | 282.8        | 361.1                   | 46489                                       | 2612                                       | 11.4                      | 160             |
|                                | 406                   | 394                     | 6.3                | 62.5         | 78.9                    | 16025                                       | 789                                        | 14.1                      | 10              |
|                                | 406                   | 391                     | 7.9                | 77.4         | 98.8                    | 19729                                       | 972                                        | 14.1                      | 20              |
|                                | 406                   | 387                     | 9.5                | 93.8         | 119.8                   | 23396                                       | 1153                                       | 14.0                      | 30              |
|                                | 406                   | 381                     | 12.0               | 123.5        | 157.7                   | 30464                                       | 1501                                       | 13.9                      | 40              |
|                                | 406                   | 373                     | 16.7               | 160.7        | 205.2                   | 38818                                       | 1912                                       | 13.8                      | 60              |
| 18<br>457                      | 406                   | 364                     | 21.4               | 203.9        | 260.4                   | 48141                                       | 2371                                       | 13.6                      | 80              |
|                                | 406                   | 354                     | 26.0               | 245.5        | 313.5                   | 56857                                       | 2801                                       | 13.5                      | 100             |
|                                | 406                   | 345                     | 30.9               | 287.2        | 366.8                   | 64757                                       | 3190                                       | 13.3                      | 120             |
|                                | 406                   | 333                     | 36.5               | 333.3        | 425.6                   | 73307                                       | 3611                                       | 13.1                      | 140             |
|                                | 406                   | 325                     | 40.5               | 364.5        | 465.5                   | 78805                                       | 3882                                       | 13.0                      | 160             |
|                                | 457                   | 445                     | 6.3                | 69.9         | 89.3                    | 22893                                       | 1002                                       | 15.9                      | 10              |
|                                | 457                   | 441                     | 7.9                | 87.8         | 112.1                   | 28275                                       | 1237                                       | 15.9                      | 20              |
|                                | 457                   | 435                     | 11.1               | 122.0        | 155.8                   | 40087                                       | 1754                                       | 15.8                      | 30              |
| 20<br>508                      | 457                   | 429                     | 14.3               | 156.2        | 199.5                   | 46493                                       | 2035                                       | 15.7                      | 40              |
|                                | 457                   | 419                     | 19.0               | 205.3        | 262.2                   | 63059                                       | 2760                                       | 15.5                      | 60              |
|                                | 457                   | 410                     | 23.8               | 254.5        | 325.0                   | 76333                                       | 3341                                       | 15.3                      | 80              |
|                                | 457                   | 398                     | 29.4               | 309.5        | 395.2                   | 90822                                       | 3975                                       | 15.2                      | 100             |
|                                | 457                   | 387                     | 34.9               | 363.1        | 463.7                   | 103971                                      | 4550                                       | 15.0                      | 120             |
|                                | 457                   | 378                     | 39.7               | 409.2        | 522.5                   | 114455                                      | 5009                                       | 14.8                      | 140             |
|                                | 457                   | 367                     | 45.2               | 459.8        | 587.2                   | 125710                                      | 5502                                       | 14.7                      | 160             |
|                                | 508                   | 495                     | 6.3                | 78.9         | 100.8                   | 31592                                       | 1244                                       | 17.7                      | 10              |
| 20<br>508                      | 508                   | 489                     | 9.5                | 117.6        | 150.2                   | 46327                                       | 1824                                       | 17.6                      | 20              |
|                                | 508                   | 487                     | 12.7               | 156.3        | 199.6                   | 60645                                       | 2388                                       | 17.5                      | 30              |
|                                | 508                   | 478                     | 15.1               | 183.0        | 233.7                   | 70926                                       | 2792                                       | 17.4                      | 40              |
|                                | 508                   | 467                     | 20.6               | 248.5        | 317.3                   | 93943                                       | 3699                                       | 17.2                      | 60              |
|                                | 508                   | 456                     | 26.2               | 311.0        | 397.1                   | 115338                                      | 4541                                       | 17.1                      | 80              |
|                                | 508                   | 443                     | 32.5               | 380.9        | 486.4                   | 138064                                      | 5436                                       | 16.8                      | 100             |
|                                | 508                   | 432                     | 38.1               | 442.0        | 564.4                   | 156295                                      | 6153                                       | 16.7                      | 120             |
|                                | 508                   | 419                     | 44.5               | 509.0        | 650.0                   | 175525                                      | 6910                                       | 16.5                      | 140             |
|                                | 508                   | 408                     | 49.9               | 564.0        | 720.0                   | 190884                                      | 7515                                       | 16.3                      | 160             |

