

21

203



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ENEP ARAGON**

**DISEÑO MECANICO ESTRUCTURAL  
DE PLATOS PARA TORRES DE  
DESTILACION**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICO**

**P R E S E N T A :**

**VICTOR SANTIAGO ACOSTA**

**ARAGON, EDO. DE MEXICO**

**1986**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## P R E F A C I O

En el proyecto de una planta de proceso para la refinación del petróleo y sus derivados, requiere de la participación de - las diferentes especialidades de ingeniería y una de ellas es - precisamente el diseño de platos.

El presente trabajo de Tesis, pretende mostrar la importan-  
cia que representa el Diseño Mecánico Estructural de Platos, en  
el desarrollo Tecnológico Nacional, que de una manera simplifi-  
cada, presenta las soluciones del comportamiento mecánico es-  
tructural, de los elementos resistentes que integran a los pla-  
tos, basándose en la experiencia adquirida por el suscrito en -  
los trabajos realizados para la Oficina de Diseño Mecánico Es-  
tructural de Equipos Especiales del Instituto Mexicano del Pe-  
tróleo, enriquecido por el contenido siguiente:

Primer Capítulo: Este capítulo trata en forma sistematiza-  
da los platos, de su descripción, funcionamiento y componentes,  
así como los tipos de platos que comunmente se emplean. En la  
parte final del mismo, se describen en forma condensada los as-  
pectos trascendentes de las Torres Empacadas, que vienen siendo  
otro tipo de internos que se emplean en las Torres de Destila-  
ción.

Segundo Capítulo: Este capítulo contiene los criterios que  
se aplican al Diseño Mecánico Estructural de Platos, así como -  
la presentación de los materiales mas comunmente empleados, -

además de una secuencia pausada del dimensionamiento de los platos, y como parte medular se muestra el diseño de los elementos estructurales que constituyen los platos.

Tercer Capítulo: En este capítulo se describen cada uno de los Detalles de Ensamble comunmente empleados en la estructuración de los platos, complementándose con sus características de funcionabilidad.

Cuarto Capítulo: Este capítulo muestra los requerimientos necesarios, que deben ser tomados en cuenta desde su embarque, manejo e instalación de los platos.

Y como capítulo final, se hace una aplicación al diseño.

Por otra parte, deseo expresar mi agradecimiento a mi Escuela Nacional de Estudios Profesionales "ARAGON", profesores de la misma y compañeros que en una forma directa e indirectamente contribuyeron en mi superación profesional.

Así mismo a todos mis compañeros de trabajo por la ayuda que me brindaron para la realización de la presente, y a la Sra. Aurea Emmert V., por su colaboración en la elaboración de la misma.

# I N D I C E

	Página
1. GENERALIDADES	1
1.1 DESCRIPCION	4
1.2 FUNCIONAMIENTO	4
1.3 DISTRIBUCION DE AREAS	7
1.4 FORMAS DE FLUJO	9
1.5 COMPONENTES	11
1.6 TIPO DE PLATOS	29
1.7 PLATOS TIPO CARTUCHO	35
1.8 TORRES CON EMPAQUE	37

		Página
2.	DISEÑO DE PLATOS	47
2.1	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	48
2.2	SELECCION DE MATERIALES	51
2.3	ESTRUCTURACION DE PLATOS	53
2.4	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE CONSTI- TUYEN UN PLATO.	65
2.4.1	ESPESOR DE PLATO	66
2.4.2	SECCIONES CANAL	73
2.4.3	AROS SOPORTE	88
2.4.4	ESTRUCTURACION ESPECIAL	89
2.4.4.1	VIGAS	90
2.4.4.2	MENSULAS	95

	Página
3. DETALLES DE ENSAMBLE	103
3.1 ENSAMBLE ENTRE SECCIONES DE PLATO	104
3.2 ENSAMBLE DE SECCIONES DE PLATO AL ARO SOPORTE	106
3.3 ENSAMBLE DE SECCIONES DE PLATO Y REGISTRO DE HOMBRE	108
3.4 ENSAMBLE DE BAJANTE CON SECCIONES DE PLATO	110
3.5 ENSAMBLE DE BAJANTE	112
3.6 ENSAMBLE DE SECCIONES DE BAJANTE	114
3.7 ENSAMBLE DE CONTINUIDAD DE LA CANAL INTEGRAL DE SECCION DE PLATO	116
3.8 HERRAJES DE SUJECION	119

**Página**

<b>4. PROCEDIMIENTOS DE ENSAMBLE Y MONTAJE</b>	<b>122</b>
<b>4.1 ORDEN DE ENSAMBLE</b>	<b>125</b>
<b>4.2 SECUENCIA DE MONTAJE</b>	<b>129</b>



	Página
5. APLICACION AL DISEÑO	132
5.1. SELECCION DE MATERIALES	132
5.2 ESTRUCTURACION DE PLATOS	132
5.3 DISEÑO MECANICO ESTRUCTURAL	149
CONCLUSIONES	161
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	162

## 1. GENERALIDADES

Uno de los problemas que frecuentemente se presentan en la industria del petróleo, es la separación, purificación o refinación de compuestos requeridos bajo ciertas especificaciones que pueden ser de tipo comercial o bien basados en un rango de requerimiento de proceso.

El mecanismo de separación más frecuentemente empleado, es el proceso de destilación, ya que, por medio de ésta se logran separar mezclas de diferentes compuestos.

La operación de destilación se efectúa en un equipo que recibe el nombre de torre de destilación y que físicamente es un recipiente cilíndrico vertical, que en su interior lleva los internos de separación, es decir platos de destilación.

En una torre de destilación, el líquido entra en la parte superior y se distribuye a través del área transversal por medio de distribuidores diseñados para tal efecto y fluyendo en forma descendente de plato a plato.

El vapor entra por la parte inferior y se distribuye por sí solo en todo el volumen del recipiente y ascendiendo de plato a plato. Durante la trayectoria ambas corrientes se ponen en contacto íntimo en cada plato, a través de los dispositivos de contacto. En éstos, el vapor burbujea en el líquido condensándose para formar nuevas burbujas de vapor que se separan de

la espuma (formada por la turbulencia), las cuales ascienden a la parte superior, mientras el líquido continúa su descenso. - (Fig. No. 1).

La corriente de líquido en la torre, se encuentra en todo momento en su punto de saturación al igual que la corriente de vapor, pero dicha temperatura es ligeramente mayor en cada etapa a medida que el líquido desciende.

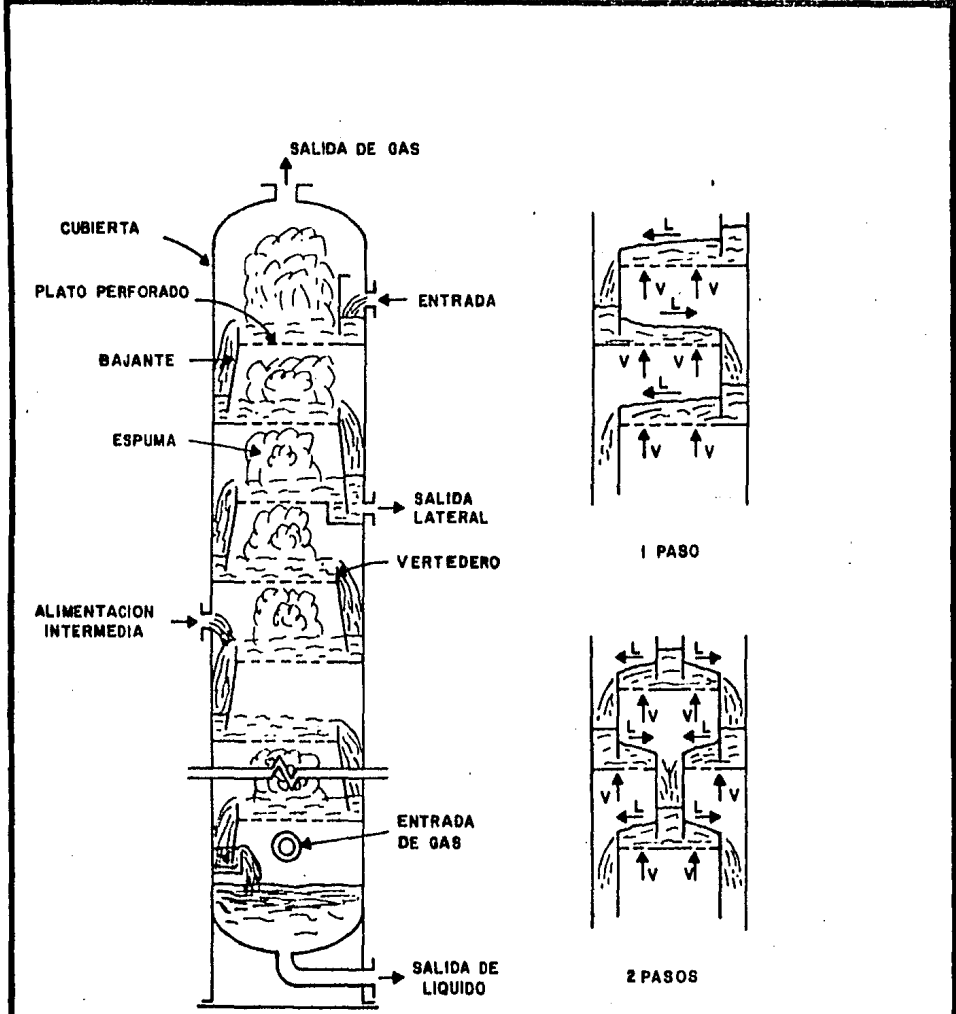


FIG. No. 1 FUNCIONAMIENTO DE UNA TORRE DE DESTILACION

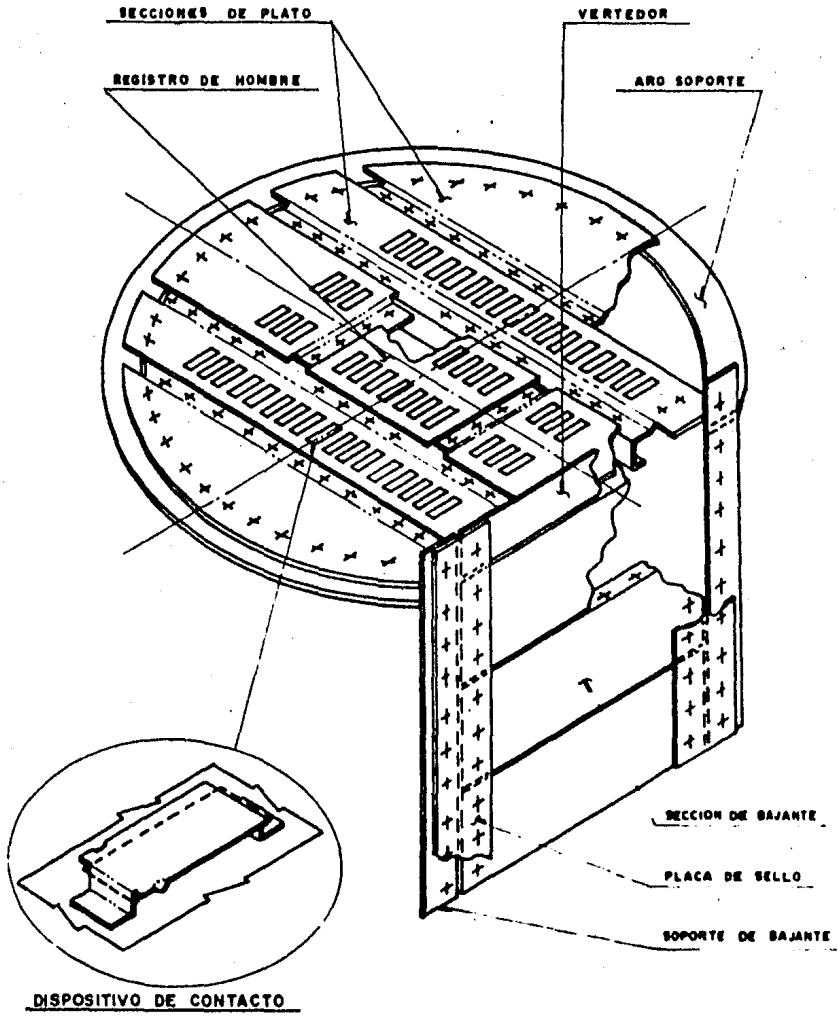
1.1 DESCRIPCION.

Un plato de destilación consiste básicamente en una placa circular metálica colocada en forma horizontal dentro de la columna y sobre la cual se colocan los dispositivos de contacto y los elementos estructurales necesarios para distribuir y dirigir el flujo de líquido. (Fig. No. 2).

1.2 FUNCIONAMIENTO.

La función primordial del plato, desde un punto de vista simplificado, es proporcionar el área de contacto necesario para llevar a efecto una interacción líquido-vapor.

El plato representa una etapa de equilibrio de dos fases, líquido y vapor. Dicho equilibrio se logra formando una alberca de líquido saturado, proveniente de la parte superior de la torre, la cual es puesta en contacto con el vapor ascendente, que proviene de la parte inferior, de tal forma que el vapor se condensa formando, con el calor latente que cede, nuevas burbujas de vapor que, de acuerdo a los principios de transferencia de masa, tendrán nuevas propiedades, que se notarán principalmente en el aumento en la concentración con respecto al componente más volátil. El intercambio de calor y masa se lleva a cabo, entonces - mediante un contacto íntimo entre el líquido y el vapor en cada plato. La altura de líquido deberá de ser tal que, -



**FIG. N.º 2 ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN PLATO**

la presión del vapor ascendente permita el ascenso del vapor de un lado a otro de él sin obstruirlo, a la vez que el vapor permitirá el libre flujo de líquido a través del área superficial del plato. El vapor ascenderá por las perforaciones de los dispositivos de contacto, mientras que - el líquido desciende por los conductos colocados para dicho efecto. (Fig. No. 1).

Debido al proceso descrito en cada plato se tendrán diferentes concentraciones de materia tanto de entrada como de salida. Como la presión y la temperatura del último plato en la parte inferior de la torre es mayor que la presión y temperatura del primer plato en la parte superior de la torre, la concentración del componente más volátil será mayor en la parte superior.

Este efecto se presenta a través de toda la altura del recipiente, de tal forma que en dos platos sucesivos, el superior siempre recibirá un vapor rico en el componente más volátil y entregará un vapor con una concentración todavía mayor en el componente más volátil, además de un líquido más rico en el componente más pesado.

### 1.3 DISTRIBUCION DE AREAS

Como en todo equipo de proceso, en el plato se lleva a cabo una función global, la cual depende de los diferentes efectos que provocan los aditamentos del plato.

Dichos efectos se presentan en áreas bien definidas sobre la superficie del plato y alteran de manera importante el diseño y la operación. Las áreas a considerar son: (Fig. No. 3).

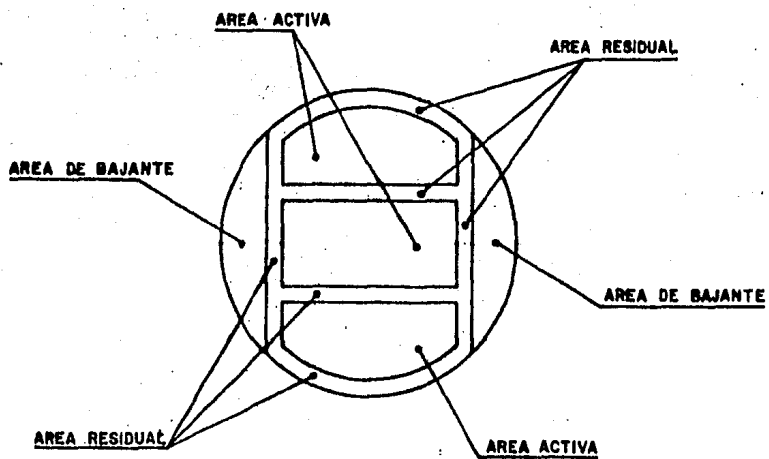
- a) Area de Bajantes
- b) Area de Burbujeo o Activa
- c) Area Residual

a) El área de bajantes es la parte del plato que está destinada para la colocación de un ducto de descenso que recibe el nombre de bajante. Por este conducto, el líquido desciende entre plato y plato.

El área de bajantes cumple con dos propósitos, en primer lugar sirve para intercomunicar los platos entre sí, el líquido del plato superior cae al inmediato inferior, y en segundo lugar, el área de bajante respectivamente en el plato inferior sirve como mampara de choque para recibir el líquido que desciende.

b) Area de Burbujeo o Activa, es el área destinada para la interacción líquido-vapor, la cual generalmente





**FIG. No. 3 DISTRIBUCION DE AREAS  
EN UN PLATO**

te ocupa la porción central del plato.

En ésta área es donde están colocados los dispositivos que permitirán el contacto entre ambas fases.

Esta área comprende la zona del plato entre las bajantes, considerando que en ella se lleva a cabo el contacto de ambas fases, es necesario que todos los diseños estén orientados a obtener el área máxima posible para ésta zona.

- c) Area Residual.- Esta área está comprendida dentro del área activa y su uso es común, ya que generalmente, sirve para permitir el ensamble de las secciones del plato, en el interior de la torre.

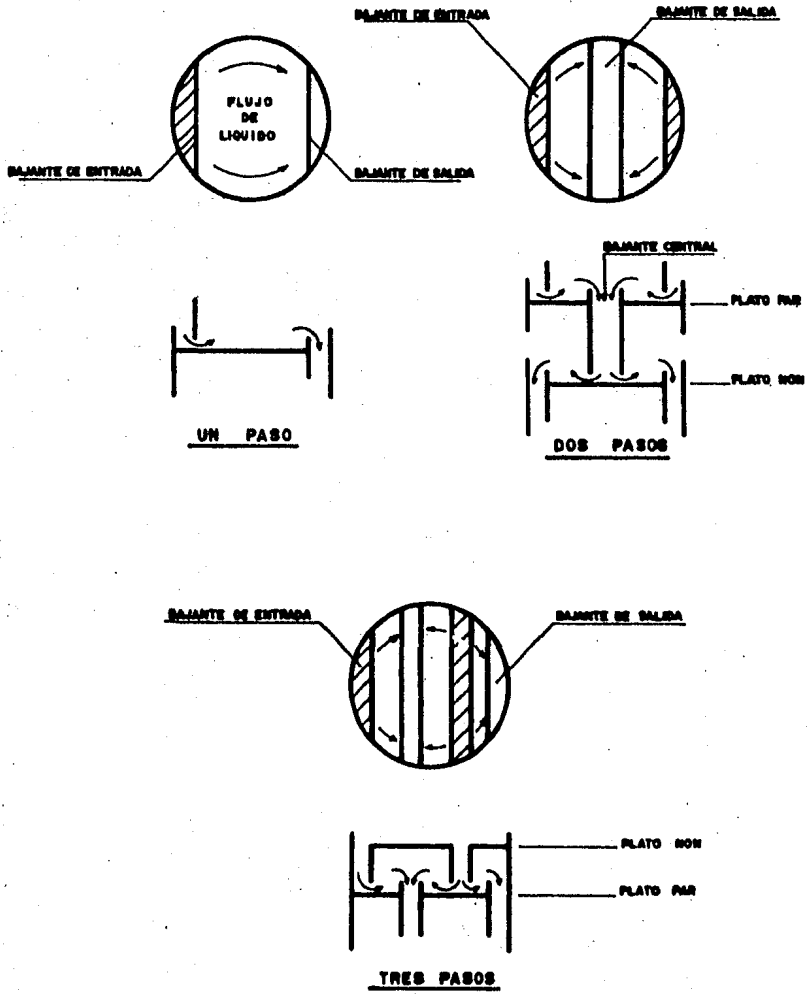
#### 1.4 FORMA DE FLUJOS.

La forma en que el líquido atraviesa la superficie del plato depende de la cantidad de líquido que fluirá y del diámetro de la torre.

La trayectoria que recorre el líquido desde que llega al plato hasta su salida, se denomina paso de líquido. (Fig. No. 4).

Las formas en que el líquido atraviesa el plato, según el número de pasos y el criterio para definir ésta son:

- a) Flujo de un Paso.- El líquido fluye directamente a través del plato desde su entrada hasta la salida



**FIG. N.º 4 TIPOS DE FLUJO DE LIQUIDO**

a través de la bajante. Este es el tipo más común - de plato y representa la construcción más simple y económica.

- b) Flujo de Dos Pasos.- El flujo de líquido se divide en dos partes y cada uno fluye a través de una mitad de plato. Con ésto la trayectoria se divide también en dos partes.

Quando se utiliza éste tipo de flujo, se utilizan dos tipos de platos, uno con dos bajantes laterales, (Platos Nones) y otros con bajante central (Platos Pares).

## 1.5 COMPONENTES.

Para el buen funcionamiento del plato se requiere de - - elementos estructurales que integran al mismo, siendo algunos esenciales y otros adicionales para determinado tipo de plato. (Fig. No. 2).

En general, todos los platos tienen como mínimo los siguientes:

### ELEMENTOS ESTRUCTURALES ESENCIALES

- Vertederos
- Bajantes
- Dispositivos de contacto

- Registro de hombre
- Tinas de sello
- Aros Soporte

#### ELEMENTOS ESTRUCTURALES ADICIONALES

- Tinas de Extracción
- Falsas Bajantes
- Distribuidores de Flujo

#### 1.5.1 Vertederos

Los vertederos son mamparas verticales cuya función es la de mantener una altura predeterminada de líquido sobre el plato, puede haber dos tipos de vertederos; vertederos de entrada y vertederos de salida, en algunos casos ambos pueden estar presentes. (Fig. No. 5).

- a) Vertederos de Salida.- Son generalmente rectos - siendo una extensión de la bajante, pero puede tener otra forma, dependiendo del tipo de bajante. En algunos casos se emplean vertederos ajustables, los cuales permiten variar la altura del vertedero, cuando la flexibilidad del plato es amplia y la altura del líquido a mantener sobre el plato es variable. (Fig. No. 6).

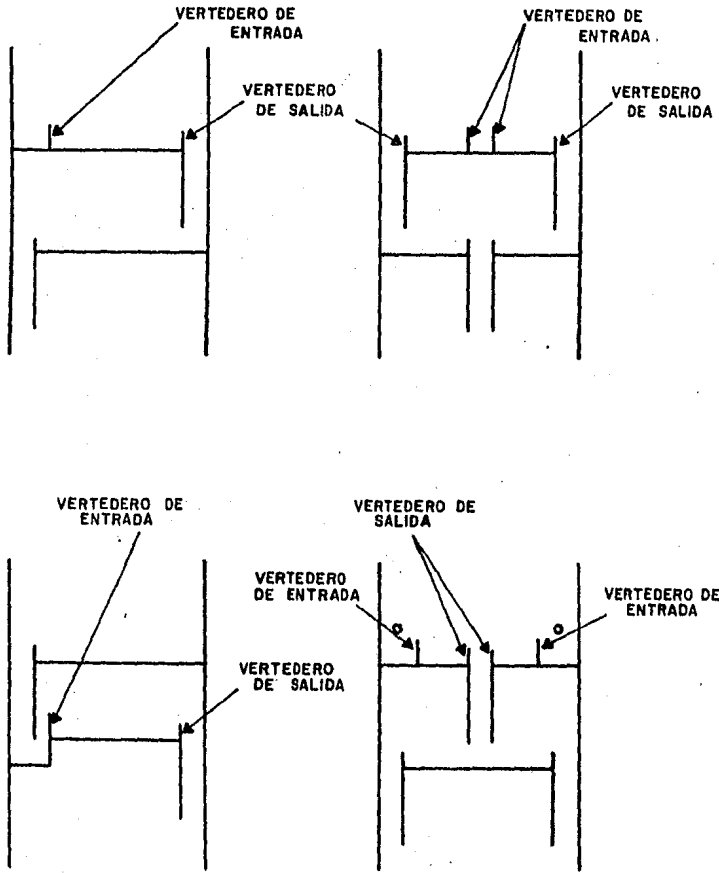


FIG. No. 5 VERTEDEROS

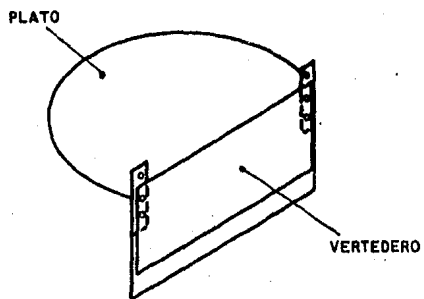
Los vertederos rectos son los más comunes y más utilizados, pero pueden utilizarse vertederos ranurados, éstos consisten en una placa recta en la cual tienen una sección ranurada en "V", por lo que tienen una sensibilidad menor a las variaciones del flujo de líquido, manteniendo dos niveles de líquido aunque varíe el flujo de éste. (Fig. No. 6).

Las dimensiones de los vertederos son la altura y la longitud.

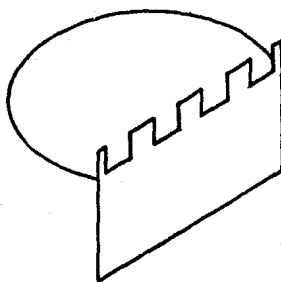
La altura se define generalmente por el requerimiento de la profundidad del líquido en el plato, el cual actúa como un sello hidráulico para el paso del vapor.

- b) Vertedero de Entrada.- Los vertederos de entrada son, comúnmente rectos y están colocados en la parte del plato donde impacta el líquido descendente, es decir en el extremo opuesto en relación al vertedero de salida.

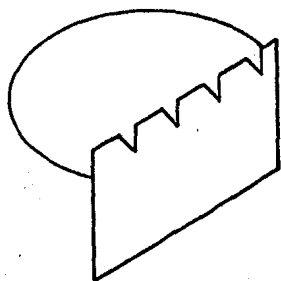
Su función es la de distribuir el flujo del líquido de manera uniforme sobre el plato, porque se forma una especie de represa en donde se acumula cierta cantidad de líquido, el cual desborda a través de toda la longitud del vertedor para entrar uniformemente al plato. (Fig. No. 5).



a) VERTEDERO AJUSTABLE



b) VERTEDERO RANURADO RECTO



c) VERTEDERO RANURADO TRIANGULAR

FIG. No. 6 TIPOS DE VERTEDEROS



### 1.5.2 Bajantes

La bajante es un conducto localizado en un extremo del plato, cuya forma y dimensión depende - principalmente del flujo del líquido que manejará (Fig. No. 7).

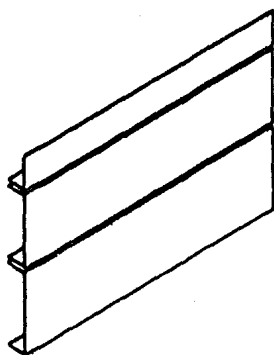
A través de éste componente, el líquido fluye en forma descendente de un plato al inmediato inferior, conectando así dos platos sucesivos. Desde el punto de vista simplificado, la función de la bajante es evitar que el flujo de líquido sea demasiado turbulento, ya que así evita una formación excesiva de espuma la cual, si se llegara a formar, dificultaría el desprendimiento de las burbujas de vapor.

En un plato puede haber una o más bajantes, dependiendo del tipo de plato empleado.

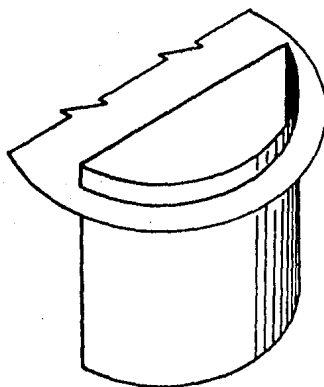
La bajante consta de dos partes: una placa metálica plana y una sección circular que completa el ducto. (Fig. No. 7).

La unión de ambas partes figuran una sección segmental de un círculo, de ahí que se le llame bajante segmental.

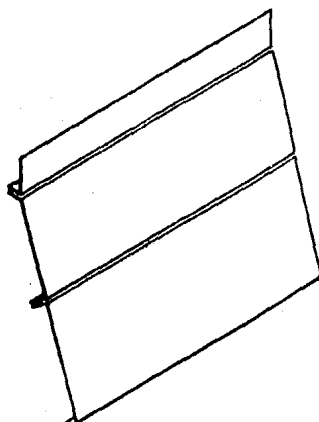
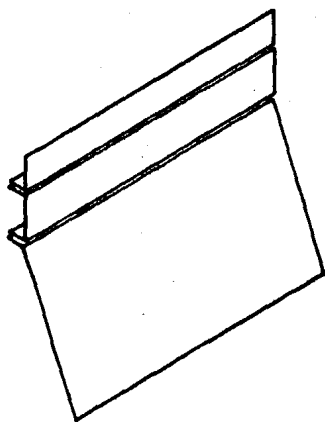
La bajante segmental se puede subdividir en tres tipos:



BAJANTE SEGMENTADA VERTICAL



BAJANTE SEGMENTADA CUBIERTA



BAJANTE SEGMENTADA INCLINADAS

FIG. N.º 7 TIPOS DE BAJANTES

- a) Segmental Vertical.- La placa metálica se coloca verticalmente abajo de la superficie del plato. Justo en el área de bajante y la parte cilíndrica lo que constituye la pared interior de la torre. (Fig. No. 7).

El tipo más comunmente usado debido a su ventaja sobre los demás en simplicidad y costo.

