



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE LOS PLATOS  
PERFORADOS DE UNA COLUMNA DE DESTILACION  
MEDIANTE EL USO DE UN PROGRAMA DE COMPUTO

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A:

MARIA CONCEPCION MORALES GARAY

DIRECTOR DE TESIS: DR. CARLOS TREVIÑO TORRES

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO, 1989



V N A M



## **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.

## INDICE

PÁGINA

### NOTACIÓN

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	DESCRIPCIÓN Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO DE INTERNOS DE COLUMNAS DE PLATOS	3
III.	CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL DISEÑO HIDRAULICO DE COLUMNAS DE PLATOS	31
	A. DISEÑO HIDRAÚLICO	32
	B. TIPOS DE FLUJO	46
	C. GEOMETRÍA DEL PLATO	49
	D. CAPACIDAD	53
	E. FACTORES MECANICOS	55
IV.	DISEÑO DE PLATOS PERFORADOS	57
	A. PARÁMETROS DE DISEÑO	58
	B. TÉCNICA DE DISEÑO	64
V.	PROGRAMA DE CALCULO DE PLATOS PERFORADOS Y EJEMPLO DE APLICACION	84
	A. PROCEDIMIENTO DE CALCULO	84
	B. PROCEDIMIENTO DE ACCESO	89
	C. EJEMPLO	94
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116

### BIBLIOGRAFIA

ANEXO 1. LISTADO DEL PROGRAMA

ANEXO 2. TIPOS DE PLATOS Y SU SELECCION

## NOTACION

Aa	área activa, pies <sup>2</sup>
Ad	Area de bajantes , pies <sup>2</sup>
Ad'	Valor intermedio de el área de bajante, como se define por la ecuación 4.29, pies <sup>2</sup>
Ah	Area del agujero o perforación, pies <sup>2</sup>
At	Area total del plato, pies <sup>2</sup>
Aud	Area libre para el flujo de líquido bajo el faldón de la bajante, pies <sup>2</sup>
Co	es un coeficiente de orificio
CAFo	Factor de capacidad del plato, calculado por la ecuación 4.35
De	Difusividad de Eddy, ft <sup>2</sup> /hr
dh	diámetro del orificio , pulgadas
Dt	diámetro del plato, pies
Dw	diámetro del derramadero, pulgadas
e	Arrastre de líquido lbmol/hr
E	Arrastre fraccional, ecuación 4.12
Esp	Distancia entre perforación y perforación, pulgadas
Eov	Eficiencia puntual de Murphree fase vapor, fraccional
Emv*	Eficiencia de plato de Murphree fase vapor, no corregida por arrastre
Emv	Eficiencia de plato de Murphree fase vapor, fraccional
EO	Eficiencia de plato global, fraccional
F	Factor de corrección, por construcción del vertedero, fraccional
Ff	Factor de inundación del plato, fraccional
Ffd	Factor de inundación de la bajante, fraccional
Flv	Parámetro de flujo líquido/vapor, definido por la ecuación 4.13
Fpl	Longitud de la trayectoria de flujo , pies

Fs	Parámetro de flujo de vapor basado en el área activa, definido en la ecuación 4.7
H	Longitud de la cuerda o ancho de la bajante, pies
hd	Caida de presión del vapor en el plato seco, como carga de líquido claro, pulgadas
hf	Altura de espuma en el área activa, pulgadas
Hfd	Altura de espuma en la bajante, pulgadas
hl	Altura de líquido claro o efectivo en el plato, pulgadas
hld	Altura de líquido claro o efectivo en la bajante, pulgadas
how	cresta de líquido, pulgadas
ht	pérdida de carga total de vapor a través del plato, pulgadas.
hud	pérdida de carga debida al flujo líquido bajo la bajante, pulgadas.
hw	Altura del vertedero, pulgadas
ho	Pérdida de carga debido a la formación de burbujas, como carga de líquido claro, pulgadas
L	Flujo de líquido lbmol/hr
Ld	Longitud de la bajante, pies
Ldien	Longitud de los dientes, pulgadas
L <sub>ORM</sub>	Flujo de líquido, galones/minuto
N	Número de unidades de transferencia
Np	número de pasos de plato.
Sf	Factor de reducción de capacidad del sistema
td	Espesor del plato, pulgadas
ts	Espaciamiento entre platos, pulgadas
ts*	Parámetro intermedio de espaciamiento entre platos
ts(máx)	Espaciamiento entre platos máximo, pulgadas
ts(min)	Espaciamiento entre platos mínimo requerido para mantenimiento del plato, pulgadas
Ttd	Relación de retorno del plato, definido en la ecuación 4.19

U	Retención de masa de líquido en el plato, libras
V	Velocidad de vapor, lbmol/hr
V <sub>vfs</sub>	Flujo de vapor, pie <sup>3</sup> /s
V <sub>d</sub>	Velocidad de líquido en la bajante, gpm/pie <sup>2</sup> de área de bajante
V <sub>load</sub>	factor de carga de vapor, definido por la ecuación 4.36
w <sub>fp</sub>	Ancho promedio de la trayectoria de flujo líquido en el plato, definido en la ecuación 4.27
w <sub>l</sub>	longitud del vertedero, pies
β	Factor de aereación de el líquido en el área activa del plato, adimensional
ΔP	Pérdida de presión total de vapor a través del plato, psi
η	Variable definida por la ecuación 3.11
λ	Variable definida por la ecuación 3.17
ρ	Densidad en lb/pie <sup>3</sup>
σ	tensión superficial del líquido, dn/cm
μ <sub>alm</sub>	Viscosidad de alimentación, cP