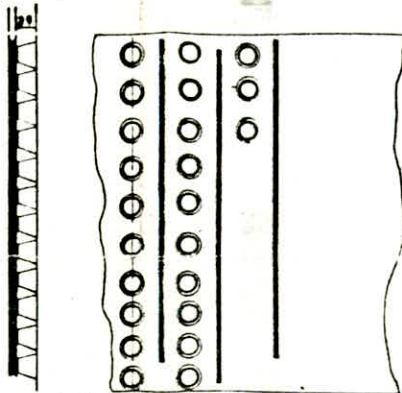


A high-magnification black and white micrograph of a stainless steel surface. The surface is covered with a dense, regular pattern of small, circular dimples, which are characteristic of a mechanical or chemical treatment process. The dimples are arranged in a grid-like fashion, with some larger, more irregular features visible along the left and bottom edges of the frame.

# **STAINLESS STEEL DIMPLE JACKET REACTORS**

*Yesterday's  
Pioneers  
Today's  
Leaders*

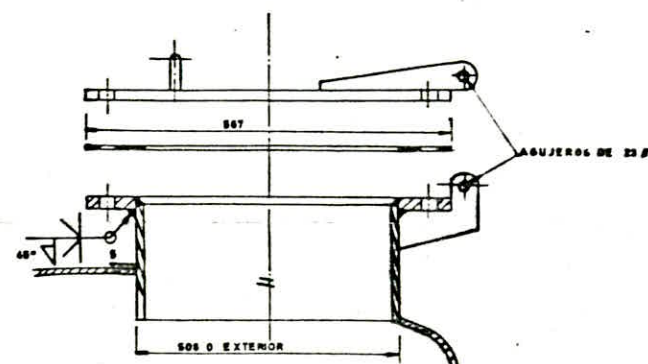
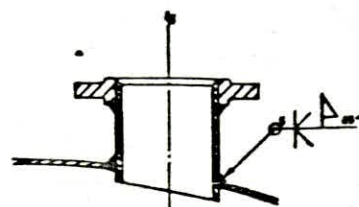




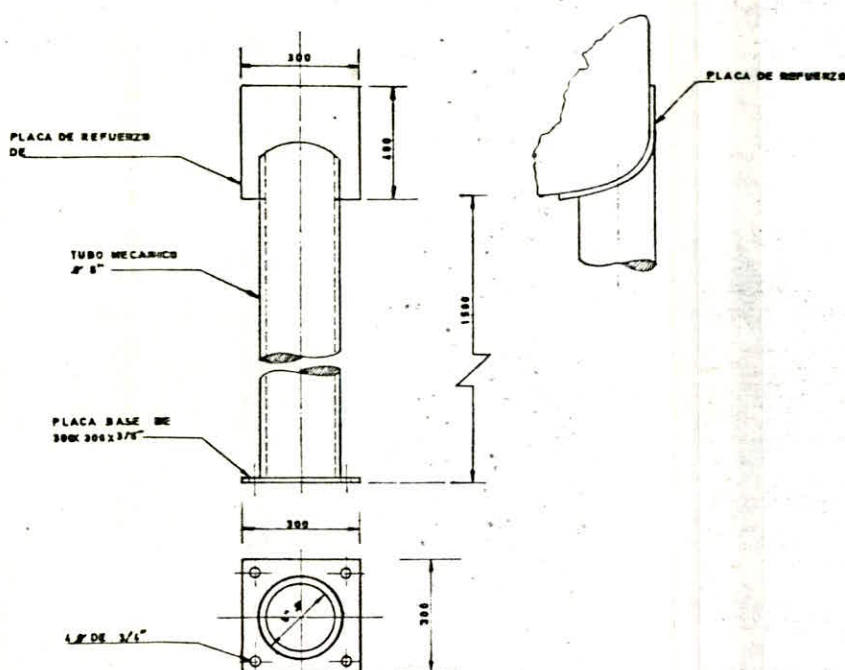
DETALLE N°1

DETALLE DE CHAMBERA

DETALLE TÍPICO DE BOQUILLAS



REGISTRO HOMBRE



DETALLE N°2

4 SOPORTES PARA REACTOR ESC. SIN

#### MEMORIA DE CALCULO

SUPERFICIE TOTAL SUJETA A PRESION "H"  
CUERPO  $\pi D L \pi (1.6m)(2.90m) = 10.063 m^2$

TAPAS TORIESFERICAS  $0.30 \pi (D)^2 = 0.30 \pi (1.6m)^2 = 2.4m^2 \times 2 = 4.8m^2$  TOTAL  $= 14.878 m^2$