- b) Segmental Cubierta.- La bajante se construye como una pieza por separado y se monta en el plato. Es decir, es similar a la anterior, sólo que la parte circular del segmento lo constituye otra mampara semicircular de diámetro un poco menor que el de la torre.

Generalmente se utiliza para platos tipo cartucho.

- c) Segmental Inclinada.- La parte circular lo constituye la pared interna de la torre y la mampara vertical se inclina hacia adentro del ducto, de tal forma que se tenga áreas seccionales de diferentes magnitudes a lo largo del ducto, teniendo un área mayor en la parte superior de la bajante (al nivel del plato), que llamaremos área superior y una área menor abajo de la bajante - que llamaremos área inferior. Con ésto se logra

incrementar el área disponible sin modificar el área de bajante. (Fig. No. 7).

#### 1.5.3 Dispositivos de Contacto.

La función principal de los dispositivos de contacto es la de proveer el área de contacto entre las fases vapor-líquido, empleándose dispositivos de contacto tipo válvula y perforaciones, la selección de utilizar cualquiera de los dos tipos, va a estar en función de la flexibilidad del plato. (Fig. No. 8).

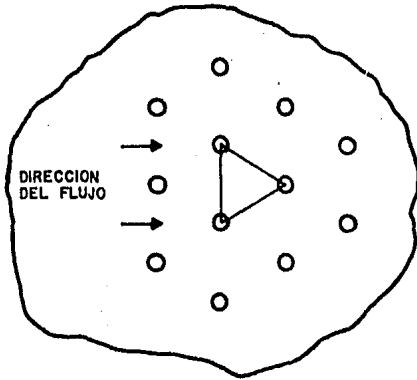
Los dispositivos de contacto se encuentran localizados en el área activa del plato.

#### 1.5.4 Registro de Hombre.

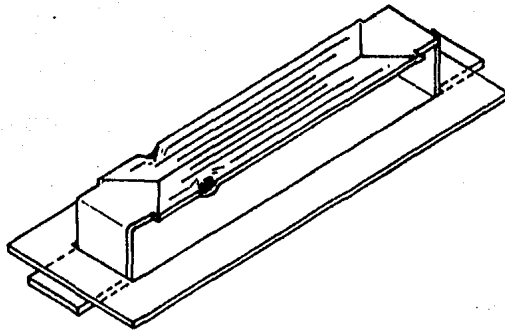
Son partes metálicas desmontables colocadas en el área activa, que generalmente son de forma rectangular, pueden variar sus dimensiones de acuerdo al espacio disponible.

Se diseñan de tal manera que se pueden desensamblar por la parte inferior o superior, permitiendo el acceso del personal de supervisión y mantenimiento, entre plato y plato.

En su superficie se colocan dispositivos de contacto. (Fig. No. 9).



PERFORACIONES



VALVULA

FIG. No. 8 DISPOSITIVOS DE CONTACTO

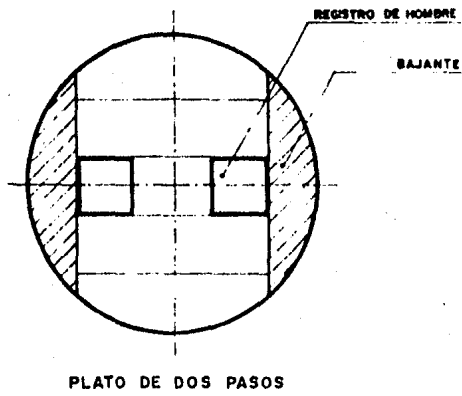
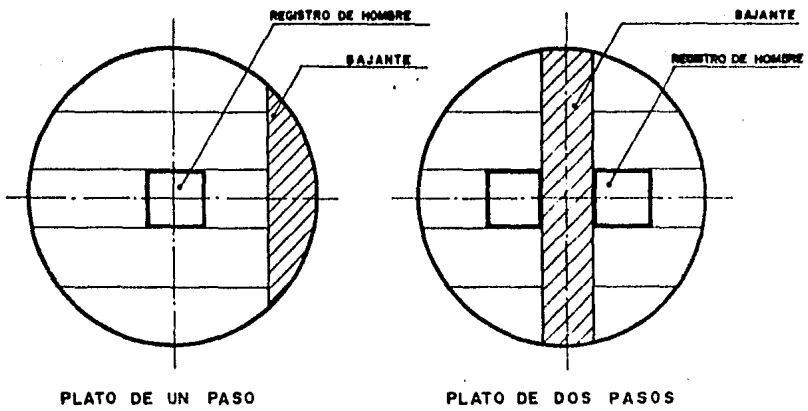


FIG. No 9 REGISTROS DE HOMBRE

#### 1.5.5 Tina de Sello.

La tina de sello se encuentra localizada en el último plato, ubicada en la parte inferior de la bajante.

Su función es la de formar una represa que impida que el vapor alimentado, pase libremente a través de la bajante, para asegurar el sello, la altura del líquido que aloja la tina de sello debe ser mayor que el espaciamiento, entre el piso de tina y la bajante.

El número de tinas de sello va a depender del último tipo de plato, es decir; si es de un paso o más pasos. (Fig. No. 10).

#### 1.5.6 Aros Soporte.

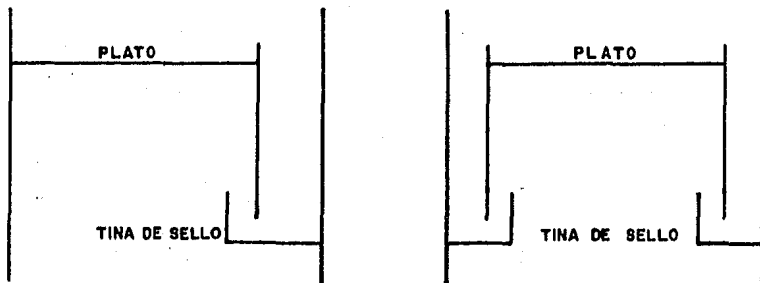
Los platos generalmente son soportados por aros soporte, que se encuentran unidos en forma perimetral a la pared del recipiente. (Fig. No. 11).

Su configuración geométrica será de acuerdo al tipo de plato.

Los aros soporte no se extienden en el área de la bajante.

#### 1.5.7 Falsas Bajantes.

La falsa bajante consiste de una placa metálica



UN PASO

DOS PASOS

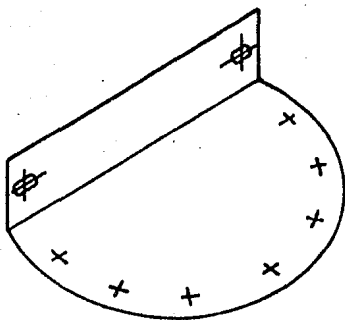
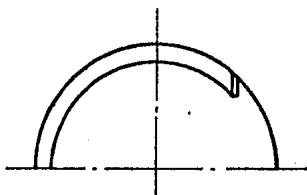
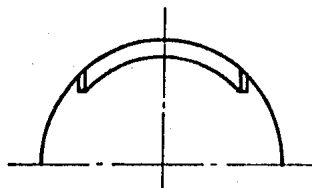
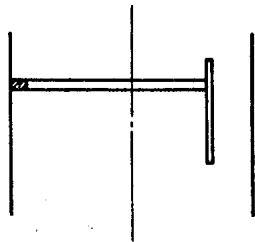


FIG. N.º 10 TINAS DE SELLO

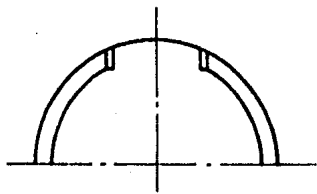
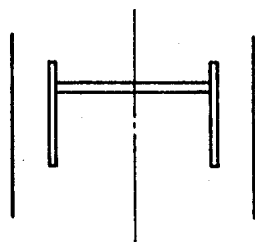




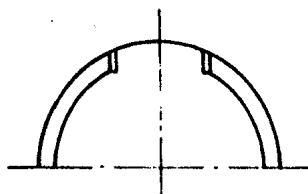
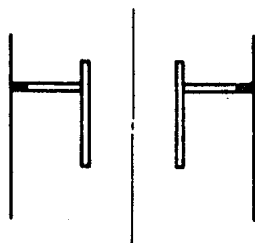
PLATO DE UN PASO



PLATO DE DOS PASOS



PLATO DE DOS PASOS



TINA DE SELLO

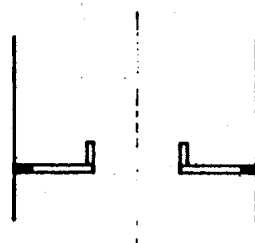


FIG. No. 11 AROS SOPORTE

extendida a través del plato, justo antes del vertedero de salida.

Su función es la de permitir que únicamente fluya líquido libre de espuma por el plato.

Este tipo de componentes es generalmente utilizado cuando se requiere cambiar de pasos de plato. (Fig. No. 12).

#### 1.5.8 Tina de Extracción.

Está localizada en el extremo de la bajante del plato, dentro del área de la bajante del plato superior es decir en el área donde choca el líquido descendente.

Está integrada en el mismo plato, formando un escalón en el mismo. (Fig. No. 13).

Se utilizan en aquellas secciones donde se requiere de extracciones intermedias, puesto que en ésta se forma una laguna de líquido que facilitará la extracción uniforme de líquido.

#### 1.5.9 Distribuidores de Flujo.

Consisten básicamente de tubos, dispuestos en forma de ramales.

Su función principal es la de distribuir el flujo

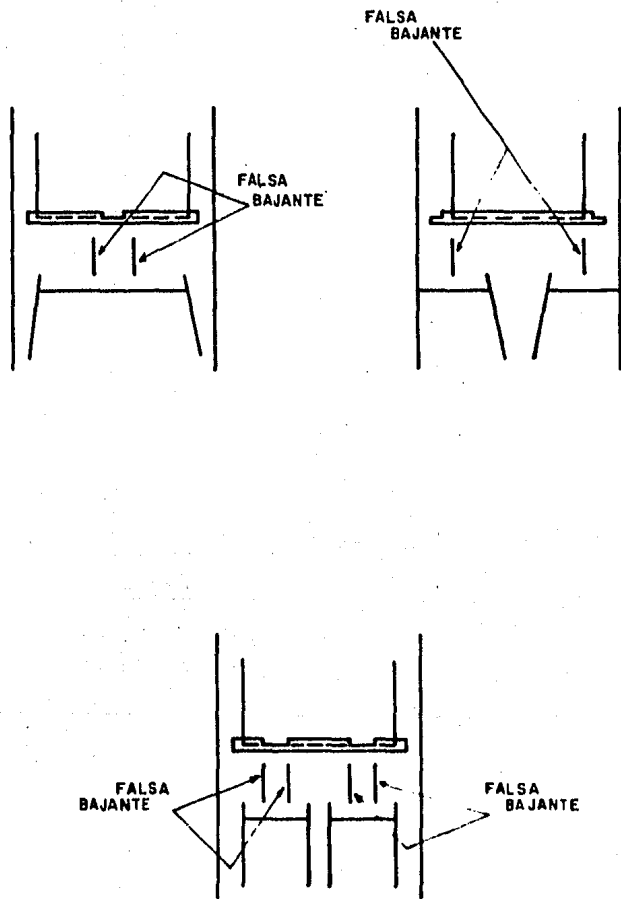
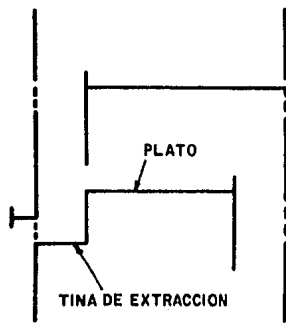
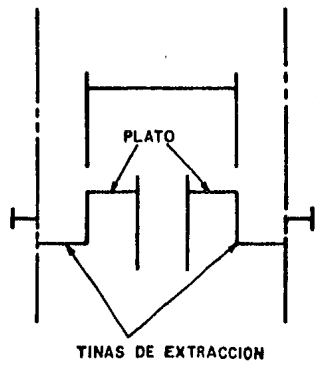


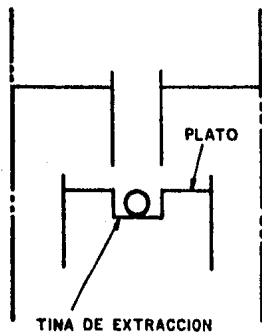
FIG. No. 12 FALSAS BAJANTES



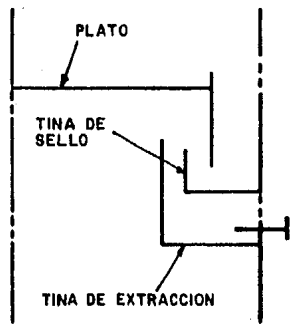
PLATO DE UN PASO



PLATO DE DOS PASOS

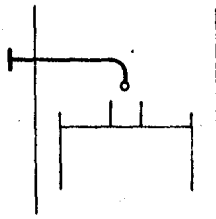
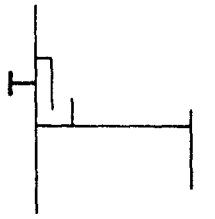
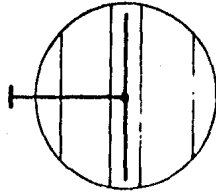
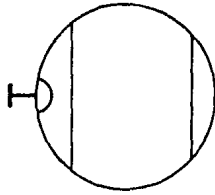


PLATO DE DOS PASOS

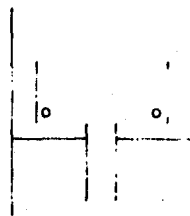
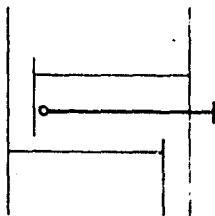
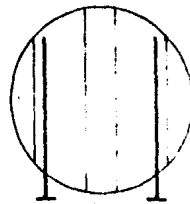
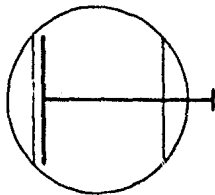


PLATO DE UN PASO

FIG. No. 13 TINAS DE EXTRACCION



DISTRIBUIDORES DE REFLUJO



DISTRIBUIDORES DE ALIMENTACION

FIG. No. 14 DISTRIBUIDORES

del líquido a través de toda el área transversal del plato.

En general el criterio para decidir si una torre lleva o no distribuidores de flujo es el diámetro de la misma, ya que si la torre es pequeña no se requiere su uso, y puede sustituirse por mamparas de choque, pero si es de diámetro grande entonces se requiere el uso de distribuidores.

Los distribuidores de flujo se pueden clasificar en dos tipos de acuerdo al flujo manejado: - - (Fig. No. 14).

- a) Distribuidores de Alimentación, los cuales - están colocados sobre el plato de alimentación y distribuyen el flujo del líquido alimentado.
- b) Distribuidores de Reflujo, que se encuentran en la parte superior de la torre y que distribuyen el flujo de recirculación en la torre.

## 1.6 TIPOS DE PLATOS.

Desde el comienzo de la aplicación industrial, de las torres de destilación, hasta la fecha, se han utilizado una variedad de tipos de platos, los cuales difieren entre sí, principalmente por la forma en que el vapor se pone en contacto con el líquido.

Los cuales se clasifican en dos tipos:

- Platos Perforados
- Platos Válvulados

#### 1.6.1 Platos Perforados.

La placa metálica que constituye el plato, presenta perforaciones simétricamente colocadas en fila que, a diferencia de otro tipo de platos, no se cubre con ningún dispositivo de contacto, sino que el dispositivo de contacto, lo constituye la perforación misma. (Fig. No. 15).

El vapor ascendente pasa verticalmente a través de las perforaciones y se pone en contacto con el líquido que circula a través del plato.

Complementan a éste tipo de platos, la bajante y el vertedero, cuyo número dependen del número y tipo de pasos de líquido utilizados.

No deben emplearse para sistemas corrosivos, ya que al corroerse las perforaciones sufrirán modificaciones en su tamaño, lo que puede implicar variaciones en sus características de operación.

Se aplican en sistemas donde se manejan partículas sólidas suspendidas, fluyendo de plato a plato, siempre y cuando la concentración de dichos sólidos no sea alta, ya que corre el riesgo de que las perforaciones sufran obstrucciones.

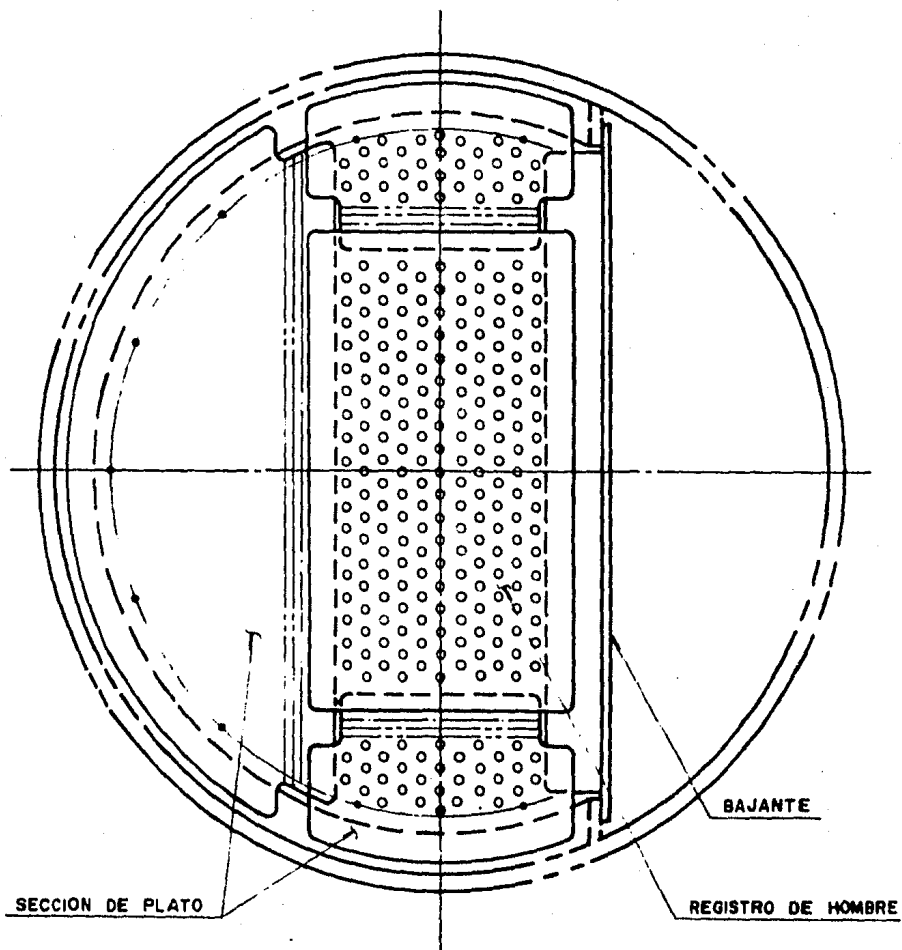


FIG. No. 15 PLATO PERFORADO



### 1.6.2 Platos Válvulados.

Debido a las limitaciones en la operación de los platos perforados convencionales, se han desarrollado dispositivos que permiten regular el flujo de vapor, dentro de ciertos límites, lo cual se logra regulando el área disponible de las perforaciones para el flujo de vapor. Estos dispositivos son válvulas colocadas sobre ranuras y aseguradas por medio de guías (patas), las cuales las sostienen sobre la superficie del plato.

Estas válvulas se elevan cuando se incrementa la velocidad de vapor y permanecen abiertas o se cerrarán intermitentemente sobre las ranuras a medida que la carga de vapor varíe.

Al usar válvulas de dos o más espesores diferentes, se asegura que la válvula opere satisfactoriamente aún cuando el plato no esté nivelado, - ya que se distribuyen adecuadamente ambos flujos.

En los arreglos de éste tipo de platos, generalmente se alternan filas con válvulas de diferente espesor con el fin de aumentar su capacidad, de modo que las válvulas más ligeras se abren durante el paso del 20 al 30% del flujo y las más pesadas abren cuando se tiene el 50 al 70% del flujo.

El resultado global es que el plato opera satisfactoriamente aún cuando se esté operando a muy altos o bajos flujos de vapor comparado con los flujos de diseño, en cuyo caso todas las válvulas permanecen completamente abiertas.

Las válvulas son comunmente llamadas válvulas flotantes, de forma rectangular, siendo la configuración geométrica más usada debido a su simplicidad y economía de construcción y a su adaptabilidad para cualquier requerimiento.

El elemento de la válvula es una placa metálica-rectangular, que se dobla en sus extremos en forma de "L", (Fig. No. 8), para formar las guías o patas.

La válvula es introducida en una ranura de la misma configuración hecha en el plato, con dimensiones un poco menores que el de la válvula. - (Fig. No. 16).

Por su forma de construcción, las válvulas flotantes se abren al iniciarse el paso del flujo de vapor y al aumentar éste, se abren completamente y permanecerán en esa posición mientras el flujo del vapor permanezca constante.

En la ausencia de vapor, las válvulas flotantes permanecerán

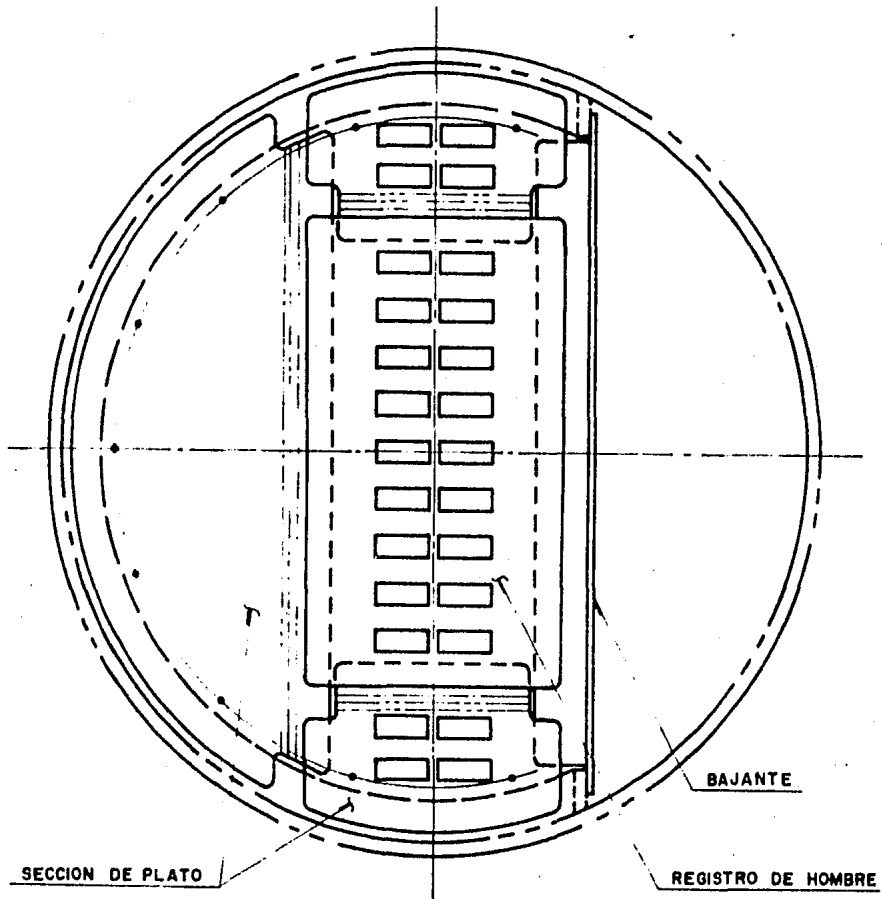


FIG. No. 16 PLATO VALVULADO

cerradas y goteará una pequeña cantidad de líquido a través de ellas, sin embargo el goteo se interrumpirá tan pronto como empieza a fluir vapor por el plato.

#### 1.7 PLATOS TIPO CARTUCHO.

Este tipo de platos se componen de los mismos elementos estructurales que los demás tipos de platos, sin embargo éstos se diferencian por la forma de integrarlos, ya que se estructuran de tal manera que se integran en paquetes de 6 platos máximo, (Fig. No. 17) para formar los paquetes los platos se unen por medio de tubos espaciadores y a su vez con varillas tensoras las cuales se integran a los soportes, lográndose formar un paquete que comunmente se le conoce como cartucho. Los soportes permiten izar el cartucho para ser instalado o desmontado por la parte superior de la torre.

Los platos tipo cartucho, se emplean para diámetros pequeños de torres ( $D_{int_T} < 1067 \text{ mm.}$ ), donde no es posible manejar platos del tipo convencionales, por el espacio tan reducido que se dispone para el ensamble de platos.

Este tipo de platos emplean el tipo de bajantes segmental cubierta. Lo mismo que los otros tipos de platos, los platos tipo cartucho son diseñados para los diferentes tipos de dispositivos de contacto (Tipo válvulado o perforado).

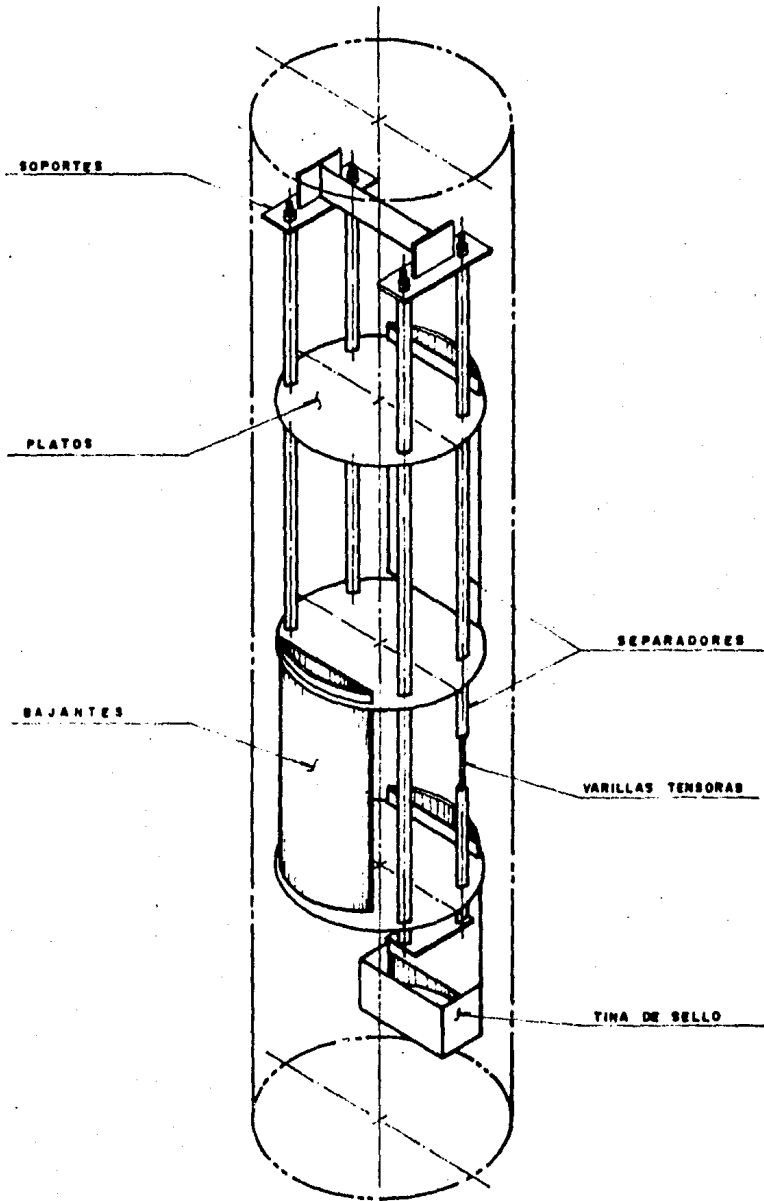


FIG. No. 17 PLATOS TIPO CARTUCHO

En éste tipo de platos se manejan flujos de líquido bajos, por lo que generalmente son de un paso.

#### 1.8 TORRES CON EMPAQUE.

Este tipo de torres son comunmente conocidas como torres empacadas, y son utilizadas para el contacto continuo de las fases vapor-líquido, que consisten de secciones empacadas, las cuales se han rellenado con dispositivos de superficie llamados empaques.

Donde el líquido se distribuye sobre éstos y escurre hacia abajo, a través de la sección empacada. (Fig. No. 18).

Las torres empacadas se componen básicamente de los elementos estructurales siguientes:

- a) Empaques
- b) Soporte de Empaques
- c) Limitadores de Empaques
- d) Distribuidores de Líquido
- e) Redistribuidores

##### a) Empaques

Los empaques son el elemento principal de una torre empacada, existiendo una gran variedad de éstos en cuanto a su forma y dimensiones. (Fig. No. 19).