Subíndices:

l	Fase líquido
mc	Valor mínimo de una variable consecuencia de la limitación de la caída de presión del plato, ΔP <sub>máx</sub>
Mc	Valor máximo de una variable consecuencia de la limitación de la caída de presión del plato, ΔP <sub>máx</sub>
md	Valor mínimo de una variable originada de la inundación del plato debido a la retención de líquido en la bajante
Md	Valor máximo de una variable originada de la inundación del plato debido a la retención de líquido en la bajante
sd	Lado de la bajante
v	Fase vapor

## CAPITULO I

## I. INTRODUCCION

Durante el diseño de una columna de destilación se realizan dos tipos de diseño, el termodinámico y el mecánico.

El diseño termodinámico es el que proporciona los datos de flujos y propiedades necesarios para efectuar el diseño mecánico.

El diseño termodinámico consiste en realizar los balances de materia y energía de la columna a las condiciones de operación establecidas en la misma, determinando el número de platos teóricos, relación de reflujo y el plato óptimo de alimentación, así como las temperaturas, presiones, flujos y composiciones de las corrientes.

En este trabajo se presenta una recopilación bibliográfica de la información que nos permitirá efectuar el diseño de los platos de la columna. En la primera parte se presenta una descripción de los internos de una columna así como algunas recomendaciones prácticas para efectuar el diseño de tales internos. La segunda parte trata del diseño de platos perforados. En esta segunda parte se dan los conceptos básicos usados durante el diseño hidráulico de columnas de platos así como algunas recomendaciones prácticas de diseño para platos perforados, las correlaciones para efectuar el diseño de platos perforados, un programa de cómputo con estas correlaciones y un ejemplo de aplicación.

El programa de cómputo está elaborado en lenguaje FORTRAN y es de tipo conversacional, para su fácil entendimiento y manejo.

## CAPITULO II

## II. DESCRIPCION Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO DE INTERNOS DE COLUMNAS DE PLATOS.

Una columna o torre de destilación es un cilindro vertical, en el cual se ponen en contacto un líquido y un gas. El líquido fluye en forma descendente y el gas en forma ascendente. El cilindro está fabricado de acuerdo a las condiciones de operación y corrosión del sistema a manejar. Las columnas generalmente son construidos de diferentes tipos materiales como son: acero al carbón, aceros inoxidables. También se utilizan otros materiales como son: vidrio o plásticos reforzados.

La forma en que se ponen en contacto el líquido y el gas es por medio de un plato.

Una torre de platos internamente tiene las siguientes partes: para poner en contacto el líquido y el vapor se utilizan platos, bajantes y vertederos; para el mantenimiento de la columna se utilizan accesos y registros de hombre; para el soporte del plato en la torre se utilizan aros y vigas de soporte y además se cuenta con boquillas para la entrada y salida de líquido y/o vapor de la columna así como para la instrumentación.

A. INTERNOS DE UNA TORRE. A continuación se presenta una discusión de los dispositivos internos más comunes presentes en una columna.

A.1.- Platos. Los platos son placas metálicas, con un espesor correspondiente al calibre 14 (0.0747 pulg) para aleaciones resistentes a la corrosión y de calibre 10 (0.1345 pulg) para acero al carbón.

En el diseño del plato, suponemos que el plato está completamente nivelado, para mantener una distribución de líquido uniforme, lo cual en la práctica es imposible. La tolerancia del nivel de plato, que no afecte el comportamiento del plato, recomendada para columnas de diámetro menores de 3 pies  $\pm 1/8$  de pulgada, para columnas entre 3 y 8 pies de diámetro,  $\pm 3/16$  de pulgada, para columnas entre 8 y 10 pies de  $\pm 1/4$  de pulgada. Para columnas de diámetro mayor de 10 pies pueden permitirse  $\pm 3/8$  de pulgada.

Debido a la expansión térmica, se deberá establecer un claro entre el plato y la coraza de la columna de  $1/2$  pulgada por cada 10 pies de diámetro del plato. Además debido a que la columna no es redonda perfectamente el diámetro del plato se disminuye por lo que en la práctica normal se permite un claro de una pulgada entre el plato y la coraza.

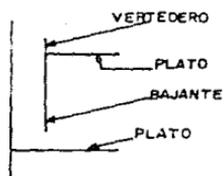
A.2.- Bajantes. Este dispositivo es el que conduce el líquido del plato superior, al inferior en una columna de platos.

Las bajantes tienen secciones transversales circulares, segmentadas o rectangulares. Los diferentes tipos de bajantes se muestran en la fig. 2.1. La diferencia entre una bajante y otra consiste en las áreas de sección transversal y en la pendiente del faldón de la bajante.

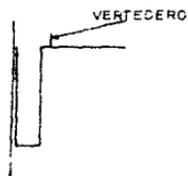
La fig. 2.1B muestra una bajante circular la cual se utiliza para flujos de líquido extremadamente pequeños. Por esta razón se emplean solo en plantas piloto.