#### ESPESOR DE PARED DEL CUERPO SUJETO A PRESION

$t = \frac{P R_0}{S E - 0.4 P}$   
P = PRESION DE DISEÑO EN INCH.  
R<sub>0</sub> = RADIO EXTERIOR EN INCH.  
S = ESFUERZO DE TENSION MAXIMA psi  
E = EFICIENCIA DE JUNTA POR SOLDADURA.  
 $t = \frac{(334.7 lb/m^2) (21.5 inch)}{(29907 lb/m^2) (1.0) - 0.4 (334.7 lb/m^2)}$   
 $t = 0.3551 inch$   
 $t = 9.019 mm$

#### ESPESOR DE PARED PARA TAPAS TORIESFERICAS SUPERIOR E INFERIOR

DONDE  $L = D$   
 $t = \frac{0.885 P L}{S E - 0.1 P}$   
 $t = \frac{0.885 (334.7 psi) (62.2 inch)}{(29907 psi) (1.0) - 0.1 (334.7 psi)}$   
 $t = 0.6250 inch$   
 $t = 15.87 mm$

#### PRESION INTERNA MAXIMA PERMISIBLE

$P = \frac{200 K S E}{D C}$   
K = COEFICIENTE DE RUPTURA POR TRACCION DEL MATERIAL EMPLEADO  
Kg/mm<sup>2</sup> (55000 psi)  
S = ESPESOR DE PLACA mm.  
E = EFICIENCIA DE JUNTA SOLDABLE.  
D = DIAMETRO DEL RECIPIENTE mm.  
C = COEFICIENTE DE EDAD QUE ES IGUAL A 5 PARA LOS RECIPIENTES CON 15 AÑOS DE USO Y 0.5 MAS POR CADA 5 AÑOS MAS DE USO.

$P = \frac{200 (55000 kg/mm^2) (9.019 mm) (1.0)}{1600 mm \cdot 5}$   
 $P = 8.72 Kg/cm^2$  (125 psi)

#### DIAMETRO DE VALVULA DE ALIVIO

$D = 25 \sqrt{\frac{H}{P + 0.59}}$   
DONDE P = PRESION INTERNA MAXIMA PERMISIBLE.  
 $D = 25 \sqrt{\frac{14.878}{8.72 + 0.59}}$   
 $D = 32.86 mm$