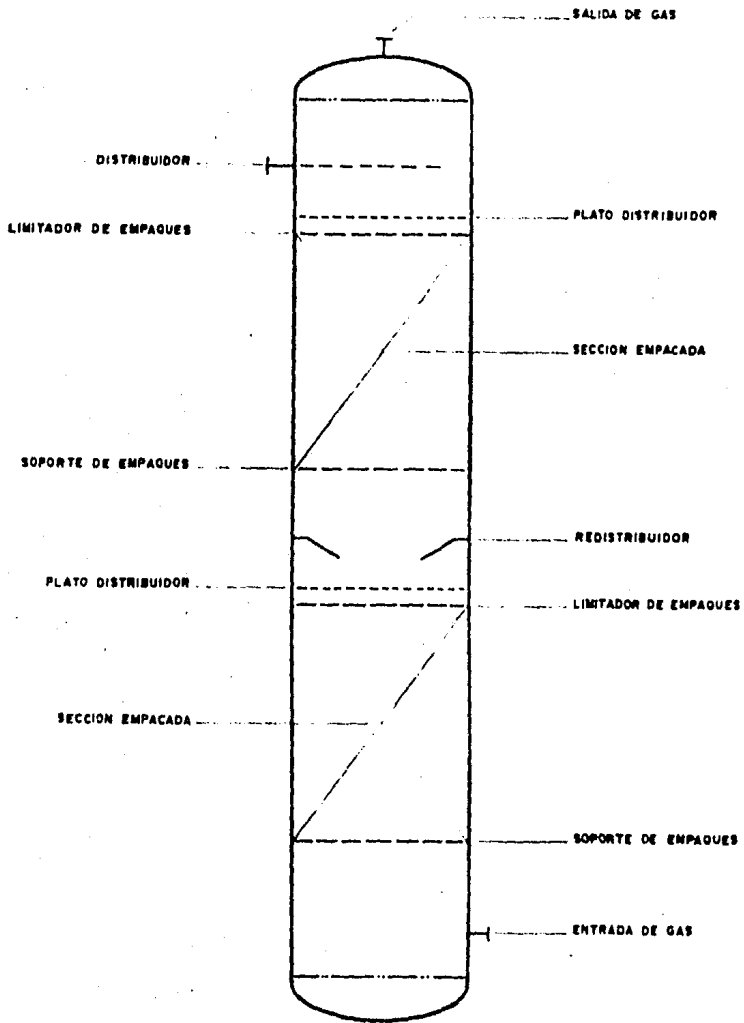


FIG. N.º 18 DISTRIBUCION DE UNA TORRE EMPACADA



RASCHIG RING



LESSING RING



CROSS-PARTITION RING



TRIPLE SPIRAL RING



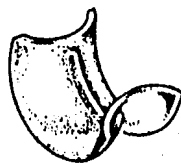
DOUBLE SPIRAL RING



SINGLE SPIRAL RING



LESSING RING



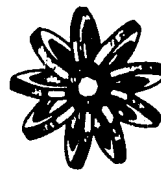
INTALOX SADDLE



BERL SADDLE



RASCHIG RING



TELLER ROSETTE

FIG. No. 19 TIPOS DE EMPAQUES



Los empaques deberán presentar una adecuada resistencia química, de acuerdo a las condiciones del servicio, para lo cual se emplean materiales cerámicos, metálicos y plásticos para su fabricación.

Durante su instalación, los empaques se vierten en la torre, cayendo en forma aleatoria.

Con el fin de prevenir la ruptura de los empaques de cerámica, la torre puede llenarse inicialmente con agua para reducir la velocidad de caída.

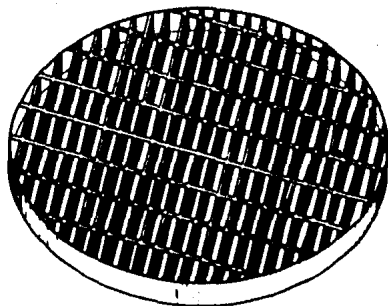
El costo de una torre empacada para diámetros grandes, es mayor que para una de platos, para diámetros pequeños se invierte el costo. Una torre empacada se instala en menos tiempo que una de platos.

b) Soporte de Empaque.

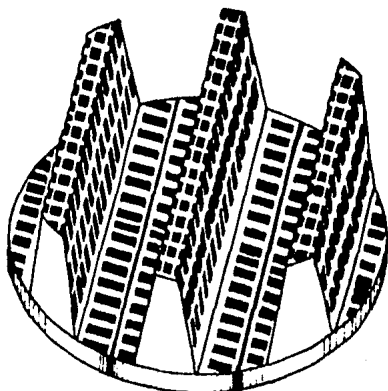
La función principal del soporte es la de soportar a la sección empacada.

Los soportes de empaque deberán tener un área libre suficientemente amplia para permitir el flujo de líquido y del gas con un mínimo de restricción.

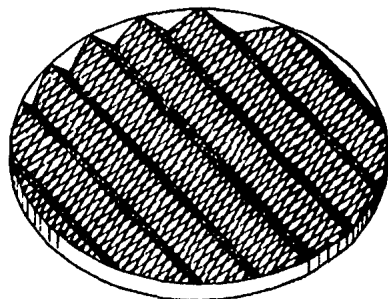
Deben ser lo suficientemente resistentes para soportar el peso propio y a la sección empacada, su forma y dimensiones varían de acuerdo al tipo de empaque -



TIPO DE REJILLA



TIPO DE ACANALADO



TIPO DE MALLA

FIG. N.º 20 SOPORTES PARA EMPAQUES

empleado, altura de la sección y a las condiciones de servicio. (Fig. No. 20).

Para diámetros de torres mayores de 2.5 metros, los soportes de empaques son auxiliados con vigas soporte.

c) Limitadores de Empaque.

Se emplean con el propósito de evitar la expansión de la sección empacada con cambios súbitos en la carga de vapor, restringiendo el levantamiento del empaque.

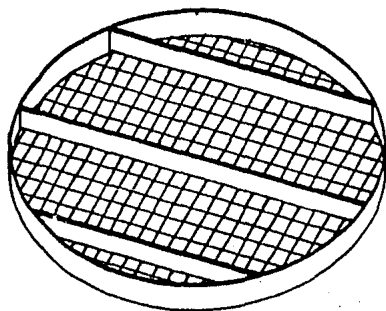
Los limitadores de empaque se complementan con una malla para evitar el paso de las piezas individuales de empaque.

En cuanto a su forma, se prefiere que tengan las mismas características geométricas que el soporte de empaque. (Fig. No. 21).

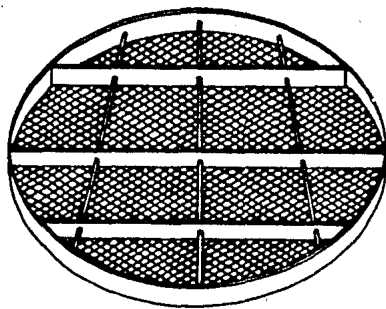
La selección de los materiales de fabricación estará de acuerdo a las condiciones de operación.

d) Distribuidores de Líquido.

La distribución de líquido en las secciones empacadas es uno de los factores de gran importancia para las condiciones de operación, por lo que un distribuidor de líquido deberá tener las siguientes características.



TIPO SOLERAS



TIPO VIGAS

FIG. N.º 21 LIMITADORES DE  
EMPAQUES

1. Distribución uniforme de líquido
2. Suficiente área libre para flujo de vapor
3. Resistencia al taponamiento y al ensuciamiento

Generalmente se emplean dos tipos de distribuidor de líquido, el de orificio y el de vertederos.

(Fig. No. 22).

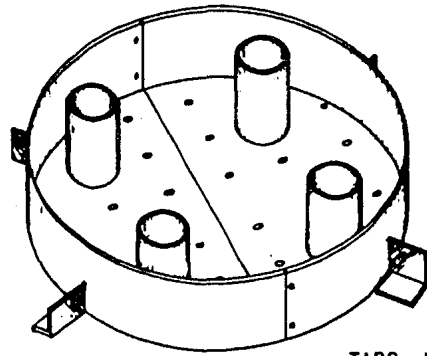
Los distribuidores se soportan sobre aros o ménsulas, unidos a la pared interna de la torre. Deben estar perfectamente ensamblados para evitar desalineamientos.

e) Redistribuidores.

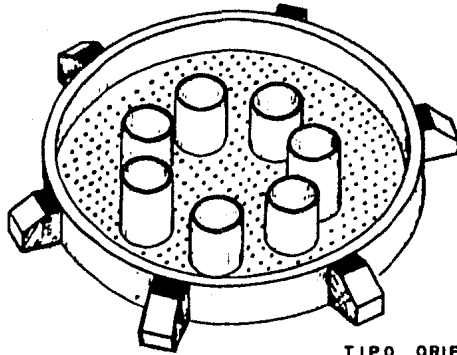
La redistribución de líquido en una torre empacada, es otro factor importante para las condiciones de operación.

La función de los redistribuidores de líquido, es coleccionar el líquido que cae de la sección empacada superior y distribuirlo uniformemente en la sección empacada inferior.

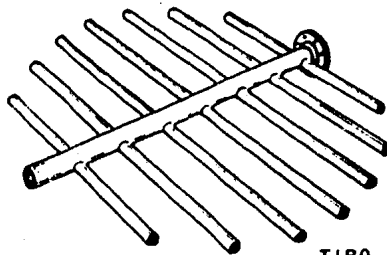
La justificación de su aplicación es porque todos los empaques que se emplean actualmente, orientan en menor o mayor grado, el flujo de líquido hacia la pared de la torre, por lo que se hace necesario utilizar éste tipo de elementos. (Fig. No. 23).



TIPO VERTEDOR

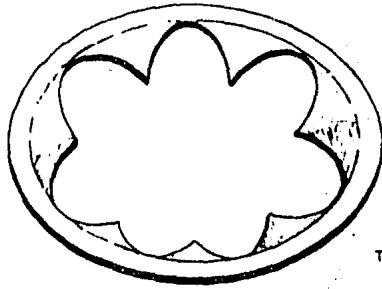


TIPO ORIFICIO

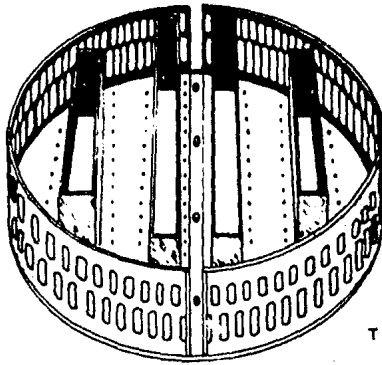


TIPO ORIFICIO

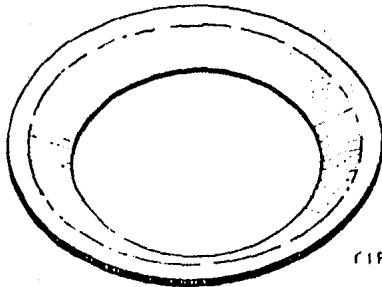
FIG. N.º 22 DISTRIBUIDORES DE LIQUIDO.



TIPO ROSETTE



TIPO METALICO



TIPO CONICO

FIG. N.º 23 REDISTRIBUIDORES.

## 2. DISEÑO DE PLATOS

El alcance del diseño de platos e internos estructurales engloba; a la estructuración (dimensionamiento), el análisis - del comportamiento mecánico, así como la influencia directa del medio en que se encuentran, y por consiguiente las consideraciones que se deben tomar en cuenta para garantizar ciertos requisitos funcionales.

Enfocándose a lograr diseños óptimos, que resulten factibles, económicos y seguros.

El diseño mecánico de platos e internos estructurales, está normado principalmente por las recomendaciones dadas por las especificaciones AISC (American Institute of Steel Construction), y por las especificaciones para materiales de fabricación ASTM (American Society for Testing and Materials), y por el Código - ASME (The American Society of Mechanical Engineers), Sección - VIII, División 2 (estando tabuladas las propiedades mecánicas; Módulo de Elasticidad, Coeficiente de expansión Térmica y Esfuerzo de fluencia a diferentes temperaturas).



## 2.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Las condiciones de diseño, generalmente, son diferentes a las de operación, por lo que es necesario reglamentar el nivel mínimo de seguridad al que debe apearse el diseño:

### 2.1.1 Cargas de Diseño.

Los platos e internos estructurales están sujetos a diferentes tipos de cargas:

- a) Cargas Gravitacionales
- b) Cargas por Sobrecarga
- c) Cargas por Impacto
- d) Cargas por Efectos de Temperatura

#### a) Cargas Gravitacionales

Este tipo de cargas son consideradas como el Peso Propio y el Peso del Líquido donde; el peso propio se estima a partir del peso específico del material seleccionado para la fabricación de los platos, mientras que para el peso del líquido se recomienda considerar un peso específico de  $9804 \text{ N/m}^3$ .

#### b) Cargas por Sobrecarga.

Estas cargas son provocadas por sobrecargas

por inundación de platos, y se pueden considerar dando una altura de líquido de 50 mm. por arriba del vertedero más alto que se instale en el plato o una carga viva de  $900 \text{ N/m}^2$ , la que resulte más crítica.

c) Cargas por Impacto.

Estas cargas son provocadas por la caída de líquido sobre los platos en el área bajo bajantes, por lo que deberá considerarse una carga de  $1470 \text{ N/m}^2$ , o el peso de líquido contenido a la mitad de la altura de la bajante la que resulte mayor, con lo cual se cubre la carga por impacto.

d) Cargas por Temperatura.

Con las dilataciones de los materiales se pueden obtener cargas por temperatura equivalentes, pero es conveniente no transmitir estas cargas a otros miembros estructurales ni a la pared de la torre, lo cual se logra dejando espacios libres para absorber dilataciones y contracciones.

Para condiciones de instalación y mantenimiento a temperatura ambiente, se deberá de considerar una carga concentrada de  $735 \text{ N}$ , sobre -

cualquier punto.

Estas condiciones de carga no deberán producir deflexiones respecto a la horizontal mayores de  $1/1000$  del diámetro de la torre.

Se deberán de considerar cargas concentradas durante el ensamble y mantenimiento en todos los soportes de internos, vigas, armaduras y ménsulas de 1372 N, en cualquier punto, las cuales se considerarán en condiciones corroídas y a temperatura ambiente.

#### 2.1.2 Esfuerzos Admisibles de Diseño

Para el diseño de los elementos estructurales, no se cuenta a la fecha con códigos de diseño estructural que cubran el amplio tipo de aceros que se utilizan en la fabricación de los platos, pero se pueden seguir las recomendaciones dadas por las especificaciones A.I.S.C. (American Institute of Steel Construction), adecuando convenientemente las fórmulas de diseño que presentan estas especificaciones a las propiedades físicas de los materiales de los platos.

Por lo que el esfuerzo máximo admisible para - -

los materiales de fabricación deberá ser igual al 60% del esfuerzo de fluencia a la temperatura, a la cual se consideren las condiciones de carga.

El esfuerzo de fluencia para los materiales de fabricación, de los platos e internos estructurales, será como se define en el código ASME - Sección VIII, División 2 de acuerdo a la última edición

## 2.2 SELECCION DE MATERIALES

Para la selección de los materiales de fabricación de los platos e internos estructurales, se tomarán en consideración los siguientes aspectos:

### a) Corrosividad de los flúidos.

Es un aspecto sumamente muy importante, ya que generalmente los servicios en que se utilizan los platos e internos estructurales, se manejan flúidos con compuestos químicos que deterioran (desgastan), los materiales seleccionados; por lo que se deberán analizar todos y cada uno de los componentes que constituyen cada corriente de flujo, y comparar su grado de agresividad en relación al material seleccionado.

Los materiales más comúnmente empleados para la fabricación de Platos e internos estructurales, se muestran en la Tabla 1.

Los materiales se especificarán de acuerdo a las normas ASTM.

T A B L A 1

Composición Quim. Nominal	Placas, Láminas	Barras ó Formas	Tornillos	Tuercas
Acero al Carbono y Baja Aleación	A 36	A 36	A-193-86	A-193-6
	A 285-C	A 242	A-193-87	A-193-7
	A 387-5,7 ó 9	A 283		
	A 414-C	A 441		
12% Cr	A 176-4105 A 240-410	A 276-405 A 276-410	A-193-86	A-194-6
18% Cr- 8% Ni	A 167-304 A 240-304	A 276-304	A-193-88	A-194-8
18% Cr - 8% Ni Con bajo conte- nido de Carbono	A 240-304L	A 276-304L	A-193-88	A-194-8
18% Cr- 8% Ni-Ti	A 167-321 A 240-321	A 276-321	A-193-88T	A-194-8T
16% Cr- 13% Ni 3% Mo.	A 167-316 A 240-316 A 240-316L	A 276-316L	A-198-88M	A-194-8M
67% Ni- 30% Cu	B 127-400	B 164-400	B-164	B-164

b) Costo de Materiales de Fabricación.

Seleccionar que el material para los platos e internos estructurales resulte costeable, ya que el empleo de materiales aleados resulta más costoso en relación a los materiales no aleados.

c) Disponibilidad de Materiales.

Los materiales seleccionados para fabricación, deben ser; de preferencia de fabricación nacional, con el propósito de evitar materiales de importación que resultan ser más costosos y con un mayor tiempo de espera para su adquisición.

## 2.3 ESTRUCTURACION DE PLATOS

Para llevar a cabo la estructuración de platos, es necesario analizar los datos mínimos para el diseño mecánico estructural de platos, los cuales son proporcionados en las "Hojas de Datos de Proceso de Platos", por el diseño de proceso.

Los datos proporcionados se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a) Características de Platos
- b) Datos Hidráulicos
- c) Características Geométricas

a) Características de Platos:

- Tipo de plato
- Diámetro
- Espaciamiento entre platos
- Número de Pasos

- Tipo de bajante
- Altura de vertedero
- Tipo de unidades de contacto
- Número de unidades de contacto

b) Datos Hidráulicos:

- Altura de líquido en las bajantes
- Altura de líquido sobre el vertedero
- Altura de líquido sobre tina de sello o extracción

c) Características Geométricas:

- Arreglo de las unidades de contacto
- Ancho de bajante
- Espacio entre bajante y piso de plato
- Tina de sello

2.3.1 Estructuración.

La estructuración se entiende como el desarrollo de la configuración geométrica del plato, basándose en el análisis consecutivo de las características del plato.

Para realizar el dimensionamiento del plato, es necesario llevar la secuencia lógica siguiente:

a) Tipo de platos:

El tipo de platos está clasificado de la - -

siguiente manera:

- De acuerdo al número de pesos
- Si es, perforado o válvulado.

b) Diámetro exterior del plato:

Está determinado en función del diámetro del recipiente, por lo que se recomiendan los siguientes valores:

Diámetro Interior de la Torre	Diámetro de la Torre menos el Diámetro del Plato
DI $\leq$ 1,000 mm	25 mm
1,000 DI $\leq$ 1,800 mm	32 mm
1,800 DI $\leq$ 3,500 mm	38 mm
3,500 DI $\leq$ 6,700 mm	50 mm
DI $>$ 6,700 mm	75 mm

c) Traslapes.

Los traslapes están considerados en el piso del plato, es decir; en donde se efectúa la unión entre las secciones de plato y soportes de las mismas, los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera:



Traslapes:

1. Entre secciones de plato y aro soporte
2. Entre secciones de plato
3. De bajante con secciones de plato
4. Entre secciones de plato y vigas soporte

1. Traslape entre secciones de plato y aro soporte.

Se encuentra localizado en la periferia del plato y sus dimensiones varían en función del ancho del aro soporte, el cual se determina en relación al diámetro interior de la torre:

Diámetro Interior de la Torre.	Ancho del Aro Soporte
$DI > 2500 \text{ mm}$	50 mm
$2500 \leq DI \leq 3500 \text{ mm}$	64 mm
$3500 \leq DI \leq 4500 \text{ mm}$	75 mm
$4500 \leq DI \leq 6000 \text{ mm}$	90 mm
$DI > 6000 \text{ mm}$	113 mm

2. Traslape entre secciones de plato.

Involucra tres aspectos; el traslape entre secciones de plato, tornillería de sujeción y conformado de la sección de plato. Considerandose

32 mm, para el traslape entre secciones, 18 mm, para la localización de la tornillería y 10 mm, para el conformado de la sección, sumándose un traslape de 60 mm, mínimo.

3. Traslape de bajante con secciones de plato

La bajante se emplea como soporte de las secciones de plato, considerando un traslape de 32 mm, mínimo.

4. Traslape entre secciones de plato y vigas soporte.

Este traslape está condicionado siempre y cuando se utilicen vigas soporte y se consideran 50 mm, como mínimo.

d) Estructuración del Registro de Hombre.

Todos los platos con diámetro mayores de 1000 mm, deberán contar con registros de hombre que permitan el acceso de un plato a otro, en platos de un paso ó más pasos, deberán contar con un registro por cada paso.

De preferencia los registros serán de forma rectangular de 400 mm x 500 mm, 330 mm x 560 mm ó 305 mm x 406 mm, en casos muy necesarios donde el espacio esté restringido.

Los registros no deberán formar parte de las secciones de sello en las bajantes.

No será necesario el uso de registros, cuando existan espacios suficientemente amplios para el acceso de un plato a otro y de un lado a otro de las vigas soporte.

e) Estructuración de Secciones de Plato.

La estructuración consiste en dimensionar las secciones que integrarán al plato. La cual se inicia a partir de la ubicación del registro de hombre del plato, estableciéndose que éste estará localizado en la parte central del plato.

Tomándose el valor del radio interior de la torre y restándole la dimensión del registro de hombre en la dirección en donde esté orientada la unión de las secciones de plato, menos la holgura del plato al aro soporte; del resultado obtenido se divide en un número de partes iguales, dándonos el ancho de las secciones.

Revisando que las dimensiones sean tales que permitan ser introducidas al recipiente a través de los registros de hombre, debiéndose considerar la canal integral de la sección del plato.

f) Distribución de Unidades de Contacto.

Para poder efectuar la distribución se deben de tomar en cuenta los traslapes, con la finalidad de no invadir estas áreas con las unidades de contacto.

Tanto para platos válvulados o perforados, se ha reglamentado que la línea de centro de la to  
rra coincida con el centro de una válvula o per  
foración con el propósito de iniciar la distribución, respetando los espaciamientos o arreglos indicados.

El punzonado de los platos podrá realizarse sobre cualquier cara de éstos.

Las áreas perforadas deberán iniciarse a una distancia mínima de 65 mm a partir de los ver  
taderos. El área del plato sin perforar por in  
terferencia por soportes o vigas, no deberá exceder de 200 mm y 75 mm de largo y ancho res  
pectivamente

El arreglo de las válvulas, en sentido longitudinal deberá orientarse en dirección paralela al  
flujo.

El arreglo de perforaciones, cuadrado deberá orientarse en dirección paralela al flujo. El

arreglo triangular deberá orientarse con la base del triángulo normal a la dirección del flujo. El diámetro de las perforaciones deberá ser de acuerdo a lo especificado en las hojas de datos, y la variación en cuanto al número de perforaciones no deberá variar de  $\pm 4\%$ .

El punzonado de platos deberá ser uniformemente distribuido sobre la superficie de contacto; ésta es, el número de válvulas o perforaciones por unidad de área deberá ser constante sobre todo el plato.

Generalmente la distribución deberá cumplir con el número de unidades de contacto requeridas.

g) Distribución de HERRAJES DE SUJECIÓN.

Los herrajes se emplean para el ensamble de las secciones de plato y sus soportes; su función principal es la de garantizar que las secciones que componen al plato se comporten como un mismo piso de plato, siendo localizados en los traslapes.

Los herrajes de sujeción se integran de roldanas, grapas de sujeción y tornillería, por lo cual en la distribución se ha optado en manejar exclusivamente los barrenos en los cuales

están localizados, por lo que se ha establecido el siguiente criterio:

La distancia entre centros de barrenos para el anclaje de las secciones de platos, se ha especificado en un rango de 90 mm mínimo y 200 mm como máximo, en el sentido longitudinal del ensamble entre secciones de plato, de preferencia a partir de la línea de centro del plato.

La distribución de los barrenos perimetrales, estará determinada por la proyección de la distribución de los barrenos de las secciones de plato, con la finalidad de simplificar el vaciado de la información.

Teniéndose además la precaución de que los herrajes de sujeción no interfieran con las unidades de contacto, o con los elementos estructurales.

Las roldanas y grapas de sujeción deberán ser de calibre 12 (2.65 mm).

Los herrajes de sujeción se fabricarán de material resistente a la corrosión, de preferencia de acero inoxidable, con el propósito de no tener problemas por corrosión, en las maniobras

de mantenimiento.

h) Estructuración de la Tina de Sello.

Para efectuar la estructuración de la tina de sello, es necesario tomar en cuenta los siguientes factores: espaciamiento entre el último plato y la tina de sello y el ancho de la tina de sello, ya que el espaciamiento nos determinará la altura de líquido que se alojará entre el plato y la tina, la dimensión del ancho de la tina de sello, va a estar en función del ancho de la bajante, que en conjunto con el espaciamiento, nos determinará que tipo de estructuración se empleará para soportar la carga de líquido sobre la tina.

En platos de un paso con anchos de tina de sello menores de 400 mm, se prefiere que se integren de una sola pieza, para platos de dos o más pasos se estructurarán de acuerdo a sus dimensiones.

La distribución de los barrenos perimetrales para la sujeción de la tina de sello al aro soporte de la tina, la distancia entre centros de barrenos deberá estar entre 90 mm y 200 mm máximo.

Las secciones estructurales que integran a la tina o tinas de sello, tendrán dimensiones tales que permitan ser introducidas a través de los registros de hombre del recipiente.

#### 1) Estructuración de Bajante.

La bajante aparte de su función principal como conducto descendente que comunica al plato superior con el plato inferior, se emplea como elemento de sostén para el plato, y para retener la altura de líquido alojado.

Por lo que su estructuración debe garantizar una adecuada resistencia, empleándose en éste caso secciones estructurales tipo canal y ángulos.

El dimensionamiento de la bajante va a depender del espaciamiento entre platos, siendo comúnmente de 457 mm y 610 mm y de 910 mm para instalación o mantenimiento, y del espacio entre la bajante y el piso del plato, estando en un rango de 19 mm a 38 mm. En una misma torre se pueden tener los tres tipos de espaciamientos mencionados.

El espaciamiento de los barrenos para la sujeción entre secciones de bajante, será de - -



acuerdo a la siguiente convención; que la distancia entre centros de barrenos sea de 140 mm, y espaciados a partir de la  $\varnothing$ , de la torre.

j) Estructuración de Soportería:

La configuración de la soportería difiere en el tipo de plato, es decir; si es de un paso - de dos o más pasos, conviniéndose por su uso común los siguientes soportes:

- Aros Soportes
- Soportes de Bajante
- Soportes para Tinas de Sello o Extracción

Para diámetros de torres mayores de 4,000 mm, se emplean:

- Placas Soporte
- Ménsulas

La selección del ancho del aro soporte será de acuerdo al diámetro exterior del plato y al traslape entre secciones de plato y aro soporte.

El material de fabricación para la soportería en general, será de acuerdo al material especificado para la pared del recipiente, en los

acuerdo a la siguiente convención; que la distancia entre centros de barrenos sea de 140 mm, y espaciados a partir de la  $\phi$ , de la torre.

j) Estructuración de Soportería.

La configuración de la soportería difiere en el tipo de plato, es decir; si es de un paso - de dos o más pasos, conviniéndose por su uso común los siguientes soportes:

- Aros Soportes
- Soportes de Bajante
- Soportes para Tinas de Sello o Extracción

Para diámetros de torres mayores de 4,000 mm, se emplean:

- Placas Soporte
- Ménsulas

La selección del ancho del aro soporte será de acuerdo al diámetro exterior del plato y al - traslape entre secciones de plato y aro soporte.

El material de fabricación para la soportería en general, será de acuerdo al material especificado para la pared del recipiente, en los

casos en que el recipiente tenga un recubrimiento de diferente especificación al de la pared del mismo, la soportería deberá ser de la misma especificación del recubrimiento.

k) Aspectos Generales Sobre la Estructuración.

En el desarrollo de la estructuración se deben realizar actividades de ingeniería de detalle, con la finalidad de poder visualizar que los detalles para los platos e internos estructurales ensamblen perfectamente y no se interfieran entre ellos mismos, o con la tornillería de sujeción, o con cualquier otro elemento estructural.

Con la realización de la ingeniería de detalle, permitirá poder efectuar si es necesario detalles de ensamble para su mejor comprensión; en la fabricación de los platos e internos estructurales.

#### 2.4 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN PLATO.

El presente, tiene como objetivo describir el diseño y métodos de análisis de los platos e internos estructurales.

Ya que a diferencia de cualquier otro equipo de proceso, se encuentran en contacto directo con las fases de operación vapor-líquido, las cuales son alimentadas a la torre

con un rango de temperatura entre los  $373^{\circ}\text{K}$  y  $673^{\circ}\text{K}$ .

Siendo necesario conocer las propiedades de los materiales y su comportamiento mecánico, puesto que éstas varían en función de la temperatura.

Por lo que el material seleccionado deberá de tener la capacidad de mantener su resistencia en las condiciones de operación, garantizando el buen funcionamiento de los platos.

#### 2.4.1 Espesor de Plato.

El diseño del espesor, del plato consiste en verificar que el espesor propuesto sea el requerido, para las condiciones de operación.

El diseño involucra, a los platos perforados y platos válvulados, que de acuerdo al tipo de plato, el planteamiento es muy particular, siendo conveniente diseñarlos por separado, ya que el comportamiento mecánico es diferente:

- a) Diseño de Platos Perforados
  - b) Diseño de Platos Válvulados
- a) Diseño de Platos Perforados.

La revisión del espesor de platos perforados, se realiza considerando como la sección más desfavorable, al registro de hombre; por su tipo de apoyo y sus dimensiones.