Las figs. 2.1C y 2.1D muestran varios tipos de bajantes envueltas, éstas se utilizan para flujos bajos de líquido, o bien para satisfacer el criterio de ancho de bajante mínimo cuando el

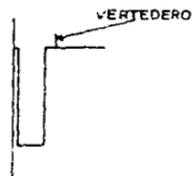
FIGURA 2.1 TIPOS DE BAJANTES.



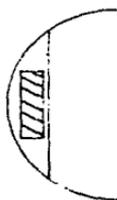
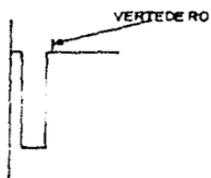
A) SEGMENTADA



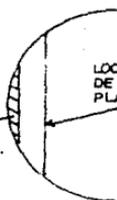
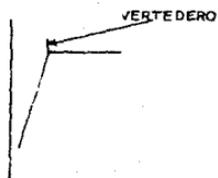
B) CIRCULAR



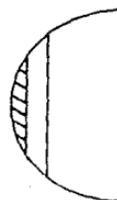
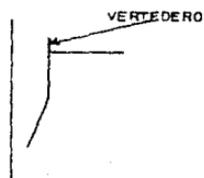
C) SEGMENTADA ENVUELTA



D) RECTANGULAR ENVUELTA



E) INCLINADA



F) INCLINADA

LOCALIZACION DE LA BAJANTE PLATO INFERIOR.

LOCALIZACION DE LA BAJANTE PLATO SUPERIOR.

área de la bajante segmentada es excesiva.

Las figs. 2.1E y 2.1F muestran arreglos de bajantes inclinadas. Estas bajantes dan un volumen suficiente para separar el líquido y el vapor en la parte superior de la bajante sin desperdiciar el área activa del plato inferior. Estos platos son útiles particularmente cuando la separación de líquido y vapor es difícil, por ejemplo en sistemas espumantes, sistemas a altas presiones o cuando las bajantes ocupan una parte substancial del área de plato a flujo de líquido alto. Se recomienda que la relación del área de la parte superior al área del fondo esté entre 1.5 y 2.0 aunque comúnmente se utiliza 1.7.

El espesor de la placa de la bajante está determinado por las condiciones de corrosión, la resistencia a la erosión y el material de construcción usado. Para bajantes de aleaciones resistentes a la corrosión el espesor debe ser de 3/16 de pulgada y para bajantes de acero al carbón, en servicios no corrosivos, de 1/4 de pulgada y en servicios en general, 3/8 de pulgada.

A.2.1.- Claro bajo la bajante. Es la distancia entre la parte inferior de la bajante y la superficie del plato, esta distancia debe permitir la salida de líquido y mantener un sello que impida el flujo de vapor por el interior de la bajante.

Los factores principales que rigen la especificación del claro bajo la bajante son: 1) sello de la bajante, 2) caída de presión en la bajante y 3) la naturaleza corrosiva e incrustante del servicio.

En varias aplicaciones, particularmente a flujos de líquido elevados, el claro bajo la bajante puede ser mayor que la altura del vertedero, porque la caída de presión del plato hará que se

retenga bastante líquido en la bajante para compensar la diferencia entre la altura del vertedero y la del claro.

Si el claro bajo la bajante es pequeño se puede incrementar considerablemente la retención en la bajante y reducir la capacidad de la misma.

Si el servicio es incrustante, pueden acumularse bajo la bajante impurezas y/o sólidos con lo que se restringe el área de flujo. Esto puede causar la retención excesiva e inundación prematura. Por otra parte si el servicio es corrosivo el área bajo la bajante se ampliará durante el servicio lo que puede evitar la formación del sello estático.

El claro bajo la bajante será lo bastante bajo para permitir un sello satisfactorio, pero no será tan bajo como para causar retención e inundación prematura. La mayoría de los claros recomendados están entre 1/2 pulgada como mínimo, y como máximo la altura del vertedero menos 1/4 de pulgada; o bien una distancia tal que la caída de presión en el área bajo la bajante no exceda a 1.0 pulgada de líquido caliente. El claro bajo la bajante se instalará con una tolerancia de  $\pm 1/8$  de pulgada.

A.3.- Vertedero de entrada. Estos tienen dos funciones que son: lograr un sello en la bajante en casos donde ya no es posible reducir el claro bajo la bajante y en el mejoramiento de la distribución de líquido a través del plato. Fig. 2.2A.

Sin embargo, ambas funciones pueden lograrse en forma más económica y efectiva mediante el uso de una charola de sello intermedia. Fig 2.2B. Tales charolas consumen menos del espacio del plato que un vertedero de entrada porque requiere una zona de calma más pequeña. Aunque también se utilizan charolas de sello

intermedio para mejorar la distribución de líquido en el plato, se prefiere el uso de los vertederos de salida para ello.

El uso de vertederos de entrada se evitarán para servicios incrustantes.

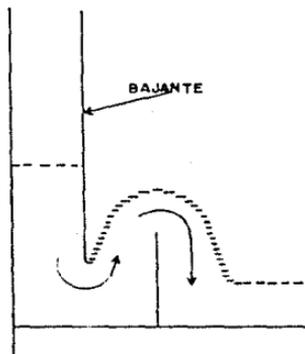
Si se requiere de un vertedero de entrada se recomienda: 1) Evitar una altura excesiva del vertedero, ya que la capacidad de la bajante se disminuirá. 2) Verificar que la distancia entre la bajante y vertedero de entrada, el cual no debe ser menor que el claro bajo la bajante. 3) Hacer agujeros de desalajo en el fondo del vertedero de entrada para permitir el drenaje de líquido al estancarse. Se recomienda para ayudar en limpiar y sacar el sedimento atrapado, hacer en el vertedero de entrada dos ranuras de  $3/4 \times 1$  pulgadas.