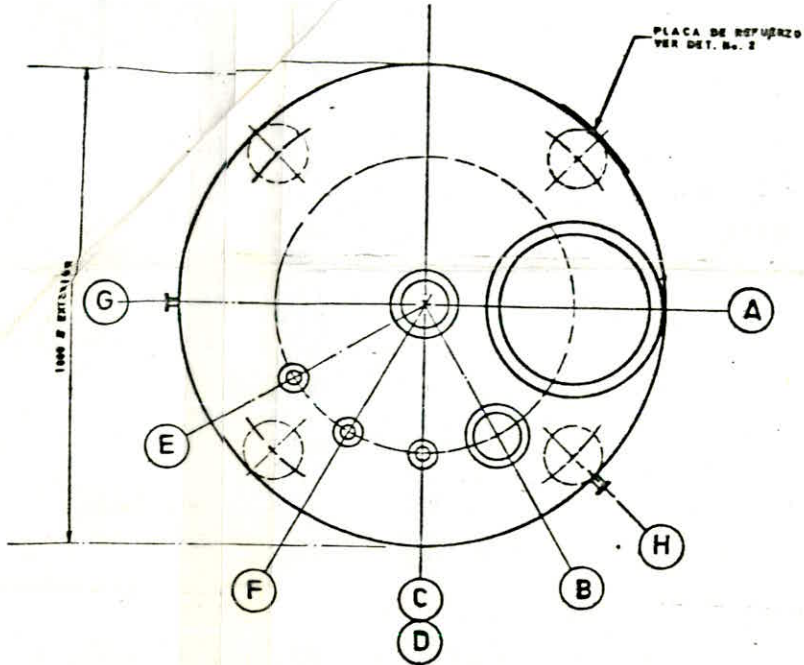
#### NOTAS GENERALES

1. DISEÑO BASADO EN CODIGO ASME SECCION VIII-1 Y TEMA CLASE C ULTIMA EDICION.
2. DEBERA FABRICARSE SEGUN CODIGO ASME SECCION VIII-2 Y TEMA CLASE C ULTIMA EDICION.
3. ACOTACIONES EN MILIMETROS.
4. LOS BARRENOS DE LAS BRIDAS QUEDARAN SIMETRICAMENTE DISTRIBUIDOS CON RESPECTO A LOS EJES NORMALES DEL EQUIPO SIN COINCIDIR CON ELLOS.
5. LAS SUPERFICIES MAQUINADAS Y CONEXIONES ROSCADAS SE PROTEGERAN CON UN MATERIAL ANTIOXIDANTE.
6. PROTEJANSE LAS BRIDAS CON TAPAS DE MADERA ANTES DE EMBARCAR.
7. NINGUNA BOQUILLA DEBERA CAER EN CORDONES DE SOLDADURA.
8. EL FABRICANTE PROPORCIONARA LA PLACA DE APROBACION DEL EQUIPO POR PARTE DE LA SECRETARIA DE TRABAJO Y PREVISION SOCIAL.
9. LA FABRICACION DEBERA BASARSE EN LAS COTAS DEL SISTEMA INGLÉS.
10. UNIDADES REQUERIDAS: UNO.

| BOQUILLAS |       |      |       |         |                                  |
|-----------|-------|------|-------|---------|----------------------------------|
| MCA       | CANT. | Ø    | RANGO | TIPO    | SERVICIO                         |
| A         | 1     | 20"  | 150 # | HECHIZO | REGISTRO HOMBRE                  |
| B         | 1     |      | 150 # | "       | VALVULA DE SEGURIDAD.            |
| C         | 1     | 12"  | 150 # | "       | MOTOR AGITADOR.                  |
| D         | 1     | 1"   | 150 # | "       | ALIMENTACION DE TOLUENO          |
| E         | 1     |      | 150 # | "       | VAPOR DE HIDROGENO.              |
| F         | 1     | 1/2" | 150 # | "       | CATALIZADOR.                     |
| G         | 1     | 1"   | 150 # | "       | SALIDA DE AGUA DE CHAQUETA.      |
| H         | 1     | 1/2" | 150 # | "       | ALIMENTACION DE AIRE A REACTOR.  |
| I         | 1     | 2"   | 150 # | "       | DESCARGA DE REACTOR.             |
| J         | 1     | 1"   | 150 # | "       | ALIMENTACION DE AGUA A CHAQUETA. |

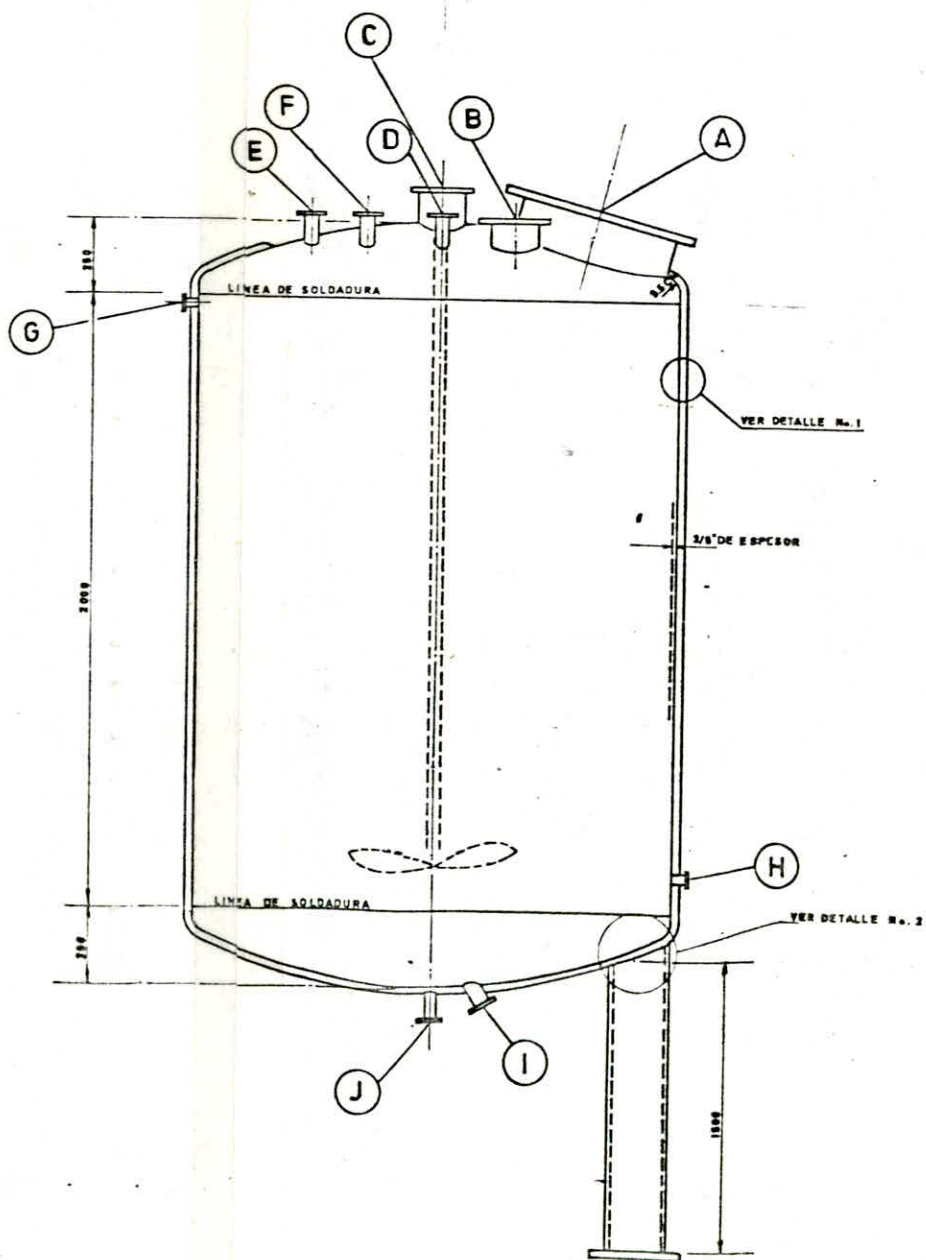
U.P.A.E.P.