Idealizándose como una placa rectangular simplemente apoyada y con una carga uniformemente distribuida  $q$ , (Fig. No. 24) expresado por la carga de líquido y el peso propio del plato:

$$q = q_{\text{Liq}} + q_{\text{Plato}} \quad (1)$$

De acuerdo a la teoría de placas, se tiene;

Deflexión Máxima

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{\alpha q a^4}{D} \quad (2)$$

Donde "D", es la rigidez a flexión de una placa o lámina, expresada de la siguiente forma:

$$D = \frac{E t^3}{12 (1-\nu^2)} \quad (3)$$

Momentos Máximos

$$M_x \text{ max} = B q a^2 \quad (4)$$

$$M_y \text{ max} = B_1 q a^2 \quad (5)$$

Obteniéndose los valores numéricos de los factores  $\alpha$ ,  $B$  y  $B_1$ , para una relación de Poisson  $\nu = 0.3$  - (correspondiente al acero), indicados en la tabla 2.

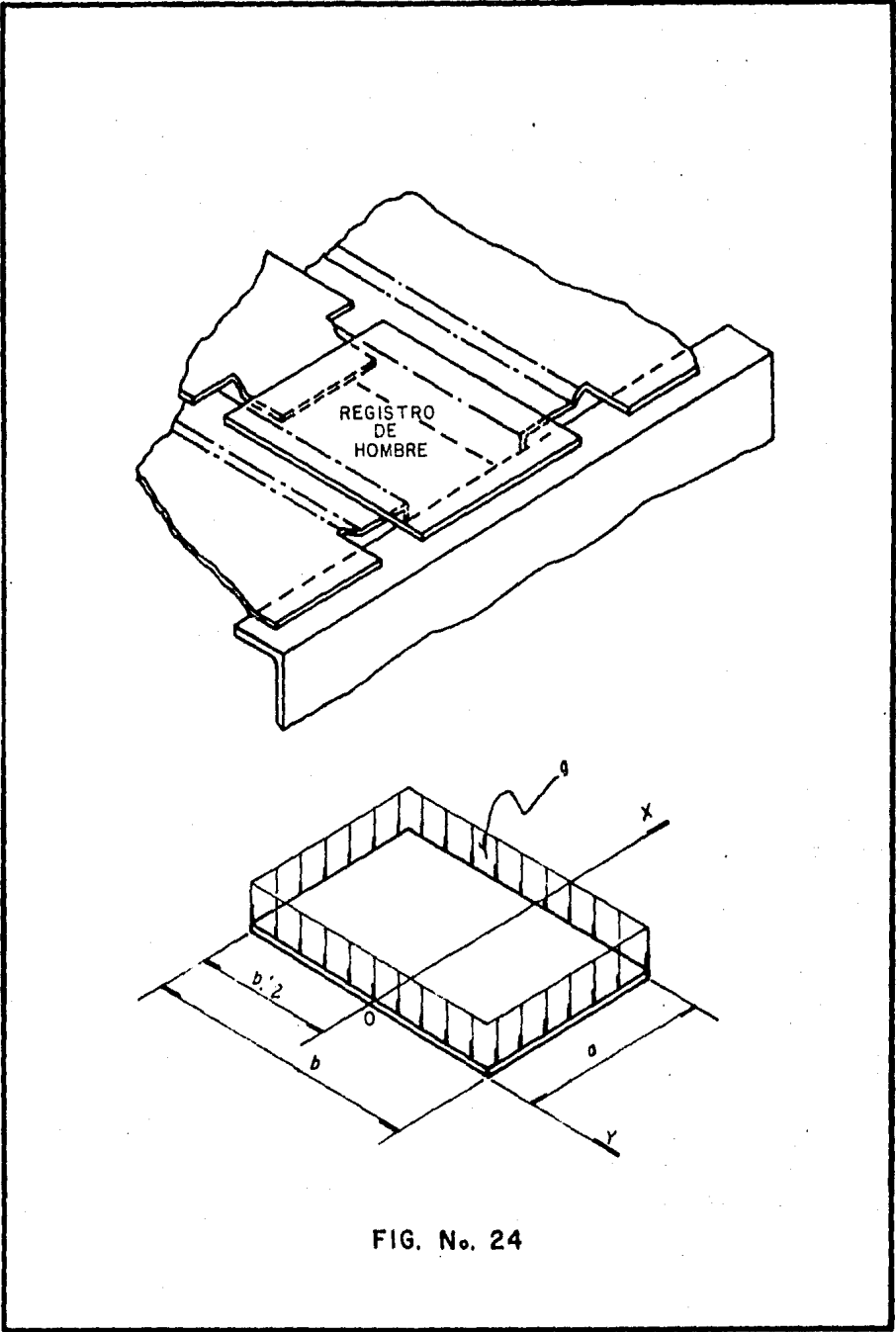


FIG. No. 24

T A B L A 2

b/a	$\frac{\Delta_{\max} = \alpha q a^2}{D}$ $\alpha$	$M_x \max = B q a^2$ B	$M_y \max = B_1 q a^2$ B <sub>1</sub>
1.0	0.00406	0.0479	0.0479
1.1	0.00485	0.0554	0.0493
1.2	0.00564	0.0627	0.0501
1.3	0.00638	0.0694	0.0503
1.4	0.00705	0.0755	0.0502
1.5	0.00772	0.0812	0.0498
1.6	0.00830	0.0862	0.0492
1.7	0.00883	0.0908	0.0486
1.8	0.00931	0.0948	0.0479
1.9	0.00974	0.0985	0.0471
2.0	0.01013	0.1017	0.0464
3.0	0.01223	0.1189	0.0406
4.0	0.01282	0.1235	0.0384
5.0	0.01297	0.1246	0.0375
$\infty$	0.01302	0.1250	0.0375

(Valores obtenidos de la referencia bibliográfica 1).

Así mismo cabe hacerse notar que las expresiones -  
(2) y (3) son válidas para placas no perforadas, ha-  
ciéndose necesario corregir las propiedades mecánicas

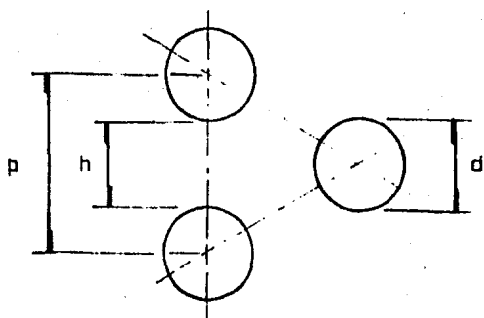
$E, V$  , por las constantes elásticas  $E^*$  y  $V^*$  para placas perforadas con arreglo triangular, tabuladas en la tabla 3, para un rango amplio de eficiencia de ligamiento ( $N$ ).

$$N = \frac{h}{p}$$

$h$ ; Ancho de Ligamiento

$P$ ; Paso de las perforaciones

$d$ ; Diámetro de las perforaciones



T A B L A 3  
(  $V = 0.3$  )

$N$	$E^*/E$	$V^*$
0.05	0.0158	0.8214
0.1	0.0482	0.6844
0.15	0.0929	0.5736
0.2	0.1462	0.4888
0.25	0.2052	0.4271
0.333	0.3105	0.3635
0.5	0.5291	0.3194
0.7	0.7895	0.3081



(Valores obtenidos de la referencia bibliográfica 2)

Observándose que el módulo de elasticidad va a ser -  
modificado, por lo que la ley de Hooke;

$$F_y = \epsilon E \quad (6)$$

Se debe expresar como:

$$F_y^* = \epsilon E^* \quad (7)$$

Despejando  $\epsilon$  de ecuación (6) y sustituyendo en la -  
ecuación (7), se tiene el esfuerzo de fluencia modi-  
ficado para placas perforadas;

$$F_y^* = \frac{E^*}{E} F_y \quad (8)$$

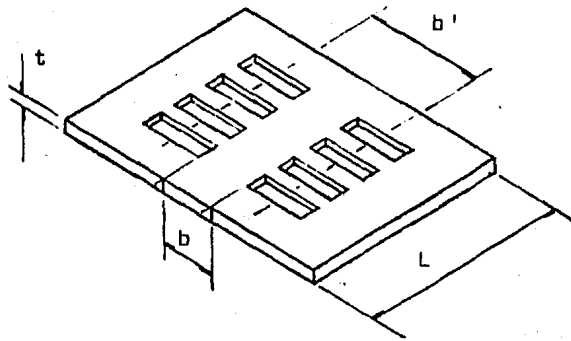
Obteniéndose de la ecuación (7) el esfuerzo permisi-  
ble modificado;

$$F_b = 0.6 F_y^* \quad (9)$$

#### b) Diseño de Platos Válvulados

De acuerdo a su distribución y a la orientación que  
guardan las válvulas respecto a la dirección del -  
flujo de líquido. Se considera a la sección más des-  
favorable, por sus dimensiones y su tipo de apoyo al  
registro de hombre.

En la revisión del espesor del plato, se considerará que el espacio sin perforar, entre las válvulas, forman un conjunto de pequeñas vigas, las cuales se encuentran simplemente apoyadas, con una carga uniformemente distribuida, correspondiente a su área tributaria.



t; Espesor de plato.

b; Ancho de sección resistente

L; Longitud de sección

b'; Ancho tributario

Por lo que la revisión del espesor de plato, se realizará tomando en consideración los momentos y deflexiones, para una viga simplemente apoyada con una carga uniformemente distribuida, expresando la carga por unidad de área  $q$  por la carga de líquido y el peso propio del plato:

$$q = q_{\text{Liq}} + q_{\text{Plato}} \quad (10)$$

Que de acuerdo a la consideración, para la revisión del espesor del plato, se requiere afectar la carga

$q$ , por el ancho tributario de la sección que proporciona la rigidez para su área tributaria, correspondiente a la carga por unidad de longitud.

$$w = q \times b' \quad (11)$$

#### 2.4.2 Secciones Canal.

De acuerdo al tipo de material seleccionado y a las condiciones de operación, se requiere utilizar como espesores mínimos de fabricación los siguientes:

3.35 mm (Calibre 10) Acero al Carbón

2.08 mm (Calibre 14) Acero Aleado

Teniéndose por especificación que materiales con espesores menores de 4.75 mm, se denoten como láminas y además se determinen también como calibres y materiales con espesores mayores se denominen como placas.

Láminas < 4.75 mm < Placas

Predisponiéndose en una situación ventajosa, es decir; la utilización de miembros de lámina delgada estriba en la facilidad que hay para formar -- perfiles estructurales.

Permitiéndose que las secciones de los platos, -

estén integradas por una sección de piso de plato, así como, por una sección estructural, según se muestra en la Fig. No. 25, simplificando las operaciones de fabricación.

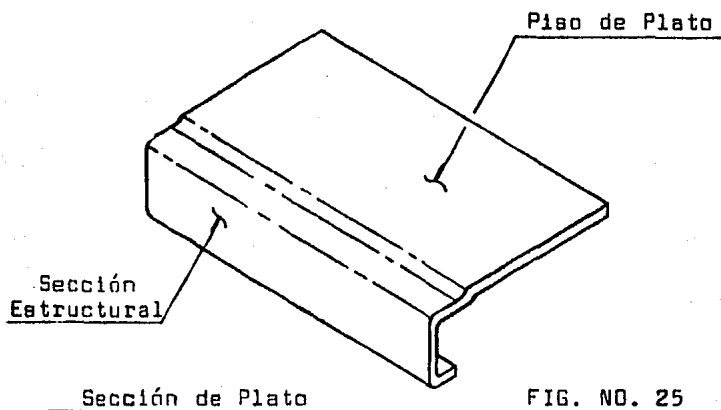
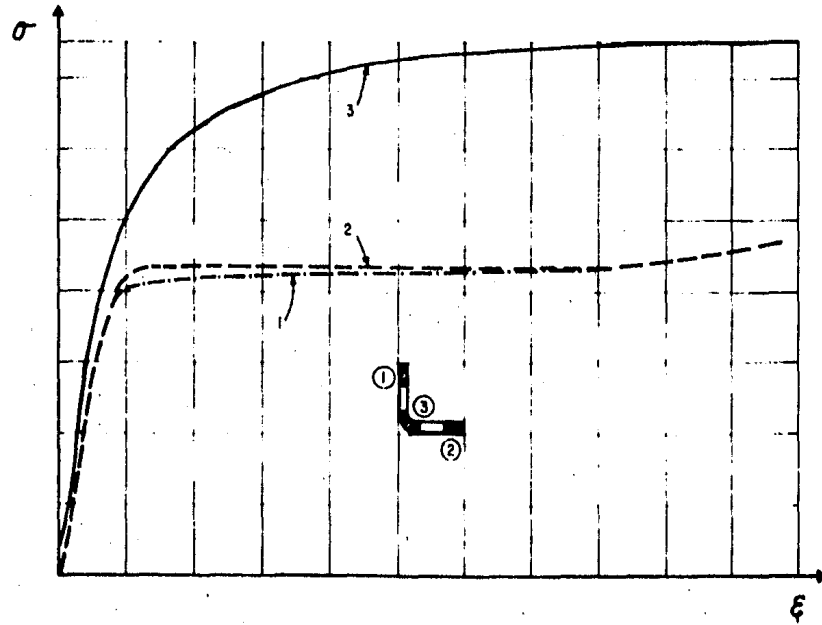


FIG. NO. 25

El diseño no considera revisar el piso del plato ya que sus dimensiones resultan ser menores, respecto a las dimensiones de la sección que se considera como la más desfavorable (Registro de Hombre), para tal revisión, por lo que el diseño se enfoca a revisar solo a la sección estructural, - en este caso a la sección canal  $\square$  .

Cuando se forma perfiles estructurales a partir del doblado de láminas o placas en frío, se provoca un endurecimiento por deformación en la parte en donde se efectúa el doblado, lo cual hace que se incrementen los esfuerzos de fluencia en

EFFECTO DE ENDURECIMIENTO POR DEFORMACION EN EFECTO DE DOBLES



CURVAS ESFUERZO DEFORMACION LONGITUDINAL

FIG. No. 26

esa zona, obteniéndose así mayor resistencia a los esfuerzos de tensión, sin embargo no es recomendable utilizar este incremento de esfuerzos ya que éstos desaparecen cuando por calentamiento se alcanzan temperaturas de recocido o por procesos de soldadura requeridos. (Fig. No. 26).

#### 2.4.2.1 Pandeo Lateral de Secciones Canal.

Desde el punto de vista estructural, las secciones de los platos deben diseñarse para resistir las cargas que actúan sobre éstas, por lo que es necesario establecer procedimientos de cálculo a partir de bases teóricas y aplicar las recomendaciones de los códigos de diseño estructural, así por ejemplo, se sabe que una viga sujeta a esfuerzos de flexión puede fallar por pandeo lateral, por lo que es necesario determinar el momento flector que provoca ese estado de inestabilidad. (Fig. No. 27).

Para el caso se tiene por la teoría de la estabilidad que ese momento, llamado momento crítico, se puede obtener por medio de la siguiente expresión:

$$M_{cr} = \left( \frac{\pi^2 E I_y}{L^2} + \frac{G K_t}{L^4} + \frac{\pi^4 E^2 I_y C_\theta}{L^4} \right)^{1/2} \quad (12)$$

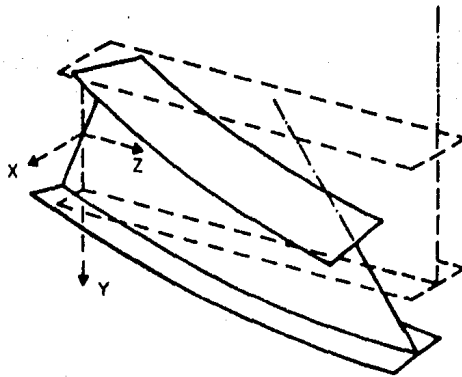
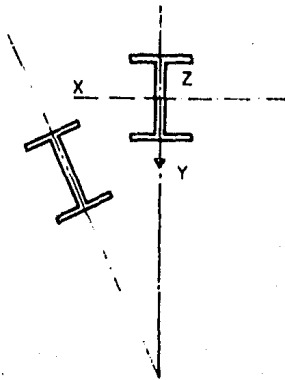
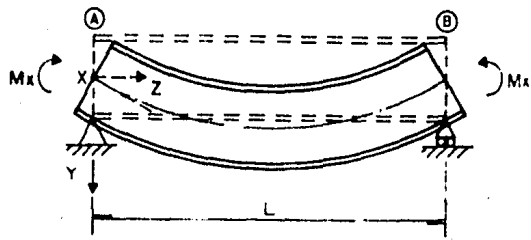


FIG. No. 27

Donde: L; Longitud de la sección  
 E; Módulo de elasticidad  
 I<sub>y</sub>; Momento de inercia con respecto al eje y  
 G; Módulo de elasticidad al cortante  
 K<sub>t</sub>; Constante de torsión  
 C<sub>a</sub>; Constante de álbeteo

Y el esfuerzo que provoca este momento está dado por:

$$F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_x} \quad (13)$$

La ecuación (12) define el momento crítico que - provoca el pandeo lateral en el rango elástico, sin embargo el pandeo puede presentarse en el rango inelástico, lo cual ocurre cuando el resultado de la ecuación (13) es mayor de F<sub>y</sub>/2, por lo que éste resultado debe corregirse por inelásticidad aplicando la siguiente expresión:

$$F_{cr} = F_y \left[ 1 - \frac{F_y}{4 \pi^2 E} \left( \frac{L}{r_y} \right)^2 \right] \quad (14)$$

Donde: r<sub>y</sub>; Radio de giro  
 F<sub>y</sub>; Esfuerzo de fluencia

Finalmente se obtiene el esfuerzo permisible dividiendo el esfuerzo crítico F<sub>cr</sub>, entre un factor de seguridad, éste es:



$$F_p = \frac{F_{cr}}{F_s} \quad (15)$$

Así entonces para que un elemento, estructural no falle por pandeo lateral, es necesario que el esfuerzo máximo de flexión sea menor o cuando mucho igual al esfuerzo permisible  $F_p$ .

Sin embargo el código AISI, considera en forma conservadora que los dos términos dentro del radical de la ecuación (12), actúan en forma independiente obteniendo así dos momentos con su correspondiente esfuerzo crítico.

$$M_{cr1} = \frac{\pi}{L} \left( E I_y G K_t \right)^{1/2} ; F_{cr1} = \frac{M_{cr1}}{S_x} \quad (16)$$

$$M_{cr2} = \frac{\pi^2}{L^2} \left( E^2 I_y C_a \right)^{1/2} ; F_{cr2} = \frac{M_{cr2}}{S_x} \quad (17)$$

Por lo que los esfuerzos críticos calculados están expresados de la siguiente forma: (Referencia bibliográfica 3).

$$F_{cr1} = \frac{0.68 E}{L d/bt} \quad (16')$$

$$F_{cr2} = \frac{\pi^2 E}{(L/r_y)^2} \quad (17')$$

Así mismo se considera que la ecuación (16) es aplicable tanto en el rango elástico como en el inelástico.

Pero no así la ecuación (17) que debe ser - - -

corregida por inelasticidad cuando resulte mayor - que  $F_y/2$ , aplicando en tal caso la ecuación (14), por otra parte se afecta el segundo término de la ecuación (14), por medio de un factor  $\alpha$  que ajuste las ecuaciones (14) y (17) en una sola curva;

$$F_{cr'2} = F_y - \frac{F_y^2}{4 \pi^2 E \alpha} \left( \frac{L}{r_y} \right)^2 \quad (14')$$

Del segundo término de la ecuación (12), y sustituyendo las expresiones;

$$I_y = r_y^2 A$$

y la constante de alabeo  $C_a$ , para una sección canal está dado por; (Referencia Bibliográfica 5).

$$C_a = \frac{t b^3 d^2}{12} \left( \frac{3b + 2d}{6b + d} \right)$$

Se obtiene: (18)

$$\frac{\pi^4 E^2}{L^4} I_y C_a = \frac{\pi^4 E^2}{L^4} r_y^2 A \frac{t b^3 d^2}{12} \left( \frac{3b + 2d}{6b + d} \right)$$

Tomando un valor de  $F_{cr2}$  igual a  $F_y/2$ , considerando el F.S y sustituyendo en la expresión (17);

$$\frac{F_y}{2 \text{ F.S}} = \frac{\pi^4 E r_y^2 A t b^3 d^2}{12 L^4 S_x} \left( \frac{3b + 2d}{6b + d} \right)$$

Despejando el término  $\left( \frac{L}{r_y} \right)^2$  (19)

$$\left( \frac{L}{r_y} \right)^2 = \frac{1}{6} \frac{\pi^4 E A t b^3 d^2}{L^2 F_y S_x} \left( \frac{3b + 2d}{6b + d} \right) \text{ F.S}$$

Sustituyendo la expresión (19) en la ecuación -  
(14') y tomando un valor de  $F_{cr2}$  igual a  $F_y/2$ ,

$$\frac{F_y}{2} = F_y \left[ 1 - \frac{F_y F.S.}{4 \pi^2 E \alpha S_x} \left( \frac{1}{6} \frac{\pi^2 E A t b^3 d^2}{L^2 F_y} \left( \frac{3b + 2d}{6b + d} \right) \right) \right]$$

Eliminando términos.

$$\frac{1}{2} = 1 - \frac{A t b^3 d^2}{24 L^2 \alpha S_x} \left( \frac{3b + 2d}{6b + d} \right) F.S.$$

Multiplicando los términos por 2, y simplificando:

$$1 = \frac{A t b^3 d^2}{12 L^2 \alpha S_x} \left( \frac{3b + 2d}{6b + d} \right) F.S.$$

Tomando un factor de seguridad de 1.67 y despejando el factor  $\alpha$ , se obtiene finalmente su valor correspondiente:

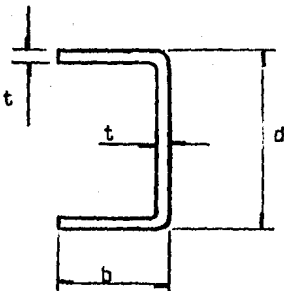
$$\alpha = 0.139 \frac{A t b^3 d^2}{L^2 S_x} \left( \frac{3b + 2d}{6b + d} \right)$$

Concluyendo de los esfuerzos críticos  $F_{cr1}$  y  $F_{cr2}$ , se selecciona el mayor, utilizando un factor de seguridad de 1.67, los esfuerzos permisibles estarán expresados de la forma siguiente:

$$F_{p1} = \frac{F_{cr1}}{F.S.} = \frac{0.68}{1.67} \frac{E}{(Ld/bt)} \quad (20)$$

$$F_{p2} = \frac{F_{cr2}}{F.S.} = \frac{\pi^2}{1.67} \frac{E}{(L/r_y)^2} \quad (21)$$

Donde;



b; Ancho de patín

d; Peralte de la sección

t; Espesor de la sección

Afectando el esfuerzo permisible por inelasticidad por el efecto de endurecimiento por deformación, - se incluye en forma aproximada multiplicando por - 1.10 el esfuerzo crítico  $F_{cr_2'}$ , se obtiene;

$$F_{p_2'} = 1.10 \frac{F_{cr_2'}}{F.S}$$

Sustituyendo la ecuación (14')

$$F_{p_2'} = \frac{1.10}{1.67} F_y \left[ 1 - \frac{F_y}{4\pi^2 E \alpha} \left( \frac{L}{r_y} \right)^2 \right] \quad (21')$$

Sin embargo cabe hacerse notar que para efectos prácticos de revisión de la sección canal, se - considera solo el esfuerzo permisible  $F_{p_1}$ , de la expresión (20), por que su valor numérico siempre es mayor que el esfuerzo permisible  $F_{p_2}$  de la expresión (21), por tratarse de una sección de lámina delgada.

#### 2.4.2.2 Pandeo Local de la Sección Canal.

Una parte de los elementos que constituyen la estructuración de los platos, son fabricados con lámina delgada doblada en frío, están formados por un conjunto de elementos planos ligados entre sí a lo largo de sus bordes que, cuando trabajan sometidos a compresión, pueden alcanzar un estado de equilibrio inestable y pandearse localmente antes de que la pieza falle en forma integral, originando un colapso prematuro de la barra, caracterizado por una distorsión de sus secciones transversales. Por consiguiente en el diseño de la sección canal, debe estudiarse la estabilidad de las placas planas que la componen, con objeto de asegurarse de que no fallarán antes que la pieza en conjunto o, en su caso contrario para determinar la carga que ocasiona el pandeo local y adoptar un coeficiente de seguridad adecuado con respecto a este fenómeno.

Que en éste caso, el requerimiento más importante es; "La Compresión Uniforme", la que se presenta en el patín superior de la sección canal.

De la teoría de "Placas Comprimidadas en una dirección por una carga uniformemente distribuida

#### 2.4.2.2 Pandeo Local de la Sección Canal.

Una parte de los elementos que constituyen la estructuración de los platos, son fabricados con lámina delgada doblada en frío, están formados por un conjunto de elementos planos ligados entre sí a lo largo de sus bordes que, cuando trabajan sometidos a compresión, pueden alcanzar un estado de equilibrio inestable y pandearse localmente antes de que la pieza falle en forma integral, originando un colapso prematuro de la barra, caracterizado por una distorsión de sus secciones transversales. Por consiguiente en el diseño de la sección canal, debe estudiarse la estabilidad de las placas planas que la componen, con objeto de asegurarse de que no fallarán antes que la pieza en conjunto o, en su caso contrario para determinar la carga que ocasiona el pandeo local y adoptar un coeficiente de seguridad adecuado con respecto a este fenómeno.

Que en éste caso, el requerimiento más importante es; "La Compresión Uniforme", la que se presenta en el patín superior de la sección canal.

De la teoría de "Placas Comprimidadas en una dirección por una carga uniformemente distribuida

en su plano medio".

Idealizaremos al patín mencionado como una placa libremente apoyada en un borde descargado, libres en el otro, según se muestra en la Figura No. 28.

El esfuerzo crítico para placas largas comprimidas, está expresado de la forma siguiente:

$$F_{crc} = \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2 K \quad (22)$$

Si el esfuerzo crítico  $F_{crc}$ , es menor o igual  $F_y/2$ , el pandeo se inicia en el intervalo elástico, siendo  $K$  un coeficiente adimensional que depende de las condiciones de apoyo en sus bordes descargados, tomando el valor correspondiente para los diferentes casos indicados en la Tabla 3.

En caso contrario si el esfuerzo crítico  $F_{crc}$ , es mayor que  $F_y/2$ , se debe corregir por inelasticidad, siendo determinado por la expresión siguiente:

$$F_{crt} = \frac{\left( \frac{F_{crc}}{\sqrt{E}} \right)^2 F_y}{\frac{F_y}{4} + \left( \frac{F_{crc}}{\sqrt{E}} \right)^2} \quad (22')$$

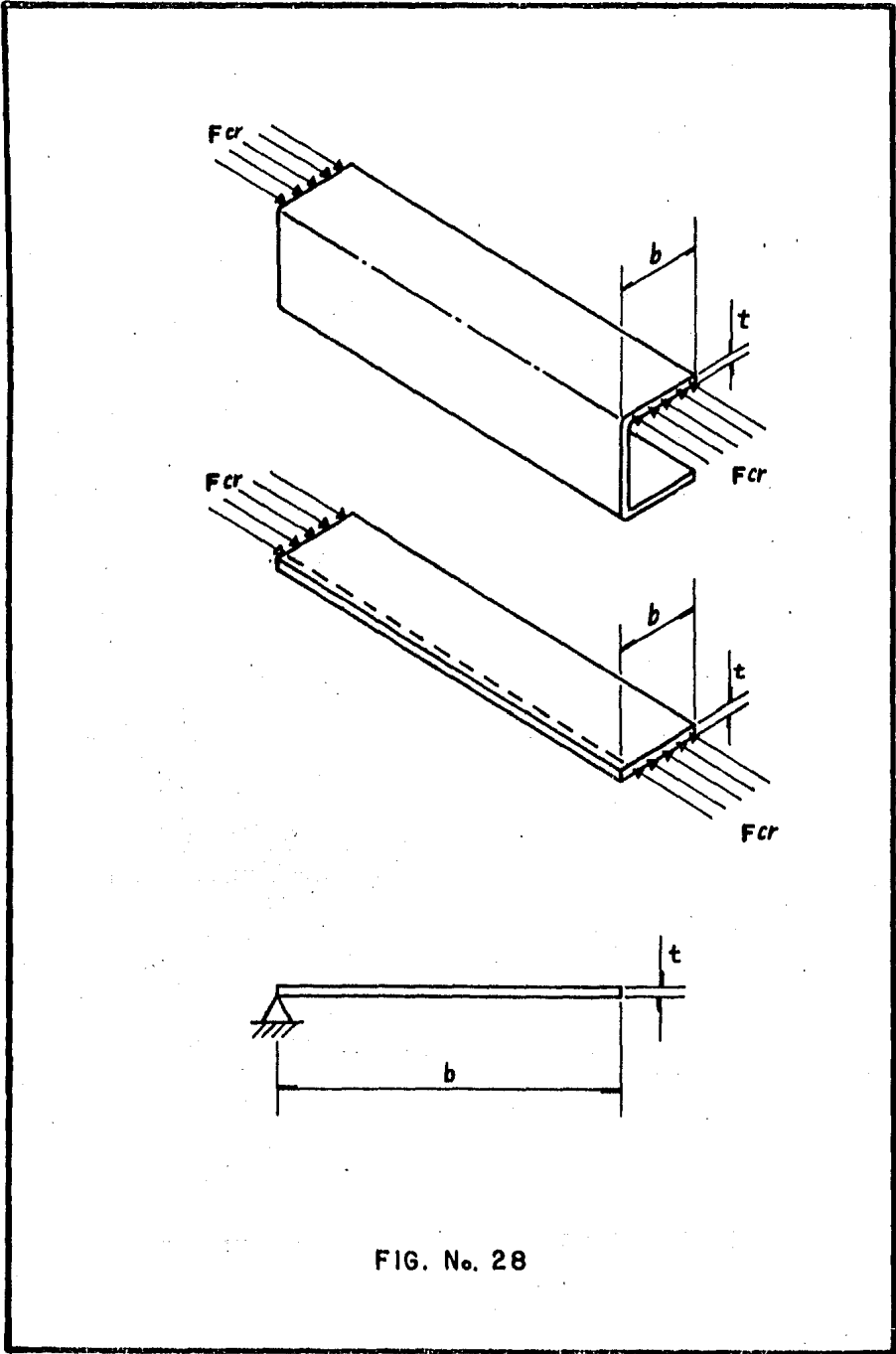
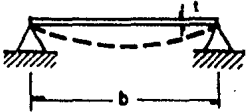
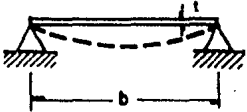
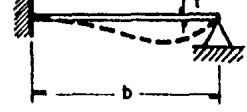
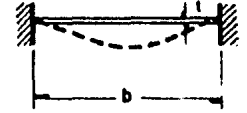
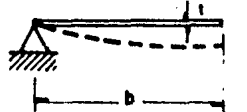
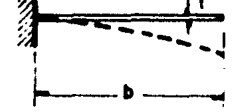


FIG. No. 28



TABLA N. 3.