A.4. - Charolas de sello. Estas son útiles cuando se prevee un problema de sellado potencial y el servicio no es espumante. Dan un sello positivo a la bajante bajo todas las condiciones de operación. Distribuyen el líquido que entra al plato con un movimiento vertical ascendente que hace tener una mejor aereación del líquido. Disminuyen la retención en la bajante, aumentando la capacidad de la bajante, y permiten disminuir el espaciamiento entre platos.

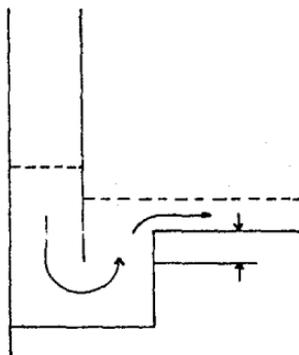
Las desventajas que presentan son: contienen áreas de estancamiento de líquido, donde se forman sedimentos y son más costosas que el empleo de áreas de sello lisas.

Cuando se requiera de charolas de sello, para servicios en general, se recomienda una profundidad de 4 pulgadas, y para flujos de líquido altos la profundidad recomendada es de 6 pulgadas. Además se requieren perforaciones en el fondo de la

FIGURA 2.2 ARREGLO PARA SELLO DE BAJANTE.

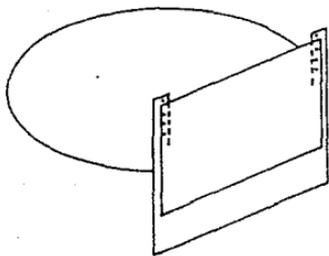


A) VERTEDERO DE ENTRADA.

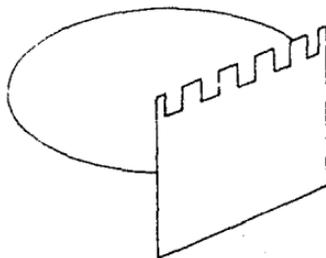


B) CHAROLA DE SELLO INTERMEDIA.

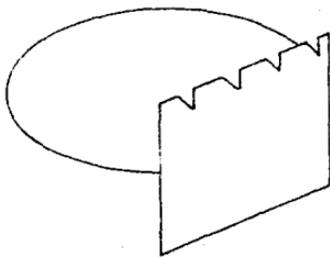
FIGURA 2.3 TIPOS DE VERTEDEROS DE SALIDA.



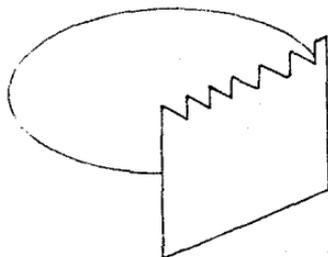
A) AJUSTABLE



B) RECTANGULAR DENTADA



C) DENTADA TRIANGULAR INT.



D) DENTADA TRIANGULAR CONTINUA

charola para el desalojo del líquido.

A.5.- Vertedero de salida. Es una placa metálica que puede ser o no una continuación de la bajante, la cual sirve para mantener el nivel de líquido deseado en el plato y lograr una transferencia de masa eficiente.

Existen varios tipos de vertederos, como son los vertederos rectos, que son los más comunes, los ajustables, (fig 2.3A) que son comunes en nuevos diseños. Este diseño no se recomienda pues se ha demostrado que un mal ajuste de los vertederos ocasiona una mala distribución del líquido sobre la bajante.

La tolerancia para su instalación es de  $1/16$  a  $1/8$  de pulgada. La altura mínima recomendada es de  $1/2$  pulgada pero se prefiere  $3/4$  de pulgada. En general, la altura del vertedero se fija a 2.0 pulgadas aproximadamente para la mayoría de los servicios. Para columnas a vacío se usa de 1.0 pulgada.

A flujos de líquido bajos es difícil lograr una cresta de líquido de  $1/4$  a  $1/2$  pulgada en un vertedero recto a menos que se utilicen los dentados (fig. 2.3B, 2.3C, 2.3D), que tienen cortes triangulares o rectangulares.

A.6.- Registros hombre. La entrada al interior de una columna de destilación se hace a través de los registros hombre. Estos se encuentran en la columna de cada 10 a 20 platos. Cuando se prevee limpieza frecuente o si los platos son grandes y el proceso de removerlos a través del registro es lento, deberá aumentarse el número de tales registros. El diámetro interno de la torre afecta el diámetro del registro de hombre, el tamaño del acceso de hombre del plato y el número de piezas que se usan para instalar el plato. Los diámetros de registro hombre recomendados

varían en el intervalo de 18 a 24 pulgadas.

A veces el espaciamiento entre platos debe aumentarse localmente para que sea más grande que el diámetro del registro hombre.