DISEÑO GENERAL DE REACTOR PARA PRODUCCION DE A. BENZOICO



PLANTA REACTOR

ESC. 1:125



ELEVACION

ESC. 1:125



## CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo creemos haber logrado - el objetivo buscado, en el sentido de que los lectores no en - cuentren obstáculo alguno al intentar el estudio profundo del código A.S.M.E.

Consideramos que el resumen que presentado permita a los estudiantes de las materias de Diseño de Recipientes Sujetos a Presión, penetrar sin dificultad al estudio de las correlaciones y normas de diseño y fabricación, pues basta con definir el problema para buscar, dentro de los párrafos que se describen, la solución al mismo. Claro está, que este trabajo no intenta - sustituir las páginas del código, sino que al contrario, éste debe tenerse siempre a la mano para poder definir perfectamente las soluciones.

Por otra parte, al penetrar a este estudio, el lector encontrará la necesidad de correlacionarse con otras normas como - son el A.S.T.M., A.I.S.I., A.P.I., etc., los cuales, de una u otra forma tienen que ver con el código A.S.M.E. Por lo que el haber logrado el interés por el estudio de las normas de diseño existente, satisface plenamente el objetivo de este trabajo y exhorta a todas las personas interesadas en el área del diseño a - recopilar sus experiencias y a plasmarlas en manuales o códigos de manera que se conviertan en una forma práctica y rápida de solucionar problemas relacionados con el área antes mencionada.



- INVENTARIO  
2015
- 1.- CODIGO A.S.M.E. SECCION VIII DIVISION 1
  - 2.- PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR  
Donald Q. Kern
  - 3.- MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO  
Perry y Chilton
  - 4.- DICCIONARIO " PEQUEÑO LAROUSE"  
García-Pelayo y Gross
  - 5.- PROBLEMAS DE INGENIERIA QUIMICA - operaciones básicas -  
Ocon / Tojo
  - 6.- MANUAL DE DISEÑO DE TUBERIAS
  - 7.- INGENIERIA DE LA CINETICA QUIMICA  
J.M. Smith
  - 8.- FOGLE'S NO. 1 TANK AND PRESSURE VESSEL HANDBOOK FOR -  
ASME CODE U-69
  - 9.- QUIMICA GENERAL  
Rosenberg
  - 10.- QUIMICA ORGANICA  
G. Devore y E. Muñoz Mena
  - 11.- DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS METALICAS  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Instituto de Ingeniería  
Segunda Edición
  - 12.- MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA  
Ranald V. Giles  
Schaum Mc. Graw Hill
  - 13.- COMPENDIO DEL MANUAL AHMSA  
CONSTRUCCION DE ACERO  
Altos Hornos de México, S.A.