CASO	TIPO DE APOYO EN LOS BORDES DESCARGADOS (LOS BORDES CARGADOS ESTAN LIBREMENTE APOYADOS)		K
1	LOS DOS BORDES LIBREMENTE APOYADOS.		4.000
2	UN BORDE LIBRE - MENTE APOYADO, EL OTRO EMPOTRADO.		5.42
3	LOS DOS BORDES EMPOTRADOS.		6.97
4	UN BORDE LIBRE - MENTE APOYADO, EL OTRO LIBRE.		0.425
5	UN BORDE EMPOTRADO, EL OTRO LIBRE.		1.277

Igualando:

$$\frac{F_{crc}}{\sqrt{z}} = \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2 k \quad (23)$$

Donde:

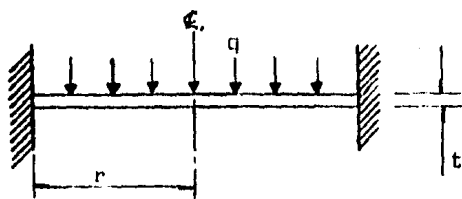
Fy : Esfuerzo de Fluencia

En la sección canal se presentan las sollicitaciones de flexión y cortante en el alma de la sección y por consiguiente los esfuerzos cortantes y normales combinados, que para propósitos prácticos de diseño no se considera conveniente revisar la sección frente a las mencionadas sollicitaciones, ya que los valores numéricos arrojados, están abajo de los esfuerzos máximos permisibles.

Las expresiones obtenidas para la revisión de la sección canal de los platos, son aplicables para el diseño de las canales que integran a la bajante.

### 2.4.3 Aros Soporte

El diseño de los aros soporte se efectúa considerando el aro como una placa circular de borde empotrado, con una carga uniformemente distribuida  $q$ .



Donde el esfuerzo máximo, para este tipo de sollicitaciones está dado por la siguiente expresión:

$$F_{\max} = \frac{3 q r^2}{4 t} \quad (24)$$

Haciendo que el  $F_{\max}$ , sea igual al esfuerzo máximo permisible  $F_b$ ;

$$F_{\max} = F_b = 0.6 F_y$$

Sustituyendo en (24), y despejando el espesor de la placa:

$$t = \left( \frac{3 q r^2}{4 (0.6 F_y)} \right)^{1/2} = r \left( 1.25 \frac{q}{F_y} \right)^{1/2} \quad (25)$$

Obteniéndose de la expresión (25) el espesor  $t$ , mínimo requerido para el aro soporte.

Sin embargo para fines prácticos el espesor del aro

soporte se determina de acuerdo a la corrosión permisible, pero nunca debe ser mayor que el espesor de la pared del recipiente.

Diámetro Interior	Sin Corrosión y Acero De Aleación	Corrosión 3 mm	Corrosión 6 mm
914 a 1500 mm	10	13	16
1500 a 2500 mm	13	16	16
2500 a 4000 mm	13	16	16
4000 < D.I	16	16	- o -

Por lo que la expresión (25), nos permite revisar que el espesor propuesto es el adecuado, donde la carga considerara al peso propio del plato y una altura de líquido del 40%, del espaciamento entre platos, para condiciones de operación y mantenimiento.

$$q = q \text{ Plato} + q \text{ 0.4 Esp, Platos} \quad (26)$$

Para diámetros de torre mayores de 4000 mm, no se recomienda efectuar la revisión, ya que en estos diámetros se utilizan vigas para sostener los platos.

#### 2.4.4 Estructuración Especial.

En torres con diámetro mayores de 4,000 mm, no se

garantiza emplear como estructura principal a la sección canal integral del plato, por lo que surge la necesidad de utilizar una estructura principal especial, que garantice el buen funcionamiento de los platos, para lo cual se emplean vigas o armaduras, quedando como estructura secundaria la sección canal integral del plato.

En diámetros mayores de 5,000 mm se recomienda que la estructura soporte a dos platos, con el propósito de reducir el peso y el número de estructuras.

Los elementos estructurales de soporte deberán orientarse en dirección paralela al flujo de líquido.

Los soportes de vigas o armaduras deberán ser conectados mediante placas de enlace con barrenos oblongos de tal forma que puedan absorber los desplazamientos.

#### 2.4.4.1 Vigas

Los efectos del medio (corrosión) y la temperatura, hacen que los perfiles estructurales comerciales queden prácticamente descartados para emplearse en el diseño mecánico estructural de los platos e internos estructurales; por lo que se hace necesario formar perfiles estructurales a partir de -

placa con las características metalográficas adecuadas para las condiciones de operación.

Empleándose en algunos casos vigas I o armaduras, que en este caso trataremos a las vigas I, que de acuerdo a las recomendaciones por el código AISC, se revisarán por pandeo lateral.

#### 2.4.4.1.1 Pandeo Lateral de Vigas I, Formadas de Tres Placas.

Considérese una viga libremente apoyada sujeta a dos momentos de igual magnitud pero en sentidos opuestos.

Si los momentos aumentan también aumentan los esfuerzos y por lo tanto las placas a compresión - tienden a pandearse alrededor de su eje de menor momento de inercia, el pandeo está restringido por el alma de la viga por lo que el pandeo se efectúa alrededor del eje vertical cuando los esfuerzos a compresión alcanzan un valor crítico, los cuales corresponden a un momento crítico.

Así entonces se dice que el momento aplicado sobre una sección es crítico cuando es posible una configuración en equilibrio deformada lateralmente y - torsionada, además de la plana.

El momento crítico está dado por:

$$M_{cr} = \left[ \frac{\pi^2 E I_y G K_t}{L^2} + \frac{\pi^4 E^2 I_y C_a}{L^4} \right]^{1/2} \quad (27)$$

Y el esfuerzo crítico por;

$$F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_x} \quad (28)$$

Donde;

E; Módulo de Elasticidad

$I_y$ ; Momento de Inercia

G; Módulo de Elasticidad al cortante

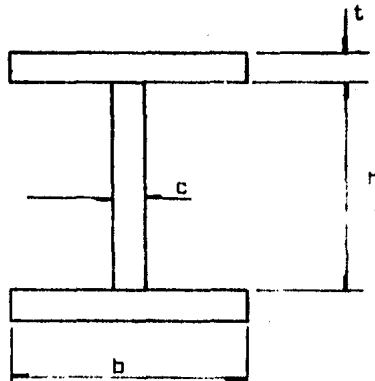
$K_t$ ; Constante de Torsión

$C_a$ ; Constante de álbteo

$S_x$ ; Módulo de sección

Analizando la ecuación, se observa que la viga presenta resistencia a la torsión y a la flexión lateral, representadas respectivamente por el primer y segundo término del radical.

Para una viga formada de tres placas se tiene:



$$\begin{aligned}
 A &= 2bt + ch && : \text{ Area Total} \\
 A_a &= ch && ; \text{ Area del Alma} \\
 A_p &= bt && ; \text{ Area del Patín} \\
 I_y &= \frac{1}{6} t b^3 + \frac{1}{12} c h^3 = A \cdot r_y^2 \\
 K_T &= \frac{1}{3} (2bt^3 + c^3 h) \\
 C_a &= \frac{t b^3}{24} (h + t)^2 = \frac{I_y}{4} (h + t)^2 \\
 G &= \frac{E}{2(1 + \nu)}
 \end{aligned}$$

Sustituyendo las expresiones en cada término de la ecuación se obtiene:

$$\begin{aligned}
 \frac{\pi^2}{L^2} E G I_y K_T &= \frac{\pi^2 E^2 A A_p (2t^2 + \frac{A_a C^2}{A_p})}{6(1+\nu) (L/r_y)^2} \\
 \frac{\pi^4}{L^4} E^2 I_y C_a &= \frac{\pi^4 E^2 A^2}{4 (L/r_y)^4} (h + t)^2
 \end{aligned}$$

Así entonces el esfuerzo crítico queda definido - por la ecuación, pero si ocurre que el resultado obtenido es mayor que  $F_y/2$ , entonces éste resultado debe ser corregido por inelasticidad aplicando la siguiente expresión:

$$F_{cr} = F_y \left[ 1 - \frac{F_y (L/r_y)^2}{4 \pi^2 E} \right] \quad (29)$$



Finalmente el esfuerzo permisible, se obtiene dividiendo el esfuerzo crítico resultante entre un factor de seguridad de 1.67, pero limitando al esfuerzo permisible a un valor igual a  $F_y/F.S.$ , es decir:

$$F_p = \frac{F_{cr}}{F.S.} = \frac{F_y}{F.S.} \quad (30)$$

El código AISC, en forma conservadora considera que la resistencia de la sección, representada por los dos términos dentro del radical de la ecuación (27), actúan en forma independiente estableciendo así las siguientes expresiones:

(31)

$$M_{cr1} = \frac{\pi E}{(L/r_y)} \left[ \frac{A}{6(1+\nu)} \frac{A_p}{A_p} \left( 2t^2 + \frac{A_a}{A_p} c^2 \right) \right]^{1/2}; \quad F_{cr1} = \frac{M_{cr1}}{S_x}$$

(32)

$$M_{cr2} = \frac{\pi^2 EA}{2(L/r_y)^2} (h + t) \quad ; \quad F_{cr2} = \frac{M_{cr2}}{S_x}$$

Y tomando como esfuerzo crítico el mayor de los dos.

Así mismo considera que la ecuación (31), es aplicable tanto para el intervalo elástico como en el inelástico, mientras que la ecuación (32), sólo es aplicable si el esfuerzo crítico es cuando mucho igual a  $F_y/2$ , por lo que para valores mayores, se debe corregir por inelasticidad con la ecuación (29), por lo tanto si se hace que la ecuación (32), sea igual a  $F_y/2$ , se obtiene el valor  $L/r_y$ , que divide -

en rango elástico del inelástico, este valor está dado por la siguiente expresión:

$$\left(\frac{L}{ry}\right)^2 = \frac{\pi^2 E A (h + t)}{F_y S_x}$$

Entonces la ecuación (29) valuada con el valor de  $L/ry$ , y haciendo  $F_{cr}$ , igual a  $F_y/2$ , siendo necesario afectar la ecuación (29), de un factor  $\alpha$ , que ajuste ambas curvas de esfuerzos, es decir:

$$F_{cr} = \frac{F_y}{2} = F_y \left[ 1 - \frac{F_y \left( \frac{\pi^2 E A (h+t)}{F_y S_x} \right)}{4 \pi^2 E \alpha} \right] \quad (33)$$

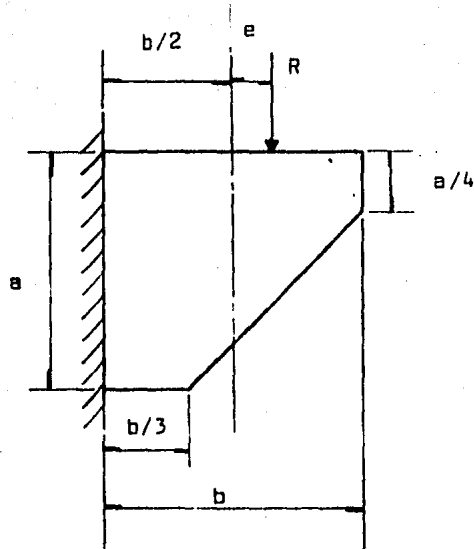
Despejando el factor  $\alpha$ , se tiene finalmente:

$$\alpha = \frac{A (h + t)}{2 S_x}$$

#### 2.4.4.2 Ménsulas

La estructuración principal especial requiere de soportes, en el caso de emplearse vigas I o armaduras, seleccionándose para este propósito a las ménsulas, las cuales se integran a la pared del recipiente.

Considerándose que se encuentren bajo la acción de una fuerza  $R$ , presentando las siguientes características geométricas.

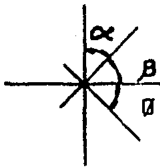
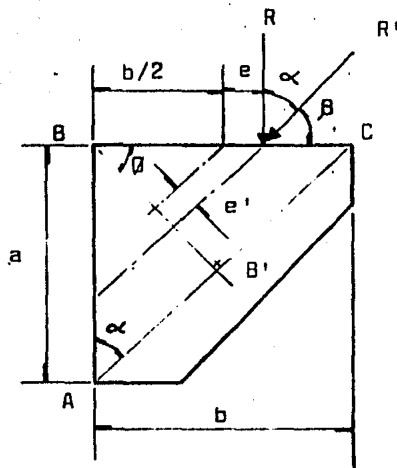


El diseño idealiza a la ménsula como una placa triangular, en cuya sección transversal actúa la componente de la fuerza  $R$ , que actúa excéntrica-mente del eje, originando esfuerzos por compresión y esfuerzos por flexión; requiriéndose para el diseño efectuar una combinación de esfuerzos ó por superposición de esfuerzos se tiene:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M \bar{y}}{I} \quad (34)$$

(Fórmula de la escuadría)

Se desprende la construcción geométrica:



$$\begin{aligned}\alpha + \beta &= 90^\circ \\ \beta + \gamma &= 90^\circ \\ \beta &= 90^\circ - \alpha \\ 90 - \alpha + \gamma &= 90^\circ \\ \alpha &= \gamma\end{aligned}$$

Determinando términos se tiene:

$$P = R' = R / \cos \alpha$$

$$A = \overline{BB'} \times t \quad ; \quad \overline{BB'} = b \cos \alpha$$

$$\therefore A = b t \cos \alpha$$

$$M = R' e' \quad ; \quad e' = e \cos \alpha \quad ; \quad R' = R / \cos \alpha$$

$$M = \frac{R}{\cos \alpha} \times e \cos \alpha$$

$$\therefore M = R e$$

$$I = \frac{t \overline{BB'}^3}{12} = \frac{t b^3 \cos^3 \alpha}{12}$$

$$\bar{y} = \frac{\overline{BB'}}{2} = \frac{b \cos \alpha}{2}$$

Sustituyendo términos:

$$f = \frac{R}{bt \cos^2 \alpha} + \frac{6 R e}{b t \cos^2 \alpha}$$

En forma condensada:

$$f = \frac{R}{b t \cos^2 \alpha} \left( 1 + \frac{6 e}{b} \right)$$

El mayor valor de  $f$ , se tiene cuando el signo dentro del paréntesis se toma positivo, y haciendo - que el esfuerzo  $f$ , sea igual al valor del esfuerzo máximo permisible, se obtiene:

$$0.6 F_y = \frac{R}{b t \cos^2 \alpha} \left( 1 + \frac{6 e}{b} \right)$$

Por lo tanto el espesor requerido para ménsula está dado por:

$$t = \frac{R}{0.6 F_y b \cos^2 \alpha} \left( 1 + \frac{6 e}{b} \right) \quad (35)$$

El diseño está basado bajo el criterio de esfuerzos permisibles, por lo que el esfuerzo crítico de pandeo local deberá estar dentro del rango elástico -

expresado en la siguiente ecuación:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12 (1-\nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2 K \quad (36)$$

Los esfuerzos máximos se presentan en el extremo libre, siendo expresados con la siguiente relación:

$$Z = \frac{\text{Esfuerzos en el extremo cargado}}{\text{Esfuerzos máximos en el extremo libre}}$$

ó bien:

$$Z = 1.39 - 2.2 \left( \frac{b}{a} \right) + 1.27 \left( \frac{b}{a} \right)^2 - 0.25 \left( \frac{b}{a} \right)^2 \quad (37)$$

Haciendo que el esfuerzo crítico sea igual al esfuerzo de fluencia afectado por la relación de esfuerzos máximos Z.

$$F_{cr} = F_y Z \quad (38)$$

Así mismo el factor K, está considerado de acuerdo a las condiciones de apoyo de la placa, expresándose en forma aproximada:

$$K = 3.2 + 3 \left( \frac{b}{a} \right) + 1.1 \left( \frac{b}{a} \right)^2 \quad (39)$$

Sustituyendo la expresión (38), en la ecuación (36).

$$F_y Z = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 K$$

Despejando la relación  $\frac{b}{t}$

$$\frac{b}{t} \leq \left( \frac{\pi^2 E K}{12 F_y Z (1 - \nu^2)} \right)^{1/2}$$

Simplificando términos, tomando  $\nu = 0.3$  ;

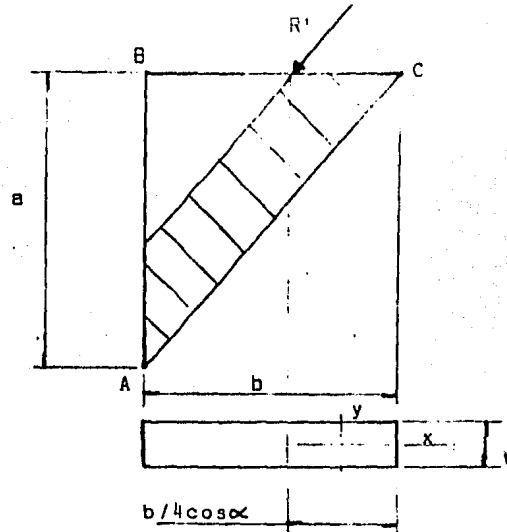
$$\frac{b}{t} \leq 0.95 \left( \frac{E K}{F_y Z} \right)^{1/2} \quad (40)$$

Recomendándose emplear en las dimensiones de la placa valores tales que cumplan la relación:

$$0.75 \leq \frac{b}{a} \leq 2.0 \quad (41)$$

La posibilidad de pandeo puede chequearse en forma conservadora, considerándose una columna de longitud  $\overline{AC}$ , con sección transversal, solicitada por la carga  $R' = P$ .





Donde la carga crítica de pandeo  $P_{cr}$ , para un miembro a compresión, está dada por;

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L^2} \quad (42)$$

De esta expresión el momento de inercia  $I$ , debe ser el menor de  $I_x$  ó  $I_y$ , ya que el pandeo se presenta en el lado más débil, y éste es el de menor momento de inercia, es decir:

$$I_y > I_x$$

$$I = \frac{1}{12} \left( \frac{b \cos \alpha}{4} \right)^3 t^3$$

$$I = \frac{bt^3 \cos^3 \alpha}{48} \quad (43)$$

Por lo que para columnas, se considera un factor



de seguridad de  $23/12 \doteq 1.92$ , que en este caso se adopta de 2.0, sustituyendo el momento de inercia en la expresión de la carga crítica se tiene:

$$P_{\max} = \frac{\pi^2 E}{F.S. L^2} \left( \frac{bt^3}{48} \cos \alpha \right)$$

Simplificando:

$$P_{\max} = 0.01042 \frac{\pi^2 E b t^3}{L^2} \cos \alpha \quad (44)$$

Debiéndose cumplir:

$$R' \leq P_{\max} \quad (45)$$



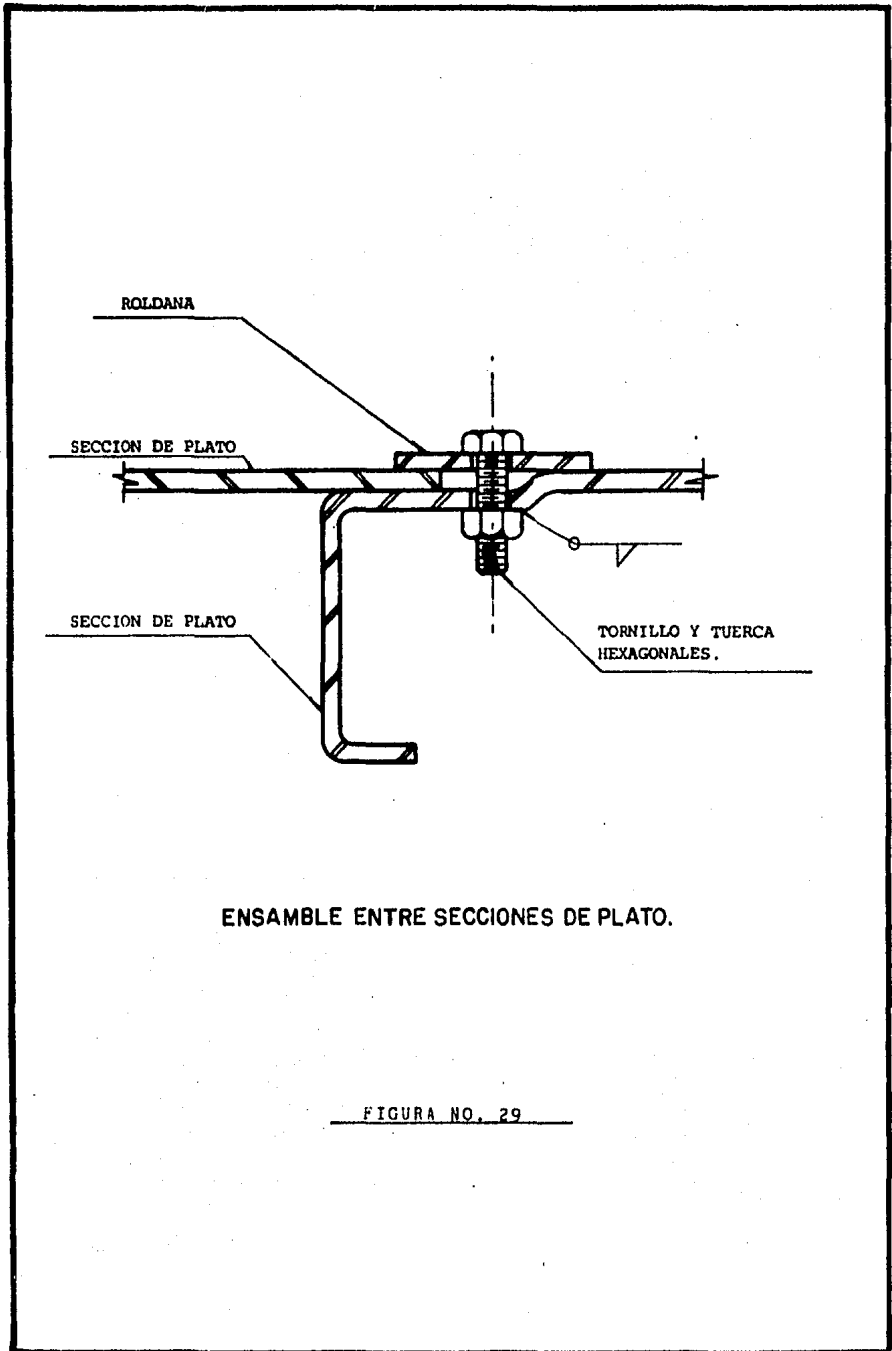
### 3.1 Ensamble entre Secciones de Plato.

El ensamble consiste en unir las secciones de plato en sentido longitudinal, de tal manera que se integren en un mismo piso de plato.

Lo cual se logra realizando un conformado previo a la sección del plato, que permitirá efectuar el traslape entre ambas secciones, donde el conformado deberá presentar como mínimo un escalón equivalente al espesor del plato, con la finalidad de evitar un desnivel que provoque encharcamientos que puedan alterar las condiciones de operación.

Debiendo rigidizar el traslape, con roldanas y tornillería que aseguren un sello adecuado que eviten fugas de líquido, seleccionando las dimensiones y el agarre adecuado previendo las maniobras de instalación y mantenimiento.

Los barrenos para la localización de la tornillería no deberán invadir la zona del conformado, ya que por este efecto esta zona se encuentra bajo ciertos esfuerzos residuales, que pueden dar origen a grietas o fisuras en la zona de doblez.



ENSAMBLE ENTRE SECCIONES DE PLATO.

FIGURA NO. 29

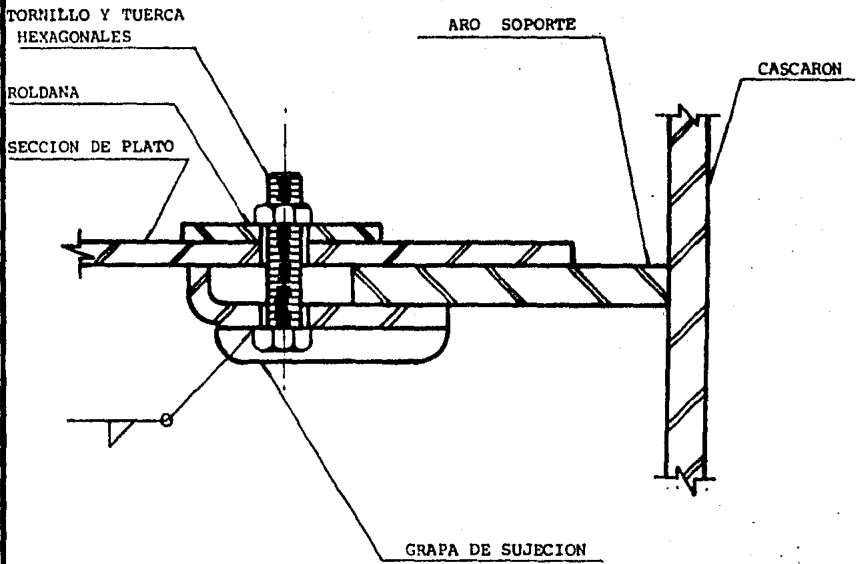
### 3.2 Ensamble de Secciones de Plato al Aro Soporte.

La función del ensamble es la de unir perimetralmente a las secciones del plato con el aro soporte.

Para realizar la unión, se emplean elementos de sujeción llamados grapas de sujeción, que permiten sujetar a dos elementos de diferente espesor, auxiliándose con roldanas y tornillería.

Se prefiere que las roldanas tengan dimensiones tales que abarquen el doblez de la grapa con la finalidad de que la presión ejercida por la sujeción del tornillo se reparta uniformemente en la superficie de la roldana, proporcionándole resistencia al piso de plato, lográndose así la unión y el sello requerido que eviten fugas de líquido en el traslape.

Se recomienda que la tornillería esté unida a la grapa de sujeción, para evitar que se manejen herrajes sueltos que dificultan su identificación y por consiguiente requiere mayor tiempo de instalación.



ENSAMBLE DE SECCION DE PLATO AL ARO SOPORTE.

FIGURA NO. 30

### 3.3 Ensamble de Secciones de Plato y Registro de Hombre.

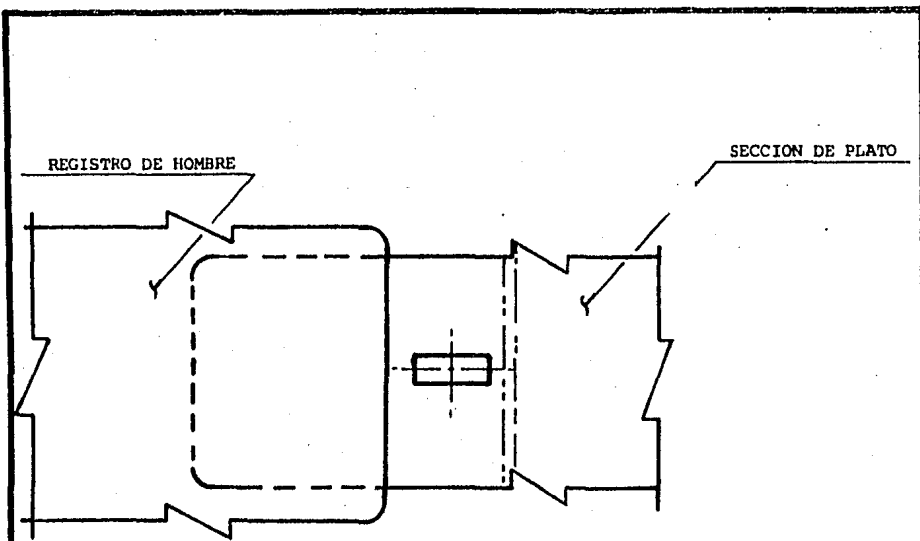
Este ensamble presenta las mismas propiedades que el ensamble entre secciones de plato, sin embargo muestra características muy propias que lo hacen diferente de los demás tipos de ensamble.

El ensamble debe ser capaz de permitir que el registro de hombre, pueda desensamblarse por la parte inferior y superior del plato, para el acceso de personal y equipo para la instalación y mantenimiento, para lo cual se emplean espárragos con tuercas en ambos extremos.