Se recomienda instalar los registros en el espacio que se encuentra sobre los platos de alimentación, que es donde se tiene un espaciamiento mayor que en el resto de la columna, cuidando que el área esté despejada de boquillas de alimentación y distribuidores, y permita el acceso a la columna. Todos los registros serán orientados en la misma dirección siempre y cuando sea posible. El alineamiento de registros de hombre ocupará un segmento del área total de la torre que no será ocupado por algún paso de tuberías.

Para minimizar un posible daño a los internos de la columna, debe cuidarse en no localizar un registro de hombre en el área de sello de alguna bajante.

El número y tamaño de los registros de hombre puede reducirse si la remoción de platos para su limpieza es innecesario y estos pueden limpiarse en el lugar.

A.7.- Accesos de hombre. Los accesos de hombre permiten a trabajadores e inspectores de mantenimiento pasar de un plato a otro. Los accesos serán lo suficientemente grandes para permitir a los trabajadores pasar a través de ellos, pero no tan grandes porque pesarían demasiado y sería difícil removerlos por el trabajador. Por conveniencia, se recomiendan accesos de hombre de forma rectangular. El tamaño del acceso de hombre mínimo especificado es de 12 X 16 pulgadas y que el peso no exceda de 85 libras.

Se recomienda que los accesos de hombre estén escalonados para el facil paso de luz, herramienta y comunicación, y ademas permitir al trabajador estar parado. No se recomienda un alineamiento completo de los accesos de hombre porque aumentarán la distancia que el trabajador pueda caer libremente hasta el fondo de la columna.

Para platos multipaso, un acceso de hombre se requiere para cada paso del plato porque las bajantes centrales restringen el acceso de un lado al otro.

A.8. - Aro soporte, es un aro que está soldado circunferencialmente en la coraza, este se utiliza para soportar el plato, y frecuentemente las vigas soporte del plato. Ver fig 2.4. El diseño, ancho y espesor del aro varían de un fabricante a otro.

A continuación se presenta una tabla en la que se tienen las dimensiones recomendadas para el aro soporte en función del diámetro de la columna.

Diámetro de la columna pies	Ancho - espesor (pulg)	
	Acero al carbón	Aleación
≤5	1 1/2 X 1/4	1 1/2 X 1/4
5.5 - 7.5	2 X 1/4	2 X 1/4
8.0 - 11.5	2 1/2 X 1/4	2 1/2 X 1/4
12.0 - 15.0	3 X 3/8	3 X 1/4
15.5 - 20.0	3 1/2 X 3/8	3 1/2 X 1/4

Hay que evitar tener perforaciones del plato en la parte del plato localizada sobre el aro soporte, ya que tales perforaciones reducen la efectividad del soporte principalmente en servicios corrosivos. El espesor del aro soporte debe incluir una

tolerancia a la corrosión. (Solo para uno de sus lados en caso de que sea un ángulo)

A.9.- Vigas soporte. Las vigas soporte se emplean para prevenir la flexión si la carga excede los requerimientos especificados, y además soporten al personal de servicio sin que el plato sufra una deformación permanente.

Las vigas soporte se colocarán paralelas al flujo de líquido en el plato.

Para columnas grandes, se requerirán una o más vigas soporte principales. En tales casos, estas vigas se instalarán paralelas al flujo líquido, y las vigas soporte menores perpendiculares al flujo de líquido.

En las vigas soporte hay que distribuir la carga para no exceder la máxima flexión tolerada, que es de  $1/8$  de pulgada para platos de hasta 8 pies de diámetro. Para platos más grandes, la máxima flexión recomendada es de  $1/720$  del diámetro del plato, es la recomendada.

Generalmente las vigas se diseñan para soportar una concentración de carga de 200 a 300 lb/pie<sup>2</sup> en cualquier punto y a temperatura ambiente.

Se recomienda para las vigas soporte fabricados de aleaciones resistentes a la corrosión que sean de calibre 7 (0.1793 pulg) y 12 (0.1046 pulg) y de calibre 10 (0.1345 pulg) para acero al carbón.

A.10.- Boquillas para plato de alimentación y reflujo de domos.

FIGURA 2.4 DISPOSICIÓN DEL PLATO.

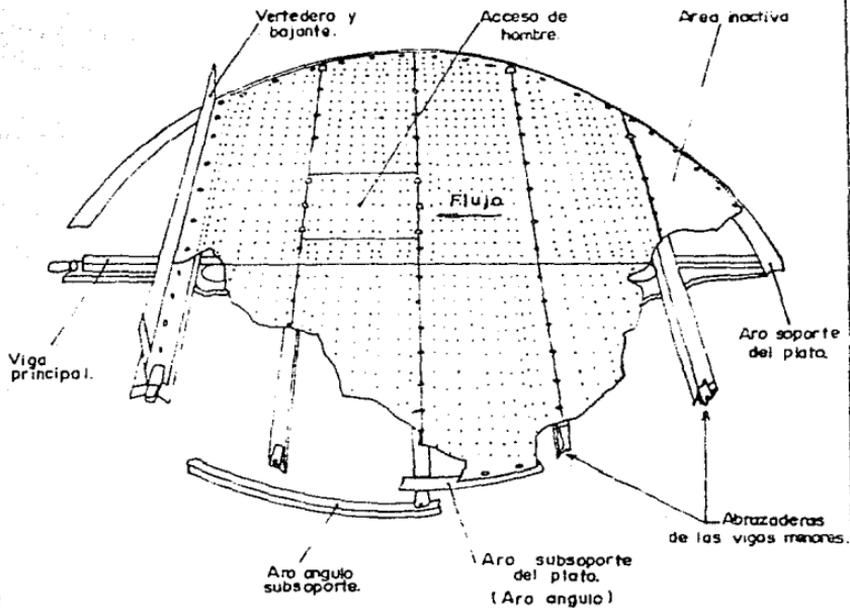
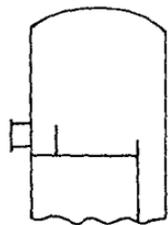
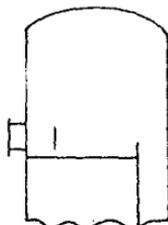


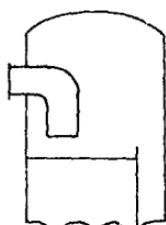
FIGURA 2.5 ARREGLO DE DOMOS



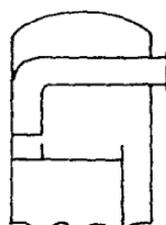
A



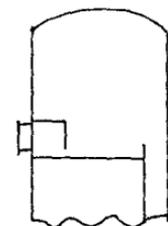
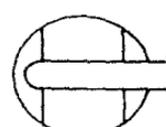
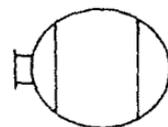
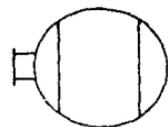
B



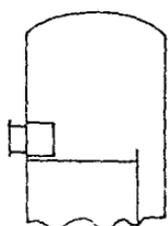
C



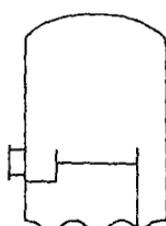
D



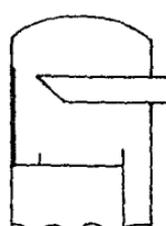
E



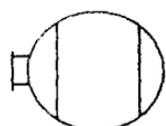
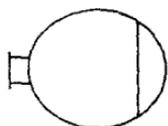
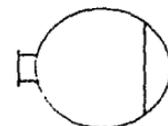
F



G



H



Los posibles arreglos para las boquillas de la alimentación y reflujo al plato de domos se muestran en la fig. 2.5.

Cuando la línea de alimentación contiene vapor, al ponerse en contacto esta corriente con las secciones del plato y las mamparas pueden sujetarse a altas fuerzas normales (perpendiculares) y para evitar daño estructural, estas secciones y mamparas deben reforzarse. También el tubo de alimentación se ajustará a la coraza de la torre. La velocidad de flujo en la boquilla no excederá de 3 pies/seg.

Las líneas de alimentación y boquillas deberán diseñarse tal que el flujo esté fuera del régimen de flujo tapón.

Los distribuidores son extensiones de tubería interna con perforaciones o ranuras que tienen la función de distribuir el flujo a lo largo del plato. Estos se recomiendan para columnas de diámetros grandes (mayores de 6 pies). En platos multipaso, los distribuidores de alimentación y reflujo son esenciales para mantener una distribución uniforme.

A.11.- Boquillas para alimentaciones intermedias. Es importante seleccionar el arreglo adecuado para las boquillas de alimentaciones intermedias. En la fig. 2.8 se muestran algunos arreglos.

La fig. 2.8A muestra un arreglo que solo es conveniente para líquido subenfriado tal como corrientes de reflujo. Si el líquido contiene algo de vapor o si es más caliente que el líquido de la bajante se vaporizará instantáneamente y la capacidad de la bajante disminuirá. Si la capacidad de la bajante es crítica se evitará este arreglo.

La fig. 2.6B es un arreglo que es adecuado solo para alimentaciones líquidas a baja velocidad. Si la alimentación contiene vapor, la entrada directa de la alimentación en el espacio de vapor podría causar arrastre prematuro, y para esto se recomienda el arreglo mostrado en la fig. 2.6C, muestra un arreglo similar al anterior pero con una mampara guía la cual resuelve el problema en alimentaciones que contienen vapor.

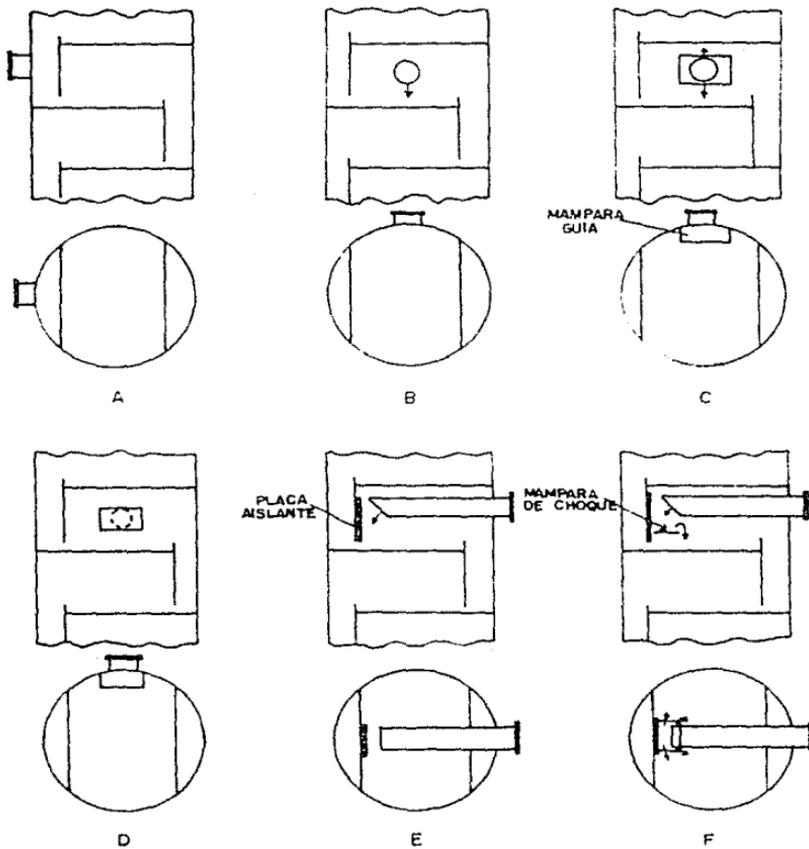
La fig. 2.6D muestra un arreglo similar al anterior pero en esto se ha agregado una placa abajo de la boquilla, para que el líquido fluya por un lado y hacia abajo. Este arreglo reduce la velocidad de alimentación a la entrada y es adecuado para altas velocidades de líquido o vapor.