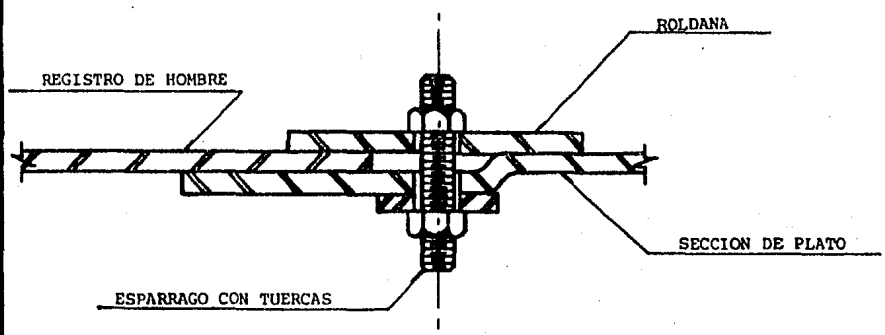
Para evitar que los espárragos giren, se procede a rebajar éstos, lográndose dos caras planas paralelas, localizados en aberturas rectangulares previamente hechas en las secciones de los platos, teniendo dimensiones que impidan el giro de los espárragos, previendo que las aberturas no invadan la zona del dobléz.

Por condiciones de desensamble se prefiere utilizar roldanas en la parte inferior con el propósito de proteger las secciones de los platos y dos roldanas en la parte superior con el objeto de dar mejor rigidez.

Las dimensiones de las roldanas superiores deben permitir el desensamble del registro de hombre sin la necesidad de quitar totalmente los herrajes.



ABERTURAS PARA ENSAMBLE DE REGISTRO DE HOMBRE Y SECCION DE PLATO



ENSAMBLE DE SECCIONES DE PLATO Y REGISTRO DE HOMBRE.

FIGURA NO. 31



### 3.4 Ensamble de Bajante con Secciones de Plato.

La función del ensamble consiste en unir longitudinalmente a la bajante con las secciones de plato.

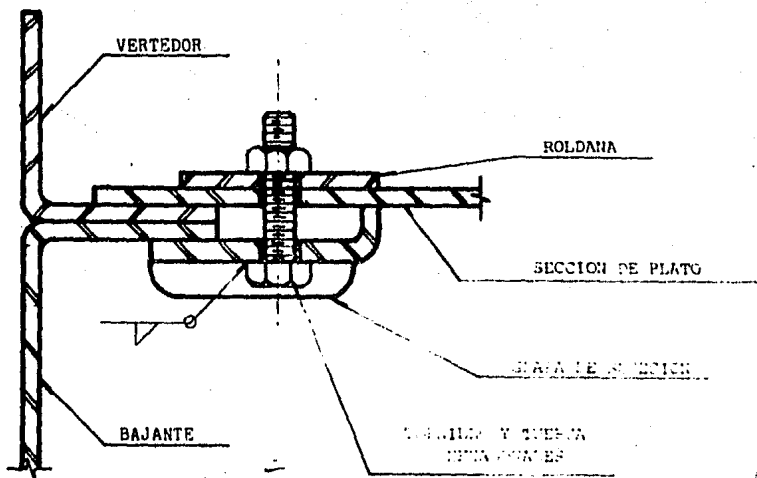
El ensamble presenta las mismas características de sujeción empleadas para el ensamble de secciones de plato al aro soporte.

Sin embargo presenta una característica propia, respecto al agarre de la grapa de sujeción, que para este caso es menor que el requerido en el ensamble mencionado.

Además cabe mencionar que existen casos que requieren que el registro de hombre esté dispuesto sobre la bajante, - siendo necesario sustituir la tornillería por espárragos con caras planas paralelas y localizados en aberturas rec tangulares previamente hechas en la sección del plato, - que impidan el giro de los mismos.

La dimensión longitudinal de la abertura, debe ser tal - que permita desplazarse a la grapa de sujeción, dándole libertad al registro de hombre de desensamblarse.

Las dimensiones de la roldana de sujeción, deberán de ser de tal manera que cubran la abertura rectangular en cualquier posición.



ENSAMBLE DE BAJANTE CON SECCIONES DE PLATO.

### 3.5 Ensamble de Bajante

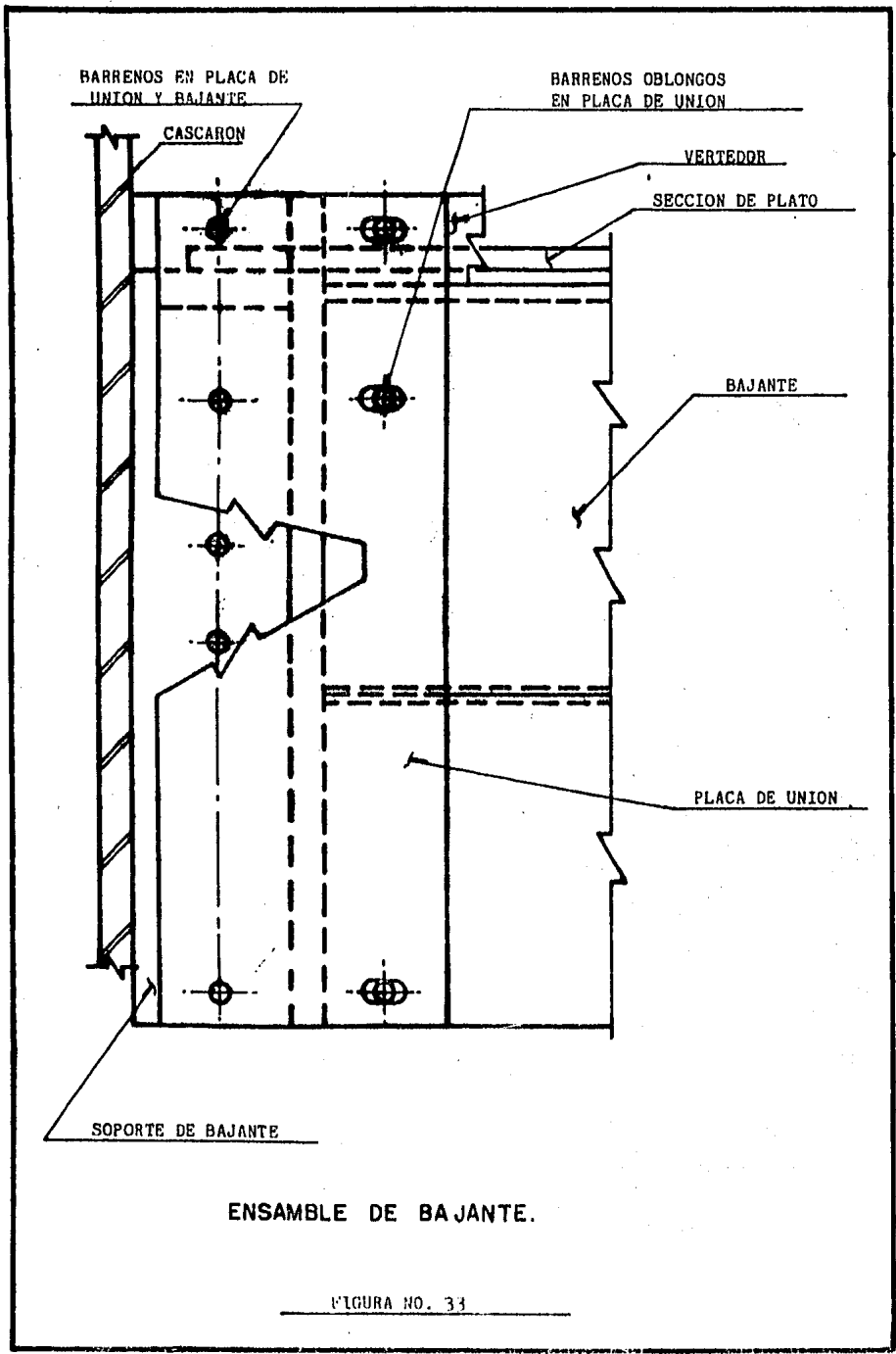
El ensamble consiste en sostener a las secciones canal que componen a la bajante, a la pared del recipiente. Empleándose placas de unión que unen a las secciones y al vertedor con el soporte de bajante.

La placa de unión está provista de barrenos oblongos, con la finalidad de que las secciones se desplacen libremente por los efectos de la temperatura.

Los barrenos oblongos deberán estar localizados, en el extremo de la unión con la bajante, con el propósito de dimensionar adecuadamente el barreno oblongo, permitiéndonos cumplir con las distancias mínimas de localización de barrenos, a un canto recortado. Que en caso contrario de localizarse los barrenos oblongos en el extremo del soporte de bajante, existen ocasiones que no permiten cumplir con las tolerancias mencionadas.

El espesor de la placa de unión se prefiere sea igual al espesor del plato, con el objeto de uniformizar los espesores, pero en el ensamble se emplean dos placas de unión empalmadas, para dar una mejor rigidez.

Sin embargo cabe mencionar que existen casos en que el espesor de la placa de unión debe ser mayor, es decir cuando las condiciones de carga son más críticas.

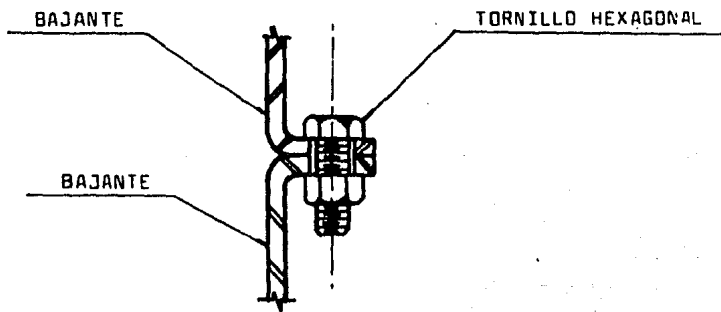


### 3.6 Ensamble de Secciones de Bajante

El ensamble consiste en unir las secciones canal y ángulo que componen a la bajante entre sí mismas, sujetándose longitudinalmente con tornillería.

La localización de la tornillería, deberá cumplir al menos con las tolerancias mínimas para las llaves de sujeción, así como las tolerancias a un canto recortado.

La distribución de los tornillos para la unión de las secciones se inicia a partir de la línea de centro de la torre hacia ambos extremos, debiéndose revisar que el último tornillo cercano al ensamble de la bajante con la placa de unión, no interfiera, respetándose los espacios mínimos para atornillar.



ENSAMBLE ENTRE SECCIONES DE BAJANTE.

FIGURA NC. 34

### 3.7 Ensemble de Continuidad de la Canal Integral de la Sección de Plato

Cuando las condiciones de operación no son muy severas. - y se tienen longitudes de canal integral de sección de plato menores de 2000 mm, no se recomienda utilizar grapas de unión y placas de unión, que tiene como consecuencia el empleo de una mayor cantidad de material, por lo que se prefiere emplear un detalle de ensamble que proporcione continuidad a la canal, frente a las solicitudes de carga en operación, instalación y mantenimiento.

Para lograr la continuidad del trabajo requerido, se implementan dos láminas unidas y dobladas en ángulo, que proporcionan una mejor resistencia por el momento de inercia que desarrollan, unidas a un espárrago y conectándose a una grapa de sujeción, empléandose además empaque para sellar el hueco desarrollado por el conformado, que pueda dar origen a goteos excesivos principalmente si el detalle de ensamble de continuidad se encuentra localizado en el área de la bajante.

El ensamble se aplica tanto para el extremo del aro soporte como en el extremo de la bajante, sin embargo la estructuración en el extremo del aro soporte, deberá ser revisado con más detenimiento, ya que conforme las secciones se alejan de la línea de centro de la torre, el desarrollo de la localización del barrenado se va incrementando.

Esto se debe porque se tienen que cumplir con las tolerancias a un canto recortado, teniéndose por consiguiente que la longitud de las láminas sea mayor, siendo una buena - práctica tratar de uniformizar a un solo tipo de lámina y grapas de sujeción, de tal manera que sean funcionables - en cualquier posición, revisándose que las láminas no interfieran con el aro soporte, herrajes de sujeción o con las unidades de contacto.

Para poder efectuar el ensamble entre secciones de plato, en el extremo del aro soporte o en la bajante, se requiere que la sección que tiene integrada la canal, se le haga un corte para poder librar el escalón, comunmente llamado corte de sección, donde el corte de sección no deberá invadir el área de dobléz, con el propósito de evitar fisuras o grietas por los esfuerzos residuales, el corte efectuado en la sección deberá seguir el mismo contorno del aro soporte o la bajante, ésto es con el propósito de no desarrollar un hueco muy grande.



### 3.8. Herrajes de Sujeción

Para llevar a cabo la sujeción de los elementos estructurales que integran los platos, se deben seleccionar elementos simples de manejar, tanto en la instalación como en el mantenimiento, empleándose:

- a) Roldanas
- b) Grapas de Sujeción
- c) Tornillería

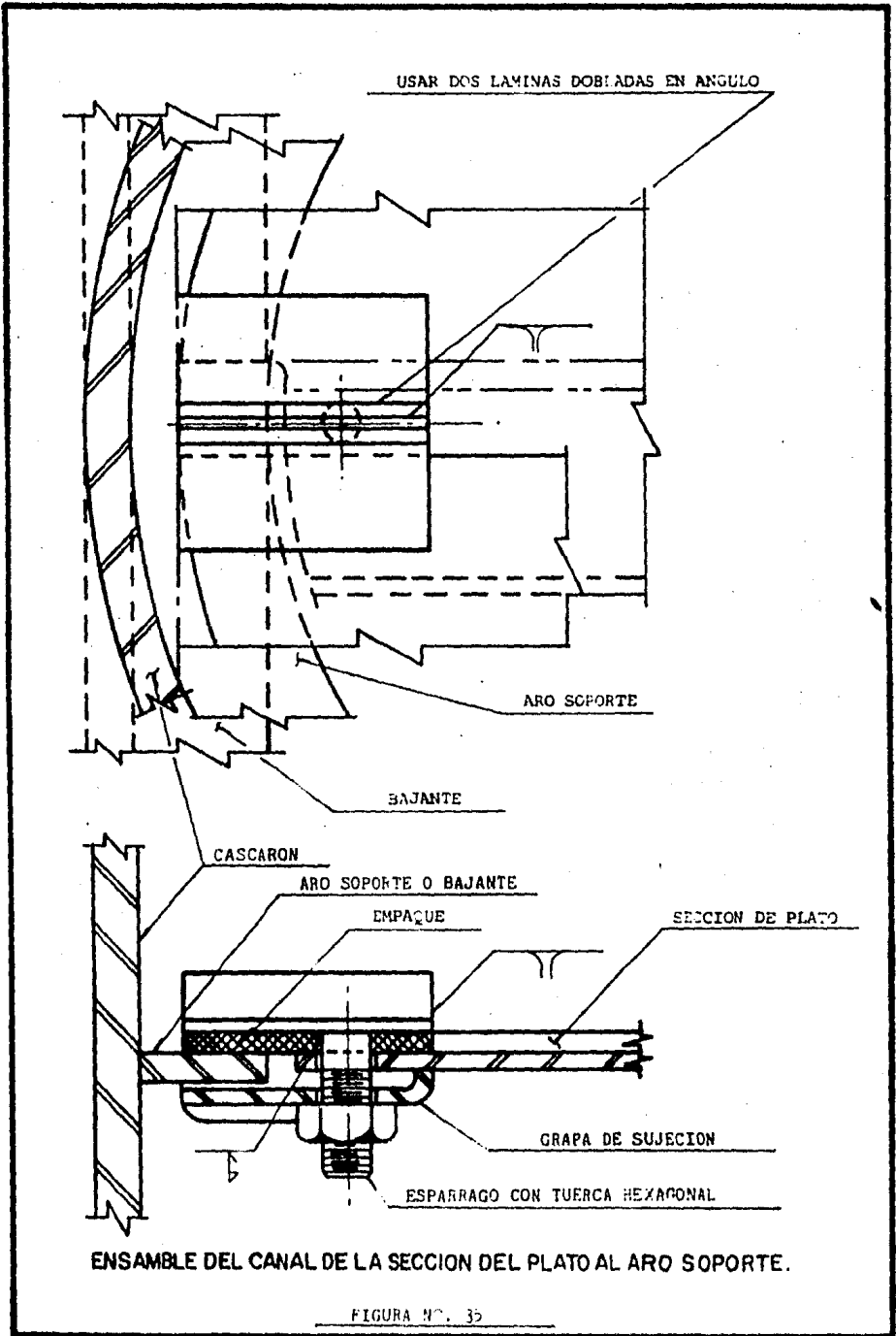
#### a) Roldanas

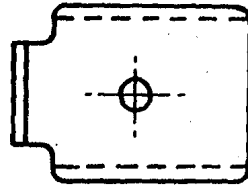
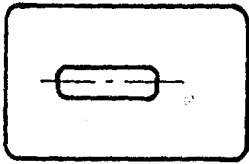
De acuerdo a los detalles de ensamble, las roldanas se emplean con diferentes fines de operación, es decir; se emplean para sujeción de elementos, para distribuir uniformemente la presión ejercida sobre el piso del plato o bien para proteger las secciones del plato y las dimensiones varían de acuerdo a las condiciones de funcionabilidad.

#### b) Grapas de Sujeción

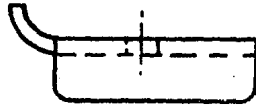
La particularidad de éste tipo de herrajes, los hace indispensables en determinados ensambles, ya que por su forma nos permite sujetar dos elementos de diferente espesor.

El doblado aplicado para el agarre no deberá ser menor de 5 mm, y el doblado efectuado en ambos extremos





ROLDANAS



TORNILLOS

GRAPAS DE SUJECION

HERRAJES DE SUJECION.

FIGURA NO. 36

de la grapa, tiene como finalidad la de proporcionar-le una mejor resistencia.

c) Tornillería

Se emplean tornillos y tuercas hexagonales, por su - facilidad de apretar o sujetar con una llave, porque requieren menos espacio para girar.

Para sujeción de platos e internos estructurales, es una práctica común no emplear tornillos con diámetros menores de 9.5 mm, y una longitud mínima de 32 mm.

#### 4. PROCEDIMIENTOS DE ENSAMBLE Y MONTAJE

Antes de la presentación de trabajo para la instalación de platos, el supervisor tendrá que analizar los dibujos de diseño y fabricación, marcando factores de importancia de tal modo que lo familiaricen con los diferentes detalles de ensamble.

Debiendo proveerse de andamios o estructuras de madera para maniobras en la localización de la torre, protegiéndolos contra las inclemencias del medio ambiente, y se tendrán aparejos suspendidos que tiran o alzan, y preparan cualquier andamio o estructura de madera, que deberán ser requeridas para la instalación de platos.

Los platos no podrán ser manejados, empacados cuando estos son requeridos, ya que la lista de embarque y transportación varía de acuerdo al tipo de plato manufacturado, haciendo se necesario señalar las partes del plato desde su embarque, para manejar respectivamente el lote.

El preensamble generalmente se involucra a todos los herrajes de sujeción, por lo que el supervisor deberá realizar una lista de las partes requeridas para cada plato, puesto que las piezas son removidas durante el transporte.

Todo trabajo que pueda ser ejecutado en tierra, deberá ser recomendado por su facilidad, que al realizarlo en los con fines de la torre.

Ya que en ocasiones por manejar las piezas por separado da como consecuencia que unas partes estén en la torre, otras en el área de trabajo o sobre la escotilla de la torre.

Dándose como resultado pérdidas de tiempo, ya sea en el armado y en el izaje del plato hacia la plataforma. Así mismo el próximo plato deberá ser preensamblado en tierra a un costado de la torre y preparado para ser levantado. En otras palabras, siempre subsiste el preensamble al frente de la instalación, la Tabla 5, es una guía para el estimado de personas requeridas para la instalación de platos.

Por lo que una persona podrá hacerse cargo del preensamble y manejo del plato, sería inútil consumir tiempo y enviar la pieza errónea al interior de la torre, o el subensamble erróneo sobre las piezas de los platos. Para evitar ésto se requiere un triple sistema de comunicación eficiente, es decir; una conexión a tierra, registro de hombre y área de trabajo dentro de la torre.

Cuando llegan las piezas de los platos al área de trabajo es regla común de trabajo que éstas deban ser enviadas en orden siguiente: Las bajantes primeramente, bajantes menores, deflectores, secciones de plato y finalmente los registros de hombre.

Mientras se manejan los platos, no requiere un cuidado normal para platos válvulados o perforados. Ya que los platos válvulados tendrán que ser manejados con mucho más cuidado, -

T A B L A 5

NUMERO DE PERSONAS REQUERIDAS PARA LA INSTALACION DE PLATOS							
DIAMETRO DE LA TORRE (MTS)	Trabajando Sobre el Plato	(Trabajando en un Nivel)			IZAJE (2)	Marcas (3)	Embarque (3)
		Interior (1) Sobre la Estructura de Madera	Exterior Sobre la Plataforma	Preensamble de Platos			
0.914 - 1.524	1	1	1	1	1	--	--
1.828 - 2.743	2	1	1	1	1	1	--
3.048 - 3.657	2 ó 4	1	1	1	1	1	1
3.962 - 4.572	4	2	1	2	1	1	1
4.876 - 5.791	5	2	2	2	1	1	2
6.096 - 7.010	6	2	2	3	1	1	2
7.315 - 8.229	6	2	2	3	1	1	2
8.539 -10.058	7	2	2	4	1	1	2

NOTAS:

- No. 1. El número de personas en el interior y exterior en el registro de hombre de la torre, depende del peso y la longitud de las secciones de los platos y de las vigas que serán manejadas.- (En torres con diámetros grandes (6,000 mm) se requiere de una persona en el interior de la torre para identificar las piezas).
- No. 2. El izaje no se requiere cuando el número de platos es pequeño (1 ó 3 platos).
- No. 3. Las personas de identificar, marcar y embarque, deberán estar presentes en el preensamble.

porque las patas de las válvulas se doblan fácilmente, quedando ésta deteriorada.

Los embarques de platos válvulados deberán estar dispuestos "patas con patas", ya que fácilmente se traban y son extremadamente difíciles para desengancharse provocando daños en las válvulas.

La instalación de platos es presentada en el fondo de la torre y ensamblados hacia arriba, la secuencia es presentada con las bajantes. Varios platos son manufacturados presentando bajantes ajustables, para permitir el claro inferior de la bajante y hacer el sello adecuado. Esta es una de las más importantes dimensiones y crítica para el funcionamiento del plato. Para cumplir con esta recomendación es conveniente disponer de bloques de madera cortados a la altura requerida para actuar como espaciadores.

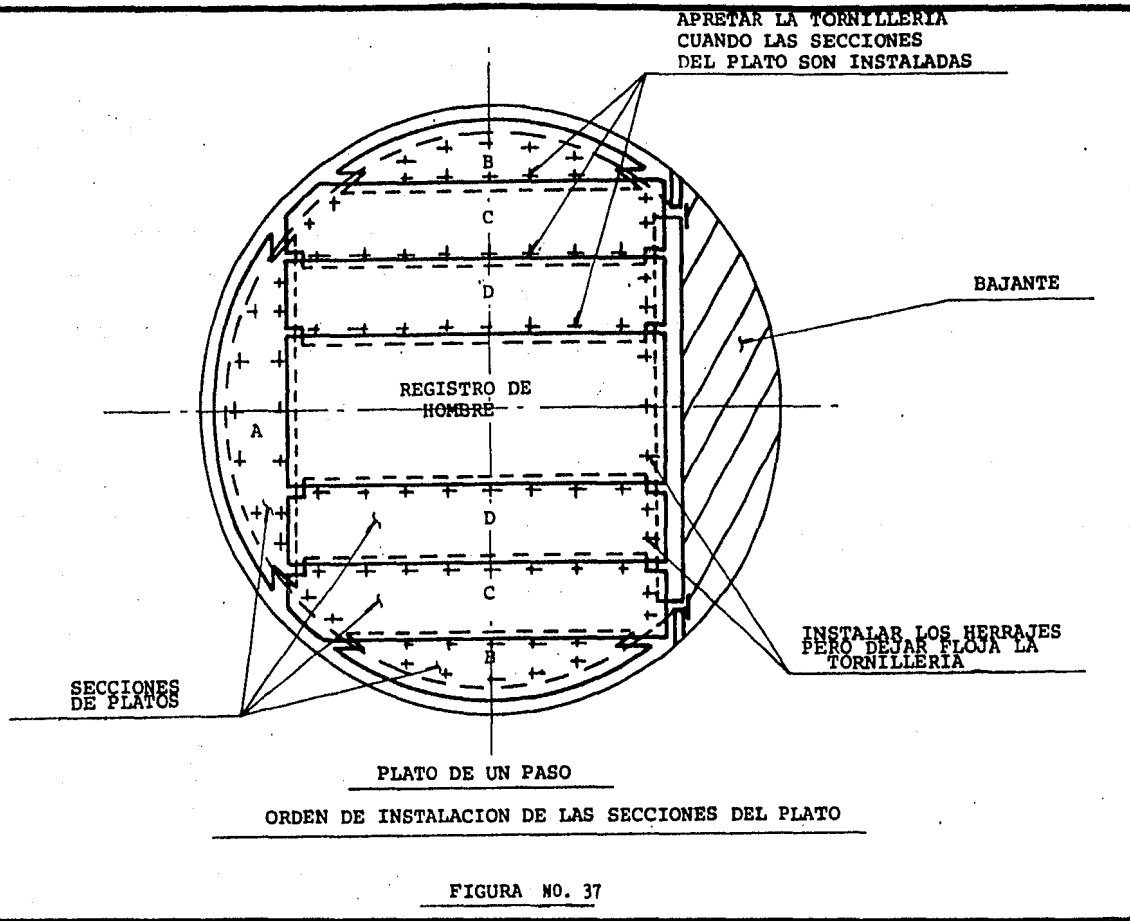
#### 4.1 Orden de Ensamble

Las secciones de platos, deberán ser instaladas en el siguiente orden, según se muestra en las Figuras Nos. 37 y 38 respectivamente.

Después de colocar la sección "A", apretar manualmente las grapas que se encuentran en la periferia, y en la parte inferior del plato sobre el aro soporte.

Después la sección "B" es instalada y las grapas de la periferia son apretadas manualmente.





Instalar la sección "C" y apretar la tornillería entre la sección "B" y "C", con el apriete requerido. Instalar la tornillería paralela a la bajante pero dejándola floja.

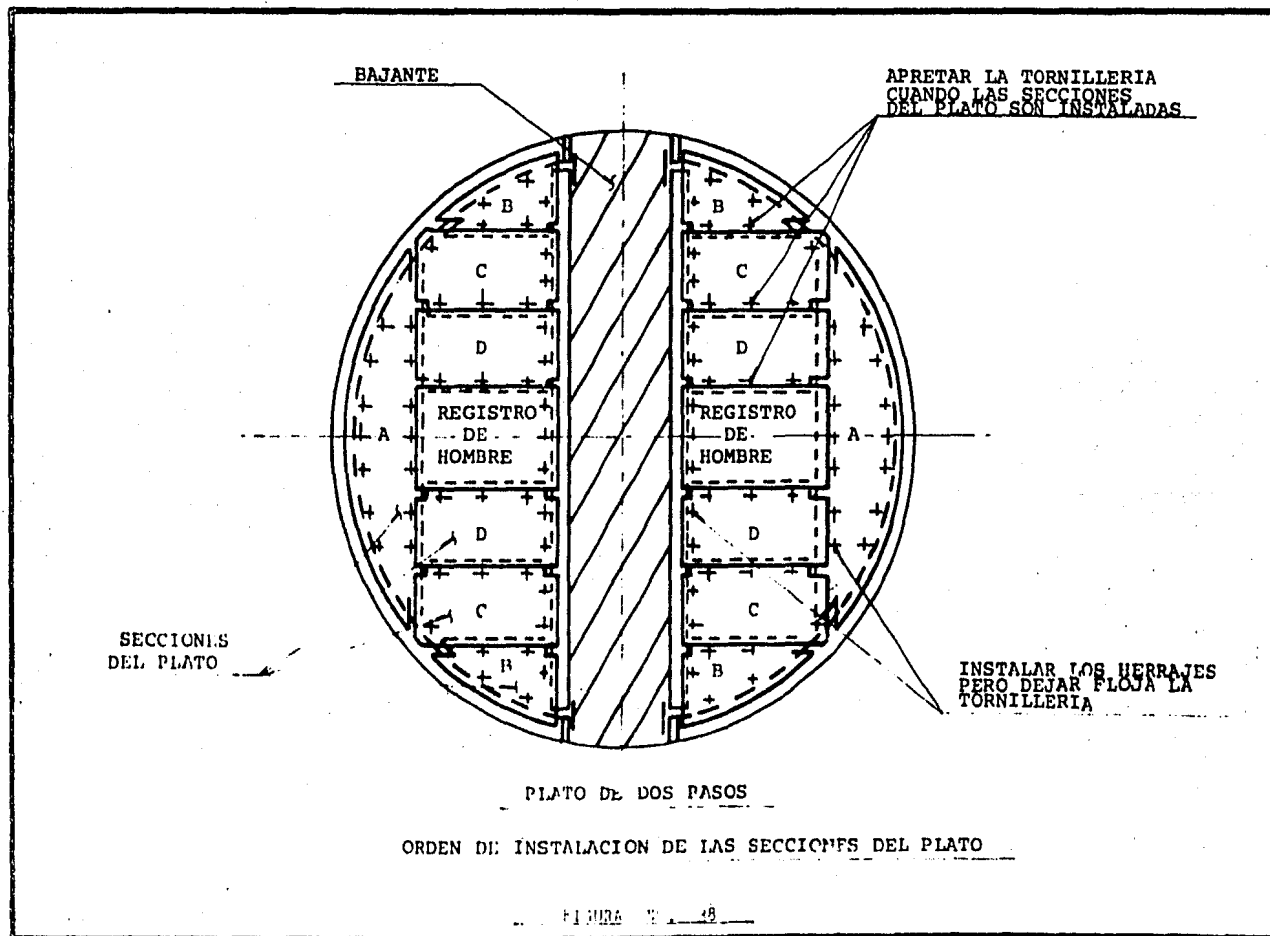
Repetir el procedimiento hasta que el registro de hombre es alcanzado, entonces ir al lado opuesto del plato y repetir el procedimiento. Cuando el ancho del registro de hombre es verificado; entonces y sólo entonces se aprietan los tornillos paralelos a la bajante y las grapas periféricas son entonces apretadas.

Es una práctica común, para algunos diseñadores y fabricantes de platos el empleo de herrajes sueltos; tornillos y tuercas no soldadas, las grapas empleadas alrededor de la periferia del plato que son embarcadas sueltas con el tornillo.

Todo esto adiciona tiempo de instalación, que en torres de diámetros grandes requerirá de una persona extra.

Por lo que es conveniente que los tornillos entre las secciones de plato "B - C" y "C - D", estén sueltos y se especifique que las tuercas se deben soldar en la parte inferior de las secciones, esto permite inclinarse sobre el plato, instalar y apretar la tornillería, continuar el trabajo hacia el registro de hombre.

Después de haber dado el ancho del registro de hombre, el piso de plato podrá ser apretado en la parte superior,



sin embargo esto no elimina tener una persona en la parte inferior del plato, para sostener y ubicar en la posición adecuada las grapas de la periferia, siendo el trabajo menor comparado en tener que sostener las tuercas - sueltas abajo del plato.

Desde la planeación de trabajo se toma en cuenta la cantidad de tornillería suelta empleada. Si el plato es completamente con tornillería suelta, entonces el 15% más de tiempo deberá ser adicionado en la instalación, en comparación con un plato el cual no tiene tornillería suelta.

#### 4.2 Secuencia de Montaje

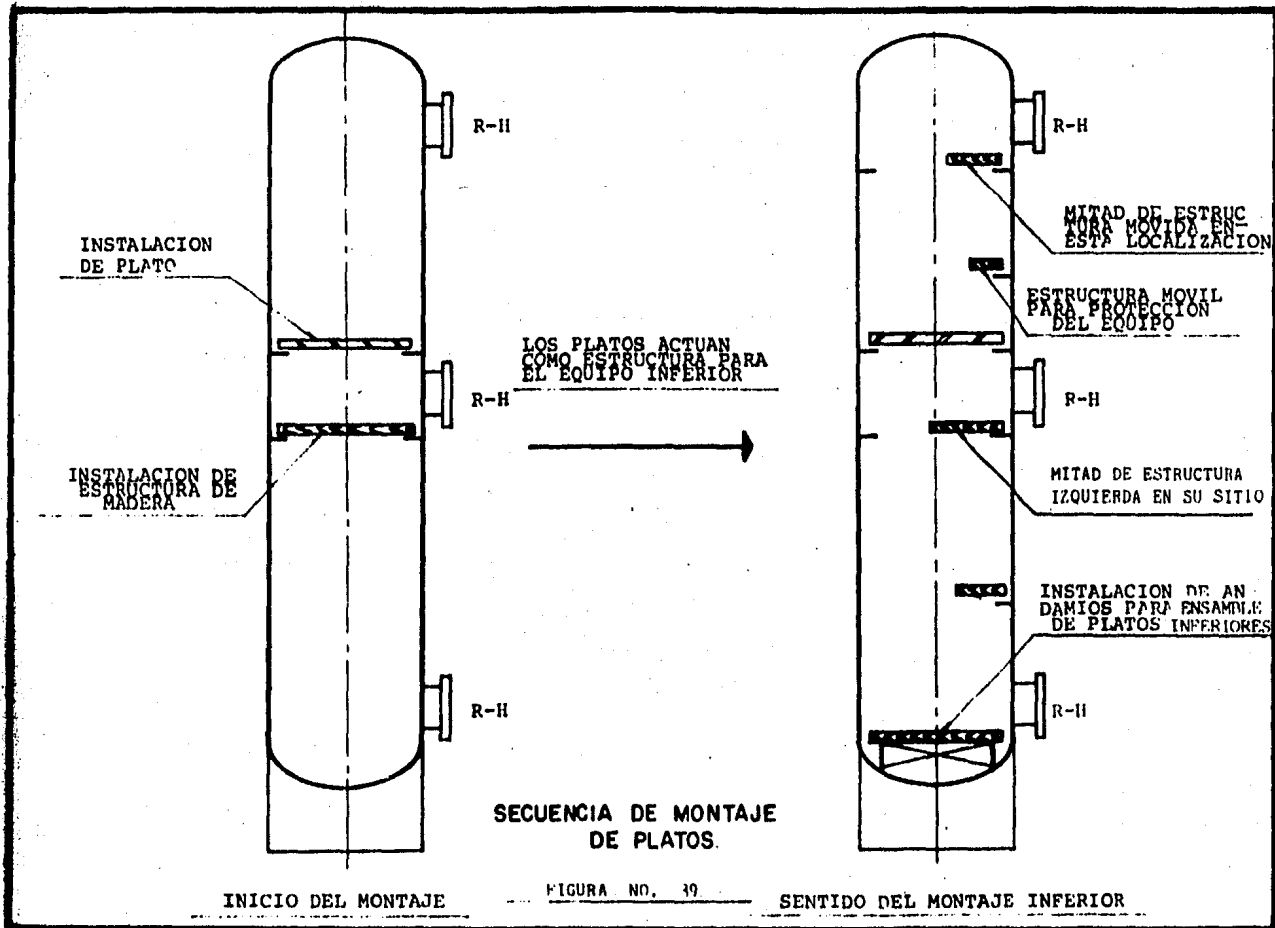
En la secuencia de trabajo, el tiempo es un factor crítico y es posible emplear más de un equipo de trabajo sobre el plato, si los registros de hombre permiten la colocación. Después del preensamble el equipo de trabajo tendrá caminos que mantengan al frente la instalación, el equipo de trabajo extra podrá ser con el mismo número de personas empleadas en tierra.

Para iniciar una construcción de madera, ésta se instala abajo del centro del registro de hombre de la torre, según se indica en el inicio del montaje, (Figura No. 39), la cual podrá ser clavada, asegurada y acuñada en la posición deseada.

El plato inmediato superior del registro de hombre es -

instalado primeramente, la mitad de la construcción es - entonces removida e instalada debajo del registro de hombre, según se muestra en el sentido del montaje inferior. (Figura No. 39).

En ocasiones se requieren andamios para facilitar la instalación de los platos del fondo, los cuales son levantados en el centro de la torre, entonces los platos son introducidos a través del registro de hombre de la torre y guiados manualmente empleando una línea de ganchos de seguridad.



## 5. APLICACION AL DISEÑO

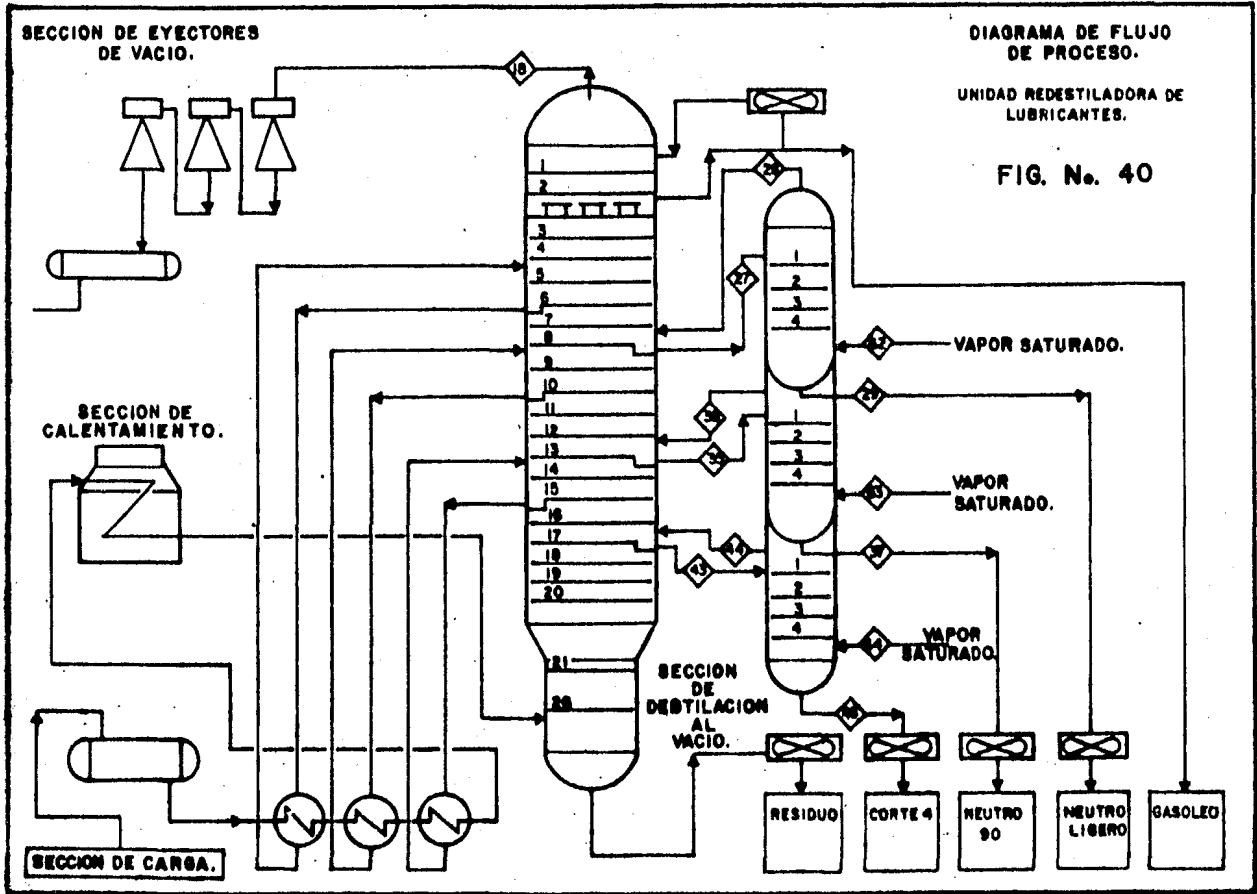
### 5.1 Selección de Materiales

Para tener una base, y tomando en cuenta los aspectos que se mencionan en el párrafo 2.2, se propone diseñar los internos de los agotadores de producto neutro 90, neutro ligero y corte 4, para la "Unidad Redestiladora de Lubrificantes", según se muestra en la Fig. No. 40, teniendo como función la de fraccionar una mezcla de gasóleo ligero y gasóleo pesado de vacío, obtenidos a partir de una mezcla de crudos Istmo-Maya, presentando en la corriente de líquido como elemento corrosivo azufre en un 3.5%, a una temperatura promedio de diseño de 450<sup>o</sup>K.

Temperatura a la cual el acero al carbón se hace muy susceptible a la corrosión, prefiriéndose utilizar un acero inoxidable con especificación ASTM A-240-410, que presenta propiedades poco susceptibles a la corrosión en presencia de azufre.

### 5.2 Estructuración de Platos

De las "hojas de datos de proceso para platos", generadas por la ingeniería de proceso, resultan todos los datos necesarios para efectuar el diseño de los platos, siendo los siguientes de acuerdo al párrafo 2.3.





## a) Características de Platos

Tipo de Plato	Válvulado
Diámetro	2438 mm
Espaciamiento entre platos	610 mm
Número de pasos	Uno
Tipo de bajante	Segmental Vertical (Recta)
Altura de vertedero	hv= 13 mm
Tipo de unidades de contacto	Flotantes
Número de unidades de contacto	310

## b) Datos Hidráulicos

Altura de Liq, en las bajantes	132 mm
Altura de Liq, sobre el vertedero.	hs= 44 mm
Altura de Liq, sobre la tina - de sello.	186 mm

## c) Características Geométricas

Las características geométricas generalmente están expresadas en los croquis proporcionados por la ingeniería de proceso, que para nuestro caso se representan en las Figuras No. 41 y 42.

## 5.2.1 Estructuración

La estructuración de los platos se realiza de acuerdo a la secuencia expresada en el párrafo 2.3.1.

DETALLES DE PLATOS Y TINA DE SELLO PARA LOS AGOTADORES

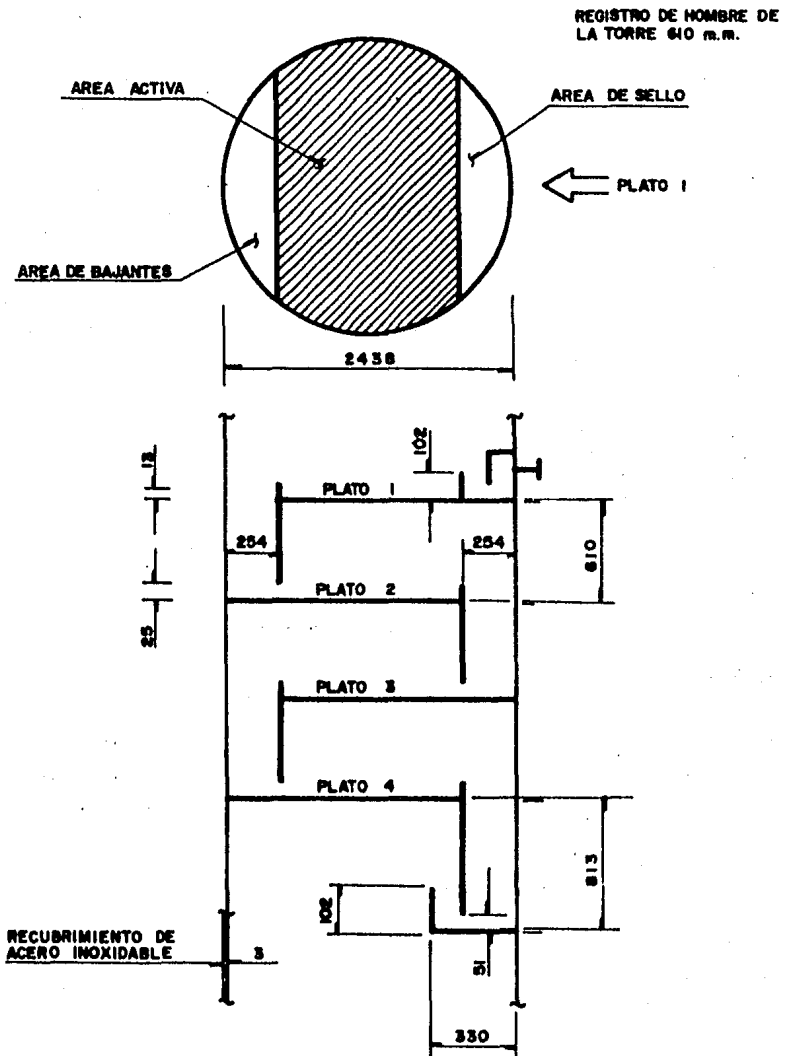
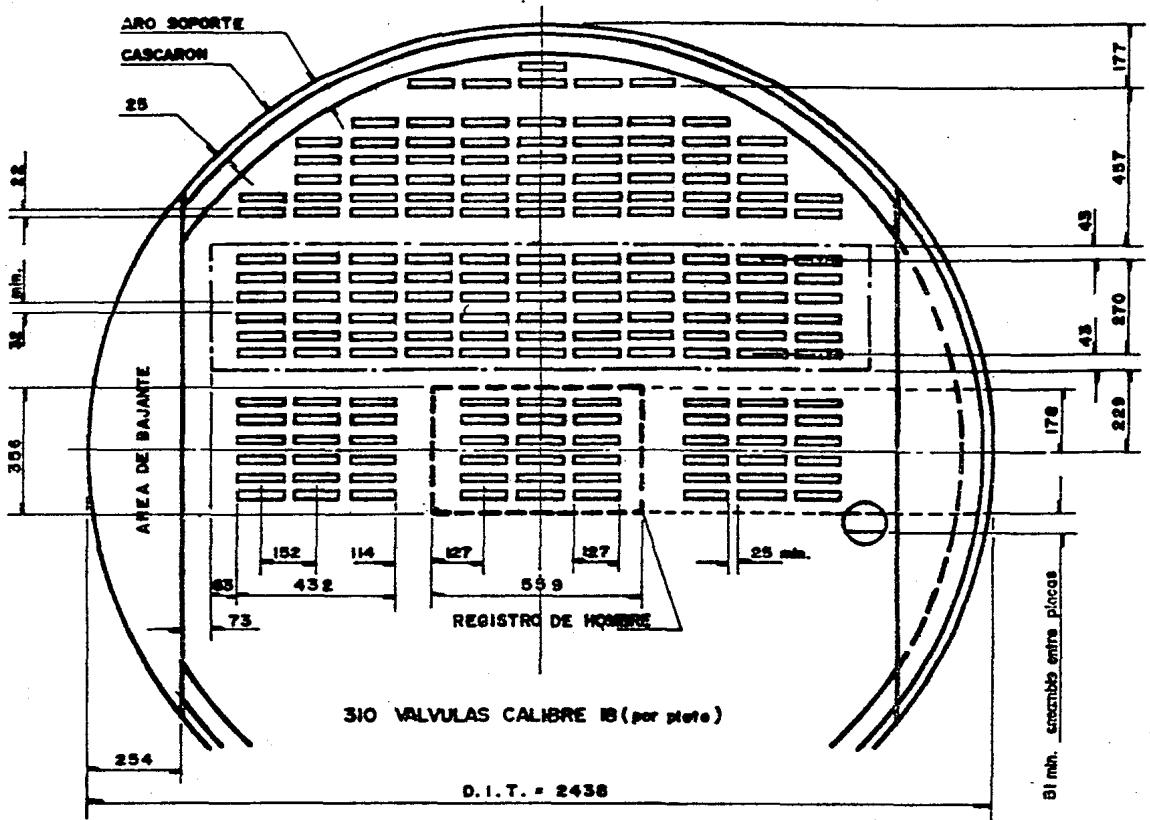


FIG. No. 41

FIG. No. 42 DISTRIBUCION UNIDADES DE CONTACTO



a) Tipo de plato:

Platos valvulados de un paso.

b) Diámetro exterior del plato  $D_p$ ;

Del inciso b), del párrafo mencionado se tiene que -  
para un diámetro interior de torre,  $DI = 2438$  mm la  
siguiente relación:

$$DI - D_p = 38 \text{ mm}$$

Despejando  $D_p$ ;

$$D_p = DI - 38 \text{ mm}$$

Sustituyendo valores;

$$D_p = 2400 \text{ mm}$$

Expresado en términos de radio exterior del plato -

$R_p$ :

$$R_p = \frac{D_p}{2} = 1200 \text{ mm}$$

c) Traslapes;

1. Traslape entre secciones de plato y aro soporte,  
está definido de acuerdo al diámetro interior de  
la torre y al ancho del aro soporte, que para -  
 $DI = 2438$  mm, se tiene un ancho de aro soporte  
 $A_a = 64$  mm:

2. Traslapo entre secciones de plato, se definió en el párrafo 2.3.1, inciso c), de 32 mm como mínimo y un total de 60 mm.
3. Traslapo de bajante con secciones de plato, se definió como mínimo de 32 mm.

d) Estructuración del registro de hombre.

De las características geométricas del plato, nos da como alternativa seleccionar un registro de hombre, con una abertura libre de 330 mm x 560 mm.

e) Estructuración de Secciones de plato.

De la distribución de las unidades de contacto, proporcionada por el diseñador de proceso, se orientará el extremo corto del registro de hombre (a), perpendicular al ancho de la bajante, por lo que el ancho de las secciones  $A_s$ , se determinará de acuerdo a lo indicado en el párrafo 2.3.1, inciso e), expresado en los siguientes términos:

$$A_s = \frac{(RI - a/2) - (RI - R_p)}{N_p}$$

Donde:

RI; Radio interior de la torre

a; Extremo corto del registro de hombre

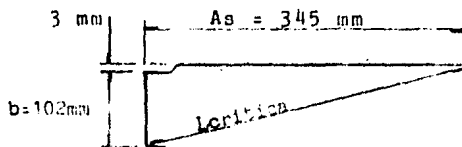
Rp: Radio exterior del plato

Np; Número de partes iguales

Sustituyendo valores y tomando como  $N_p = 3$ , se obtiene;

$$A_s = \frac{(1219 - 330/2) - (1219 - 1200)}{3} = 345$$

Considerando un peralte de canal integral de plato de 102 mm, y una altura de conformado de 3 mm, se tiene un total de 105 mm, que por trigonometría, se tendrá el desarrollo de la dimensión más crítica  $L_{cr}$ ;



$$L_{cr} = (345^2 \text{ mm}^2 + 105^2 \text{ mm}^2)^{1/2}$$

$$L_{cr} = 360 \text{ mm}$$

Debiéndose cumplir que la dimensión crítica  $L_{cr}$ , tendría un valor menor al diámetro del registro de hombre de la torre, expresado en literales:

$$L_{cr} < \varnothing R-H$$

Sustituyendo datos;

$$360 \text{ mm} < 610 \text{ mm}$$

f) Distribución de unidades de contacto;

Antes de realizar la estructuración en el dibujo es

necesario checar con ayuda de un croquis, el arreglo de las unidades de contacto en sentido transversal, de las secciones de plato, respetando el arreglo indicado en las características geométricas. Efectuando el trazo a partir de la  $\mathcal{C}$  de la torre, esto es - con la finalidad de simplificar el trazo, ya que la configuración en este sentido es simétrico, asimismo tomando en cuenta la recomendación del párrafo 2.3.1, inciso f).

En la elaboración del croquis se aprovecha para vaciar la información determinada con anterioridad, según se indica en la Fig. No. 43. Recalcándose que la primera hilera de aberturas de válvulas, no invade - la zona del dobléz, esto es en el extremo de la canal.

Como siguiente paso y con ayuda del croquis, se procede a efectuar el trazo, de la vista en planta del plato, con el propósito de verificar que se puede - - cumplir con el número de unidades de contacto requeridas. Determinando en este mismo trazo, la geometría de las secciones auxiliares que permiten el ensamble del registro de hombre, respetando como mínimo la - abertura libre del extremo largo (b), una vez determinada la geometría de las secciones auxiliares se - procede a elaborar el croquis en el sentido transver - sal de la bajante, tomando como patin de la sección

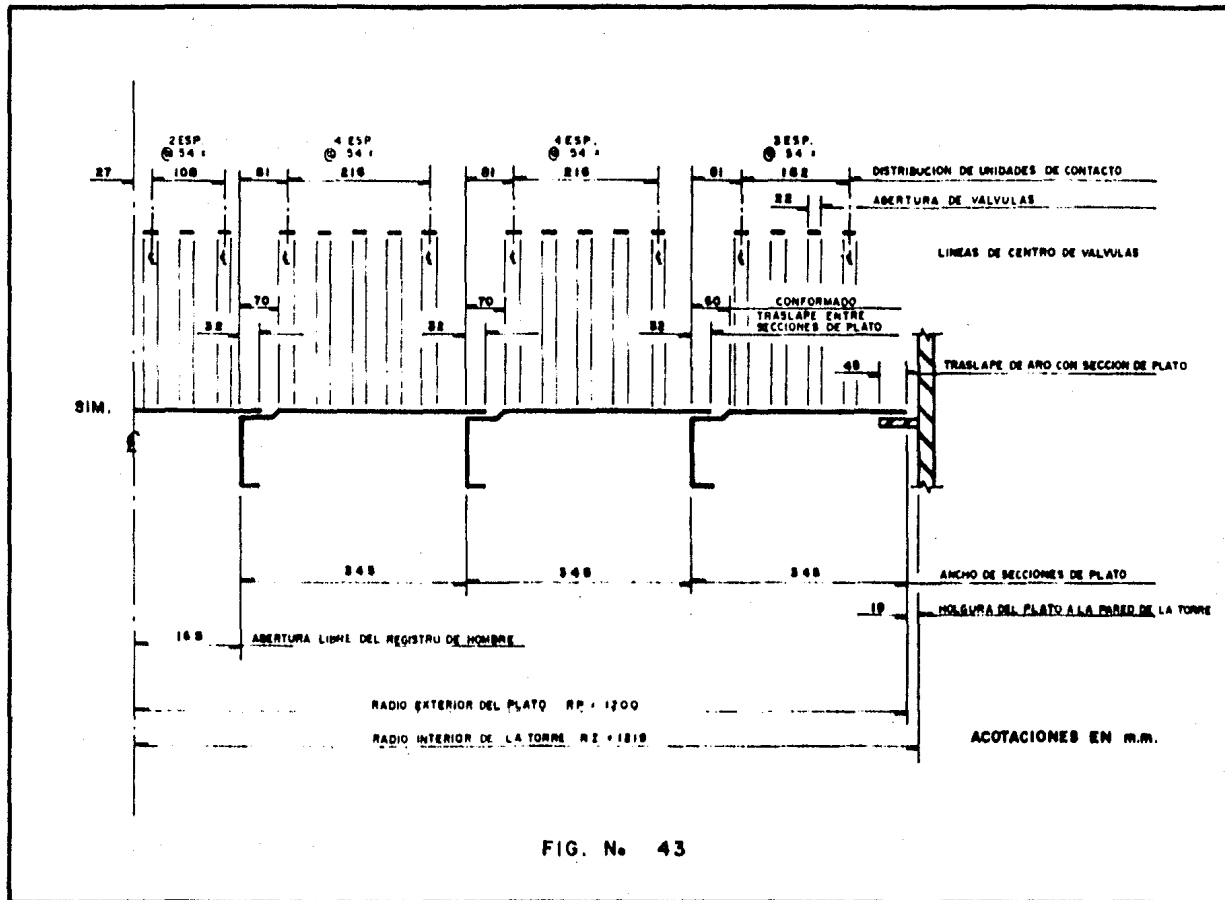


FIG. No 43



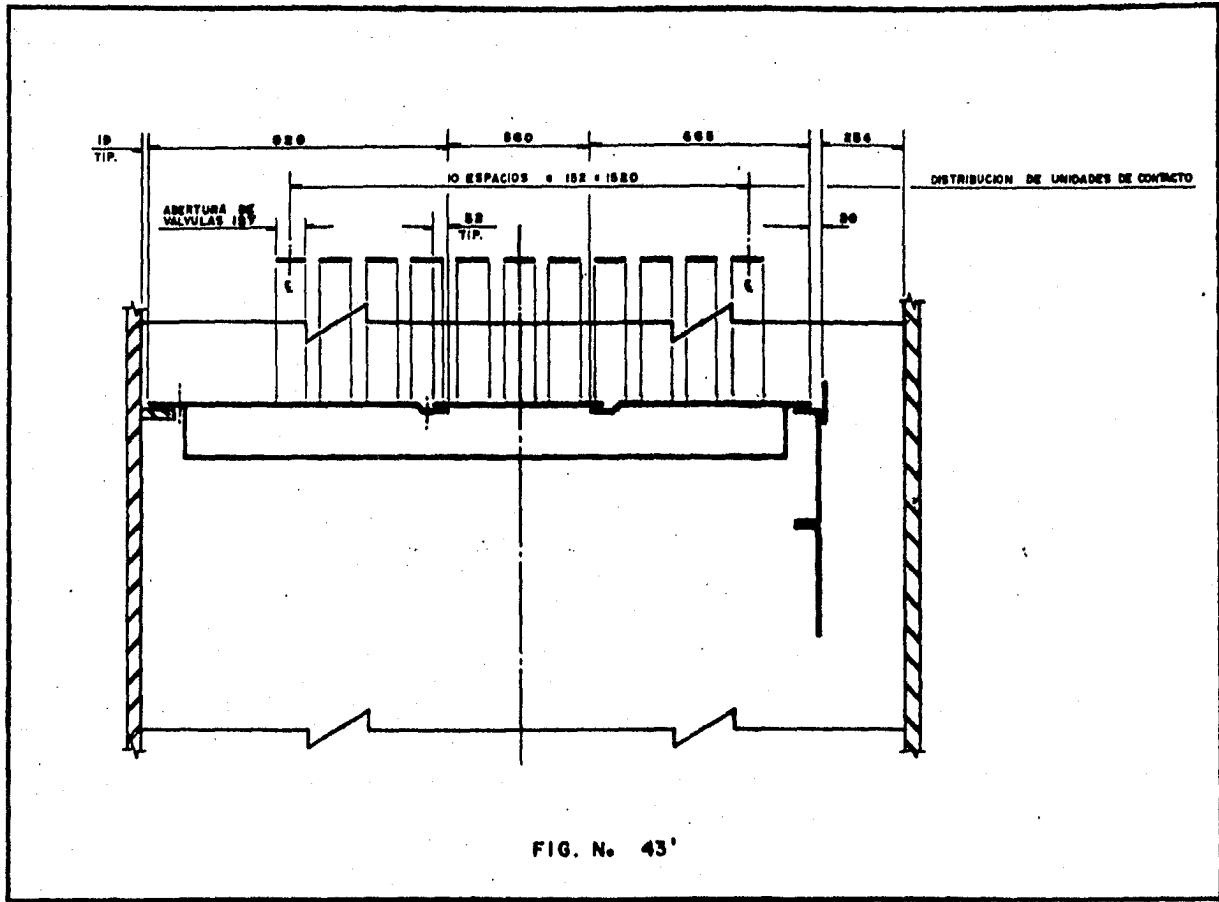


FIG. No. 43'

canal de la bajante de 50 mm. Sin embargo cabe resaltar que en la vista en planta se contemple el ensamble de continuidad, de las láminas dobladas en ángulo, ya que en ocasiones estas interfieren con las válvulas, según se muestra en la Figura No. 44.