La fig. 2.6E, muestra el arreglo más utilizado, este es el adecuado para columnas donde la longitud del vertedero de salida es menor que 5 pies. Este arreglo requiere de una placa aislante en la pared de la bajante si la alimentación entra a una temperatura mayor que la del líquido en la bajante. Cuando la longitud del vertedero sea mayor a 5 pies se recomienda el uso de un distribuidor.

La fig. 2.6F muestra un arreglo similar al arreglo mostrado en la fig. 2.6E pero con una mampara de choque horizontal abajo de la boquilla, para prevenir el arrastre. Se recomienda para altas velocidades de alimentación.

A.12.- Boquillas para platos de fondos y retorno del rehervidor. El espacio entre el fondo del plato del fondo y el nivel de líquido es uno de los puntos de dificultades potenciales en una columna de destilación. Constituyen un 50% de los problemas que

FIGURA 2.6 ARREGLO PARA ALIMENTACIONES INTERMEDIAS.



se presentan en la parte más baja de la columna.

Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones para arreglos del fondo:

- Las boquillas de alimentación de fondos y retorno del rehervidor se localizarán arriba del nivel de líquido.
- Las boquillas de alimentación de fondos y retorno del rehervidor no deberán estar próximas al nivel máximo de líquido, se recomienda que se localicen 12 pulgadas por arriba del nivel líquido máximo, evitando que el movimiento turbulento en la superficie de líquido dificulte el control de nivel del fondo de la torre y además se evite el arrastre de líquido por el vapor ascendente.
- Las boquillas de alimentación a fondos y retorno del rehervidor no deben dirigirse hacia el nivel del líquido, esto ocurre cuando la boquilla ha sido acodada hacia abajo, o cuando la línea de entrada está inclinada hacia abajo. Los arreglos que se deberán evitar se muestran en la fig. 2.7.
- Las boquillas de alimentación a fondos y retorno del rehervidor no se dirigirán al fondo de una charola de sello, ni con la bajante del último plato, pues si el vapor choca contra la bajante puede provocar inundamiento en la bajante.

Por prácticas de diseño es común dividir los fondos por medio de una mampara preferencial, creando un compartimiento para la alimentación al rehervidor y otro para la extracción del producto de fondos. La instalación de tales mamparas se recomienda cuando se usan rehervidores termosifón. Tiene la ventaja de dar un plato teórico adicional, suministrando una carga constante para el rehervidor y aumentando el tiempo de residencia para la salida de fondos.

Si se utiliza un arreglo de mampara deberán considerarse las

siguientes factores:

- Cada compartimiento deberá tratarse como una tina por separado y de acuerdo con el diseño.
- Cada tina debe tener facilidades de drenaje. Este puede lograrse frecuentemente por medio de una perforación a través de la mampara, o mediante el uso de una línea de interconexión entre la tina externa y el punto más bajo de salida de líquido de cada compartimiento.

A.13.- Extracciones líquidas. Debe darse el suficiente tiempo de residencia al líquido en la charola de extracción de líquido. El tiempo de residencia será suficiente para: eliminar el vapor contenido en el líquido en la charola de extracción, para prevenir que las unidades o equipos corrientes abajo y corrientes arriba del daño que puedan producir a la columna. Esto es importante cuando la charola de extracción alimentará unidades sensibles como hornos.

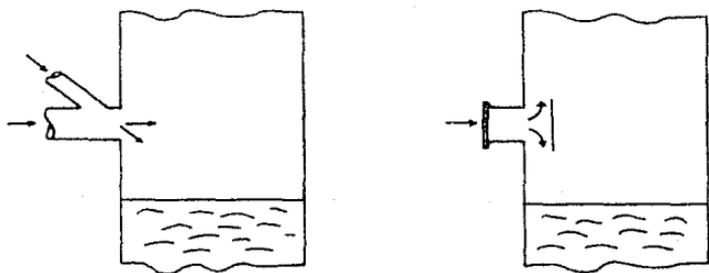
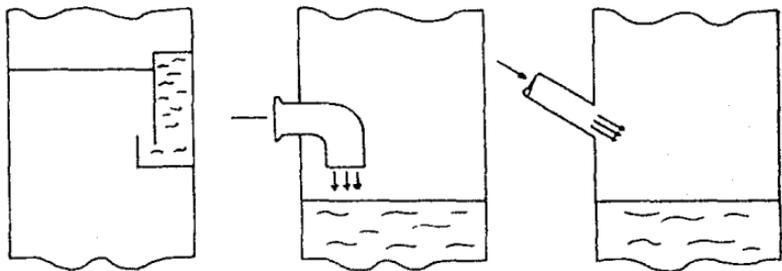
El tiempo de residencia también deberá ser el suficiente para amortiguar a la columna del daño que puedan producir las unidades localizadas corrientes abajo, en el caso del líquido se alimente a una unidad corriente abajo por presión directa, y la diferencia de presiones entre las dos es pequeña.