g) Distribución de Herrajes de Sujeción;

La distribución de herrajes de sujeción, en las secciones de los platos, se ubicarán entre las válvulas para evitar que las roldanas interfieran, asimismo la distribución de los herrajes perimetrales, paralelos al ensamble de las secciones, se ubicarán en una misma proyección, con el propósito de simplificar el vaciado de la información en el dibujo, que en caso contrario se tendrán cotas para cada sección de plato, previendo las recomendaciones del párrafo 2.3.1, inciso g), en la distribución de los herrajes se deberá incluir el ensamble de continuidad, o en su caso el ensamble de secciones en el aro soporte, verificando que los herrajes no interfieran con el mismo, según se indica en la Fig. No. 44.

h) Estructuración de la tina de sello;

De las características geométricas, se tiene un ancho de tina de sello de 330 mm, que de acuerdo al párrafo 2.3.1, inciso h), se estructura de una sola

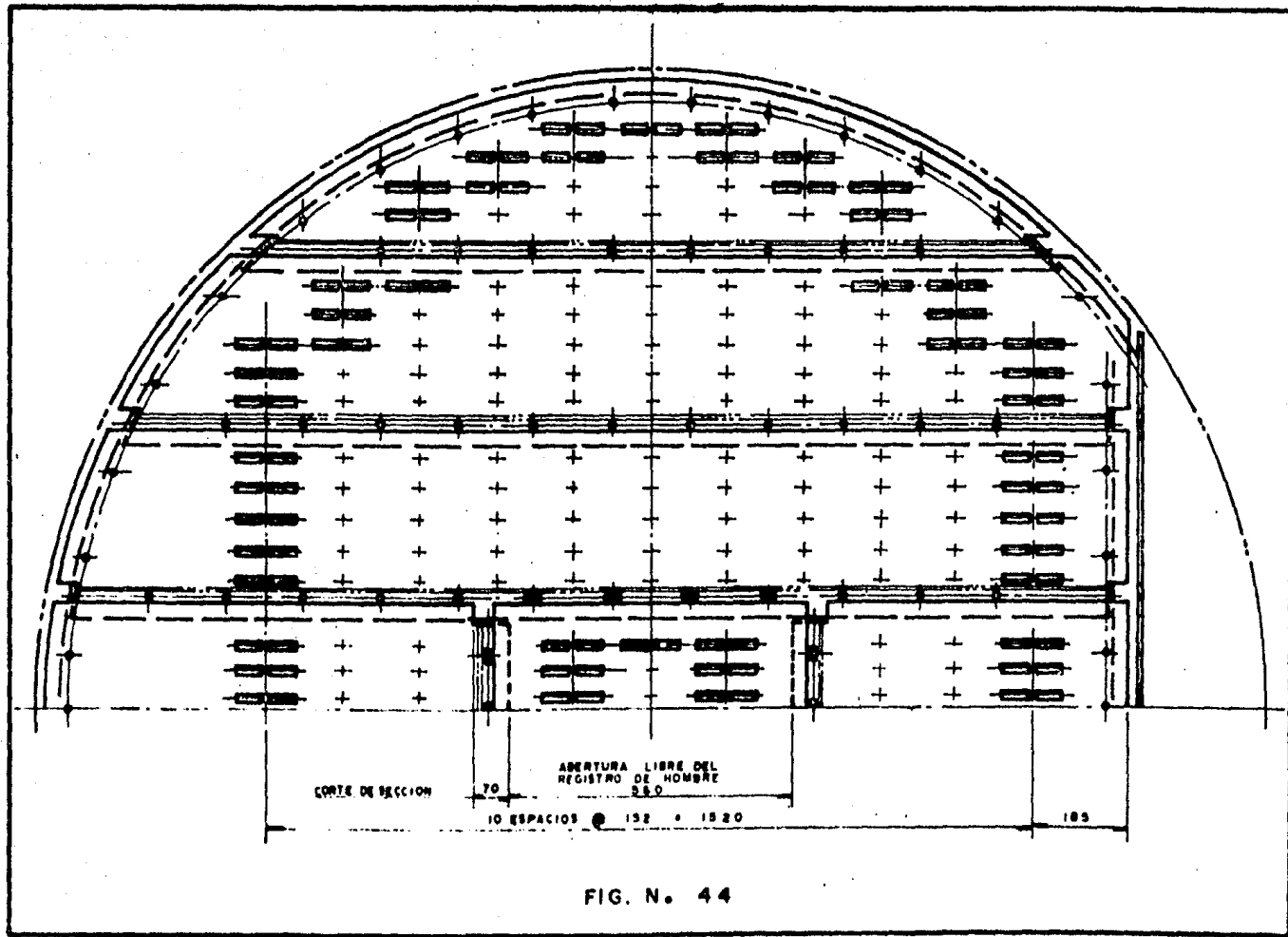


FIG. N. 44

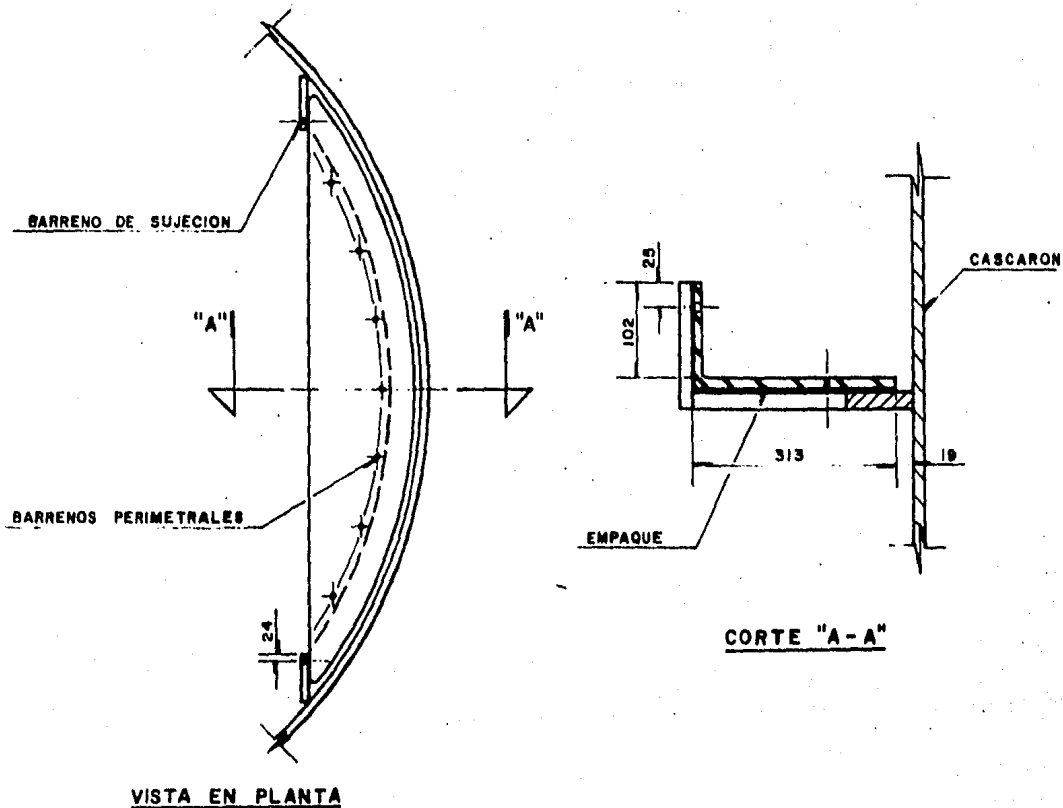
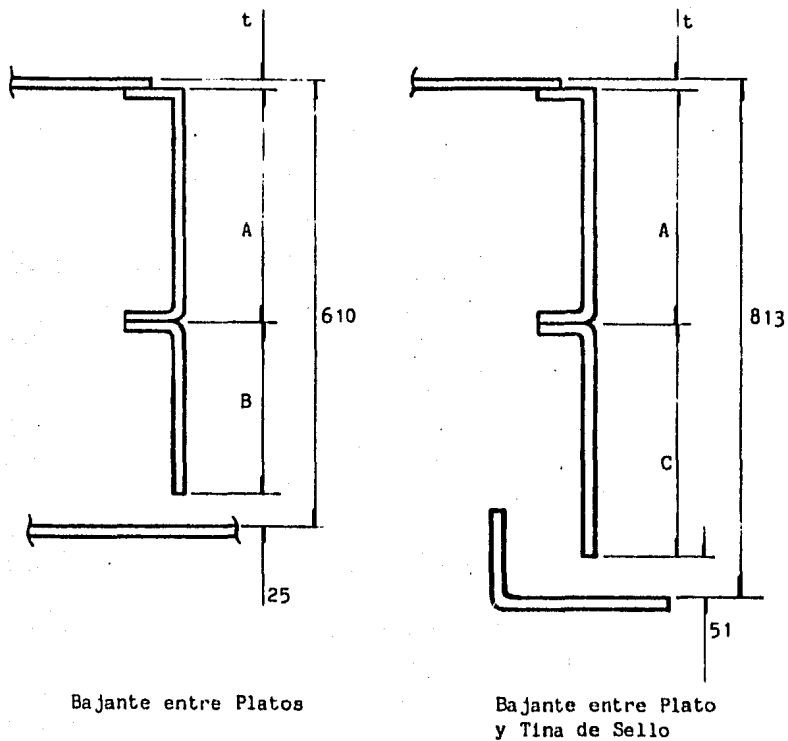


FIG. No. 45 ESTRUCTURACION DE TINA DE SELLO

pieza, verificando que su desarrollo sea tal, que - pueda ser introducida a través del registro de hombre, ver Fig. No. 45.

1) Estructuración de bajante;

En este caso se presentan dos longitudes de bajante, para platos y tina de sello, según se indica en las características geométricas, prefiriéndose que se - uniformicen los peraltes de las secciones que componen a la bajante, estableciéndose un rango de 200 mm como mínimo y 300 mm como máximo;



de acuerdo a las dimensiones indicadas, se tomará como peralte de canal  $A = 300$  mm y un espesor  $t = 2.08$ mm, resultando;

$$B = 610 - ( A + t + 25 )$$

$$C = 813 - ( A + t + 51 )$$

$$B = 283 \text{ mm}$$

$$C = 460 \text{ mm}$$

j) Estructuración de Soportería;

Se seleccionará un ancho de aro soporte de 64 mm, de acuerdo a lo indicado en el párrafo 2.3.1, inciso c).

En las características geométricas se indica que el recipiente tendrá un recubrimiento de acero inoxidable, por lo que no se requiere adicionar un sobreespesor por corrosión, asimismo el aro soporte será de 13 mm de espesor, según lo especificado en el párrafo 2.4.3.

Con la finalidad de uniformizar espesores, se recomienda que el soporte de bajante y soporte de tina de sello sean del mismo espesor.

La estructuración se efectúa tomando en consideración las características geométricas y las estructuraciones de la tina de sello y de la bajante, según se indica en la Fig. No. 46.

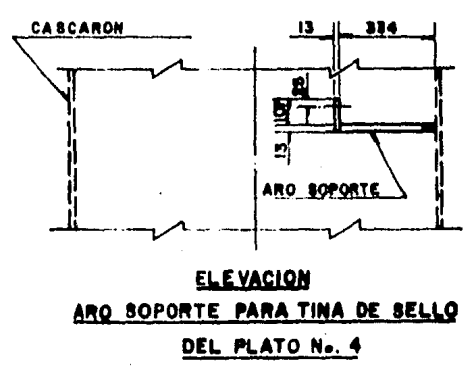
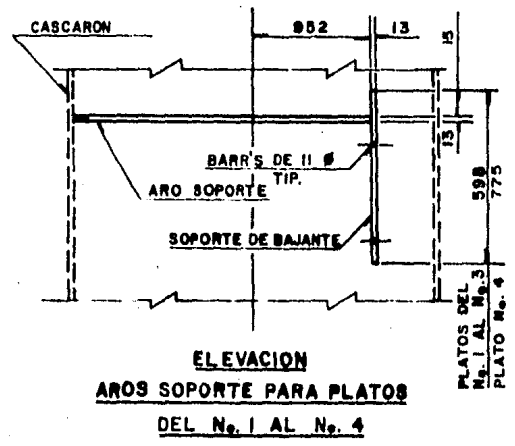
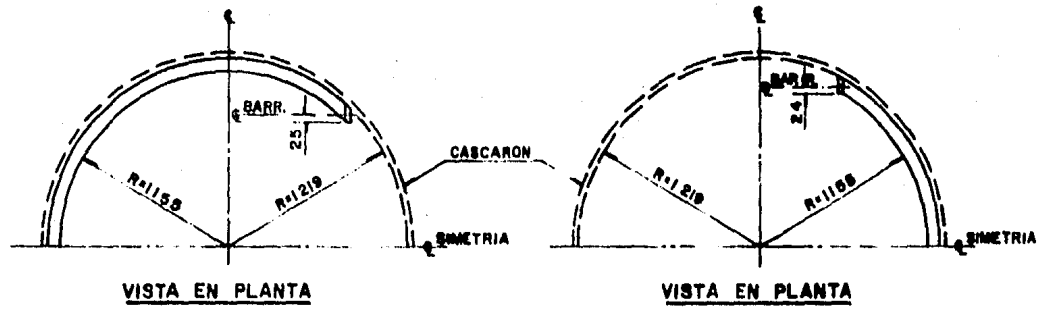


FIG. No. 46 ESTRUCTURACION DE LA SOPORTERIA

### 5.3 Diseño Mecánico Estructural

Se empleará como material de fabricación para los platos, acero inoxidable ASTM A-240-410, por consiguiente se requiere conocer sus propiedades mecánicas para efectuar el diseño.

Temperatura de Diseño	$T_d = 450^{\circ}K$
Módulo de Elasticidad	$E = 19028 \times 10^3 \frac{N}{cm^2}$
Esfuerzo de Fluencia	$F_y = 18167 \frac{N}{cm^2}$
Peso específico ASTM A-240-410	$= 76431 \frac{N}{M^3}$

#### 5.3.1 Diseño de Platos Válvulados

Para la revisión del espesor de plato, es necesario tomar en cuenta; consideraciones de diseño, las características y los datos hidráulicos del plato.

Por condiciones de operación se especifica emplear un espesor de plato  $t = 2.08$  mm (Calibre - 14).

Asimismo las cargas a considerar son:

a) Cargas Gravitacionales definidas por:

$q'_{llq}$  Peso de líquido alojado al borde del vertedor ( $N/M^2$ ).



$q_{pl}$  Peso del plato ( $N/M^2$ ).

b) Cargas por Sobrecarga

$q''_{liq}$  Peso de líquido por arriba del vertedor, de 51 mm, por ser mayor de 44 mm, indicado en los datos hidráulicos - - ( $N/M^2$ ).

Expresándose la carga total  $q$ , por la sumatoria de los dos tipos de carga:

$$q = q'_{liq} + q''_{liq} + q_{pl}$$

Desglosado en términos:

$$q = 9804 \frac{N}{M} (h_v + h_s) + 78431 \frac{N}{M} \times t$$

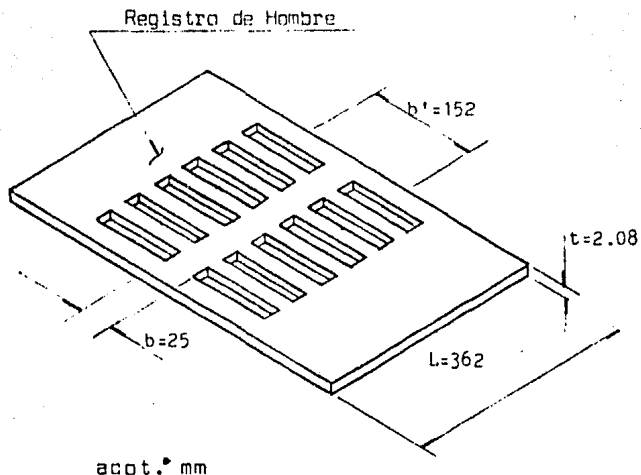
Sustituyendo valores:

$$q = 9804 \frac{N}{M} (0.013 + 0.051) + 78431 \frac{N}{M} \times 0.00208$$

Se tiene;

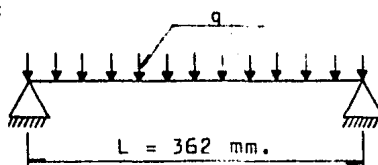
$$q = 791 \frac{N}{M^2}$$

De la distribución de las unidades de contacto del registro de hombre se obtienen los parámetros dimensionales siguientes:



Idealizando la sección resistente como una viga simplemente apoyada con una carga uniformemente distribuida, correspondiente a su área tributaria:

$$w = q \times b'$$



$$w = 791 \frac{\text{N}}{\text{M}} \times 0.152 \text{ M}$$

Se obtiene la carga por unidad de longitud.

$$w = 120 \frac{\text{N}}{\text{M}}$$

De las características de vigas se determina el momento máximo actuante:

$$M = \frac{w L^2}{8}$$

Igual a;

$$M = \frac{120 \text{ N} \times 0.362^2 \text{ M}^2}{8} = 1.96 \text{ N M}$$

De la sección resistente, se obtiene su momento de inercia;

$$I_x = \frac{bt^3}{12} = \frac{2.5 \text{ cm} \times 0.208^3 \text{ cm}^3}{12} = 0.00187 \text{ cm}^4$$

y por consiguiente el módulo de sección;

$$S_x = \frac{I}{t/2} = \frac{0.00187 \text{ cm}^4}{0.208/2 \text{ cm}} = 0.018 \text{ cm}^3$$

Calculando el esfuerzo a flexión actuante f;

$$f = \frac{M}{S_x}$$

Sustituyendo el valor de los términos;

$$f = \frac{196 \text{ N cm}}{0.018 \text{ cm}} = 10888 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Siendo el esfuerzo máximo admisible  $F_p$  (determinado en las consideraciones de diseño);

$$F_p = 0.6 F_y$$

$$F_p = 0.6 \times 18167 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 10900 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Debe cumplirse la siguiente expresión, indicando que la sección resistente es la adecuada:

$$F_p > f$$

$$10900 \frac{N}{cm^2} > 10888 \frac{N}{cm^2}$$

En caso contrario se procede a espaciar más las válvulas, o seleccionar un espesor mayor para el plato, previamente consultando con la ingeniería de proceso.

#### 5.4 Secciones Canal

Para la revisión de la canal integral del plato, se considerará a la sección más desfavorable, en este caso, la sección central, ya que está desarrollada una mayor longitud respecto a las demás, según se aprecia en las Figuras Nos. 43 y 44.

La canal se considera como una viga simplemente apoyada, con una carga uniformemente distribuida, correspondiente a su área tributaria, revisada por "Pandeo Lateral" y "Pandeo Local".

De la Fig. 43, se determina el ancho tributario  $b'$

$$b' = \left( \frac{330}{2} + \frac{345}{2} \right) \text{ mm}$$

$$b' \approx 338 \text{ mm}$$

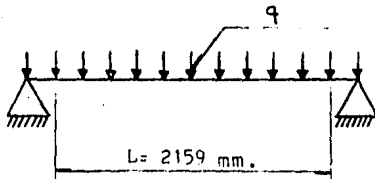
La longitud de la canal comprenderá lo que desarrolla en el área activa del plato exclusivamente;

$$L = (1219^2 - 165^2)^{1/2} + (965^2 - 165^2)^{1/2} \text{ mm}$$

$$L = 1208 \text{ mm} + 951 \text{ mm}$$

$$L = 2159 \text{ mm}$$

Considerando la carga por unidad de área  $q$ , igual a la que se determinó para la revisión del espesor del plato:



$$q = 791 \frac{\text{N}}{\text{M}^2}$$

Expresando la carga  $q$ , por unidad de longitud, se obtendrá la carga correspondiente al área tributaria;

$$w = q \times b'$$

$$w = 791 \frac{\text{N}}{\text{M}^2} \times 0.338 \text{ M}$$

$$w = 267 \frac{\text{N}}{\text{M}}$$

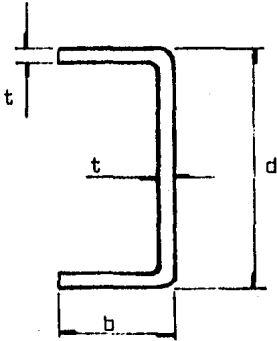
De los requerimientos para la canal, se determina el momento máximo actuante:

$$M = \frac{w L^2}{8}$$

Siendo igual a;

$$M = \frac{267 \text{ N} \times 2.159^2 \text{ M}^2}{8} = 156 \text{ N} \cdot \text{M}$$

Proponiéndose la canal resistente siguiente:



$$d = 10.2 \text{ cm}$$

$$b = 3.2 \text{ cm}$$

$$t = 0.208 \text{ cm}$$

Determinando su momento de inercia por la siguiente expresión;

$$I_x = I_x + y^2 A$$

En forma desglosada;

$$I_x = \frac{t d^3}{12} + 2 \left[ \frac{b t^3}{12} + \left( \frac{d}{2} - \frac{t}{2} \right)^2 b t \right]$$

Sustituyendo valores;

$$I_x = \frac{0.208 \times 10.2^3}{12} + 2 \left[ \frac{3.2 \times 0.208^3}{12} + \left( \frac{10.2}{2} - \frac{3.2}{2} \right)^2 \times 3.2 \times 0.208 \right]$$

$$I_x = 52 \text{ cm}^4$$

Siendo el módulo de sección  $S_x$ ;

$$S_x = \frac{I_x}{d/2} = \frac{52 \text{ cm}^4 \times 2}{10.2 \text{ cm}} = 10.2 \text{ cm}^3$$

Calculando el esfuerzo a flexión actuante  $f'$ ;

$$f' = \frac{M}{S_x}$$

Sustituyendo valores;

$$f' = \frac{15600 \text{ N cm}}{10.2 \text{ cm}} = 1529 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Revisando con los esfuerzos permisibles por;

"Pandeo Lateral".

$$F_{p_1} = \frac{0.68 E}{1.67 (Ld/bt)} \quad (20)$$

Sustituyendo valores;

$$F_{p_1} = \frac{0.68 \times 19028 \times 10^3 \text{ N/cm}^2}{1.67 (215.9 \times 10.2 / 3.2 \times 0.208)}$$

$$F_{p_1} = 2342 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Debiéndose cumplir la siguiente relación;

$$F_{p_1} > f'$$

$$2342 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} > 1529 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Indicando que la sección propuesta es la adecuada;

"Panden Local"

$$F_p = \frac{F_{crc}}{F.S}$$

Donde;

$$F_{crc} = \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2 K \quad (22)$$

Considerando al patin superior, como el caso 4, de la - tabla 3, como una lámina comprimida, con un borde libremente apoyado y el otro libre, se tiene un valor de -  $K = 0.425$ , sustituyendo valores;

$$F_{crc} = \frac{\pi^2 \times 19028 \times 10^3 \text{ N}}{12 (1 - 0.3^2) \text{ cm}^2} \left( \frac{0.208 \text{ cm}}{3.2 \text{ cm}} \right)^2 \times 0.425$$

$$F_{crc} = 30880 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Comprobando;

$$\frac{F_y}{2} = \frac{18167 \text{ N}}{2 \text{ cm}^2} = 9084 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Según se aprecia el esfuerzo crítico  $F_{crc}$  es mayor que - el 50% del esfuerzo de fluencia, por lo que el resultado debe corregirse por inelasticidad.

Igualando:

$$\frac{F_{crc}}{\sqrt{\phi}} = \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2 K \quad (23)$$



Siendo;

$$\frac{F_{crc}}{\sqrt{2}} = 30880 \frac{N}{cm^2}$$

Sustituyendo en;

$$F_{crc} = \frac{\left(\frac{F_{crc}}{\sqrt{2}}\right)^2 F_y}{\frac{F_y^2}{4} + \left(\frac{F_{crc}}{\sqrt{2}}\right)^2} \quad (22)$$

Se tiene;

$$F_{crc} = \frac{\left(30880 \frac{N}{cm^2}\right)^2 \times 18167 \frac{N}{cm^2}}{\frac{\left(18167 \frac{N}{cm^2}\right)^2}{4} + \left(30880 \frac{N}{cm^2}\right)^2}$$

$$F_{crc} = 16720 \frac{N}{cm^2}$$

Tomando un factor de seguridad de 1.67, se determina el esfuerzo máximo admisible  $F_p$  ;

$$F_p = \frac{16720}{1.67} \frac{N}{cm^2}$$

$$F_p = 10012 \frac{N}{cm^2}$$

Debiendo cumplir la siguiente relación;

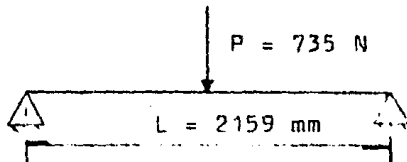
$$F_p > f'$$

Expresado en valores;

$$F_p = 10012 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} > 1529 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Con lo cual se concluye que la sección propuesta del patin es la adecuada.

Para condiciones de instalación y mantenimiento, se considerará a la canal resistente como una viga simplemente apoyada con una carga concentrada en el centro de la viga de 735 N, es decir:



De los requerimientos de la viga, se determina el momento actuante.

$$M = \frac{P \cdot L}{4}$$

Sustituyendo datos:

$$M = \frac{735 \text{ N} \times 215.9 \text{ cm}}{4} = 39672 \text{ N cm}$$

Obteniendo el esfuerzo a flexión actuante  $f''$ .

$$f'' = \frac{M}{S_x}$$

Siendo  $S_x$ , el módulo de sección de la canal resistente, sustituyendo datos se tiene:

$$f'' = \frac{39672 \text{ N cm}}{10.2 \text{ cm}^3} = 3889 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Debiéndose cumplir que el esfuerzo actuante  $f''$ , será menor que los esfuerzos permisibles por "Pandeo Local" y "Pandeo Lateral".

$$F_{p1} > f'' \quad \text{y} \quad F_p > f''$$

$$2342 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} < 3889 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$10012 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} > 3889 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Según se aprecia el esfuerzo por pandeo lateral, es menor al esfuerzo actuante, por lo que es conveniente aumentar el módulo de sección y poder cumplir con lo especificado.

## C O N C L U S I O N E S

Cabe señalar que el propósito y naturaleza de la Tesis, es el de contribuir en el estudio y desarrollo, que conlleven a la obtención de logros en el campo de la Ingeniería de Proyecto en México.

Es indudable que la ingeniería de proyecto, tiene una influencia decisiva en la adquisición de equipos para un proyecto determinado, en donde prácticamente queda predeterminado el origen de los bienes de capital, es por ésto, que el desarrollo de la Ingeniería debe estar orientado a favorecer en lo posible las adquisiciones de equipos y materiales de producción nacional, impulsando la Ingeniería Mexicana.

Por otra parte para mi es una completa satisfacción, que la Tesis se utilice como Manual de Diseño de Platos, en el Instituto Mexicano del Petróleo, donde existe un notable adelanto en el diseño, teniendo la capacidad para exportar tecnología.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Theory of Plates and Shells  
Autor: S. Timoshenko  
Editorial; Mc Graw - Hill
  
- 2.- Effective Elastic Constants for Thick  
Perforated Plates With Square and  
Triangular Penetration Patterns  
Autor; T. Slot and W. J. ó Donnell  
Editorial; Journal of Engineering for Industry
  
- 3.- Estructuras de Acero  
Autor; Oscar de Buen y López de Heredia  
Editorial; Limusa
  
- 4.- Specification for the Design,  
Fabrication and Erection of Structural Steel  
for Buildings.  
Nueva York, 1963.
  
- 5.- Theory of Elastic Stability  
Autor; Stephen P. Timoshenko  
Editorial; Mc Graw - Hill Kogakuska, L.T.D.
  
- 6.- Fractionating Trays  
Some Design Aspects  
Part II: Mechanical Design  
Autor: R. Bhattacharya  
Revista: Chemical Engineering World  
August 1975, No. 8

- 7.- Mechanical Requirements for Sieve  
and Valve Trays.  
Autor: Henry Z. Kister  
Ce. Refresher  
Revista: Chemical Engineering  
November 17, 1980
  
- 8.- Traying Towers: Planning and Technique  
Autor: David Manifold  
Revista: The Oil and Gas Journal  
June 18, 1973.
  
- 9.- Design for Chemical and Petrochemical Plants  
Autor: Ernest E. Ludwig  
Editorial: Gulf Publishing Company  
Houston, Texas.
  
- 10.- Operaciones de Transferencia de Masa  
Autor: Robert E. Trebal  
Editorial: Mc. Graw Hill 2/e
  
- 11.- Manual del Ingeniero Químico  
Autor: John H. Perry.  
Editorial: Uteha Tomo I