Otra razón para dar un tiempo de residencia amplio es para dar al operador el tiempo suficiente para hacer las acciones correctivas si ocurren transtornos comunes como son el relevo de una bomba.

También es necesario dar el tiempo suficiente para estabilizar las dos fases de líquidos, tales como hidrocarburos y agua que requieran separarse.

Bajo algunas condiciones puede ser no práctico dar un tiempo de

FIGURA 2.7 ARREGLOS DE FONDOS QUE DEBEN EVITARSE.



residencia en la tina de extracción de líquido. Entonces, se agregan por fuera de la columna tanques separadores de extracción lateral o tanques de agitación en los cuales se desvía la corriente del líquido para dar el tiempo de residencia requerido.

Cuando el arrastre de vapor es la consideración a controlar, y parece atractivo el minimizar el tamaño de la tina, la línea de líquido corriente abajo de la tina puede dimensionarse para dar un flujo de autodesfogue. En este caso el tiempo de residencia requerido, se alcanzará con el tiempo de residencia en el tubo.

Otras consideraciones que deben aplicarse a las extracciones de líquido son, tener un sello soldado en lugar de juntas, cuando se requieran de arreglos para extracción total. Esto es debido que las juntas no dan un sello lo suficientemente efectivo bajo las condiciones de operación. Si el servicio es corrosivo, se utilizará un material de calibre grueso o un material resistente a la corrosión para la charola.

Las áreas en la columna que soportan una carga elevada debido a la retención de líquido, como son las tinas de extracción, pueden requerir de vigas que se agregarán a la estructura de la columna.

Las líneas de succión a bombas deben ser lo más cortas y lo más rectas posible, eliminando ciclos o bolsas en la línea, además requieren de un eliminador de remolinos.

A.13.1.- Bajante de extracción. Pueden usarse para extracciones parciales o totales dentro de un tiempo de residencia establecido para el arrastre de vapor y completar el proceso de desfogue corriente abajo de la salida de la columna. Las boquillas de retorno del desfogue deben localizarse siempre arriba del nivel del líquido en el plato.

Cuando se tengan bajantes de extracción total debe tomarse en cuenta que el líquido puede gotear hacia el plato y escaparse el líquido retenido cuando la velocidad de vapor es baja. El vapor puede fluir por arriba de la bajante, por lo tanto para evitar esto es necesario un sello positivo.

Los lineamientos que se recomiendan para el diseño de bajantes de extracción son las siguientes:

La anchura de la charola de sello no debe ser mayor que la anchura de la bajante en esa localización, esto es con el fin de mantener las mismas características de los otros platos de la sección.

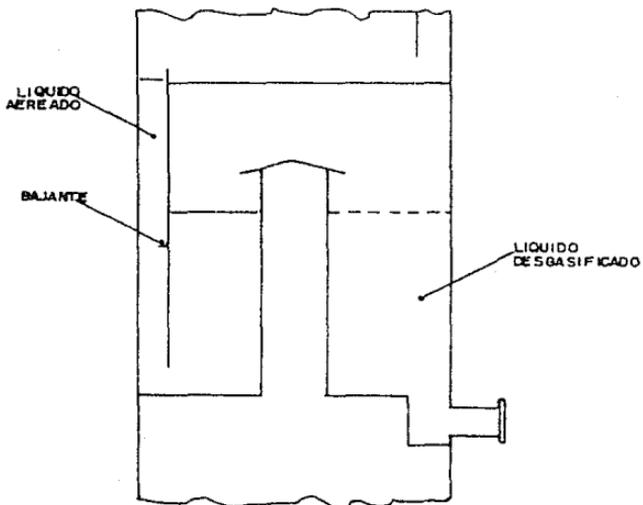
La profundidad de la charola será de 1.5 a 2 veces el diámetro de la boquilla de extracción para charolas de extracción parcial.

Se dará un espaciamiento adicional si la profundidad de la charola excede el 40% del espaciamiento normal de diseño entre platos.

Si se tienen bajantes inclinadas y éstas se extienden hasta el interior de la tina, el área inferior de la bajante no deberá disminuir del 50% del área superior de la bajante.

A.13.2.- Platos chimenea. Este tipo de plato permite separar el líquido y vapor, colectando y acumulando líquido en el interior de la columna sin tener contacto con el vapor. Eliminando los efectos de goteo que dan las charolas de extracción, tienen un tiempo de residencia mayor permitiendo una buena separación entre el líquido y el vapor. Fig. 2.8

FIGURA 2.8 PLATO CHIMENEA CON UNA  
BAJANTE SELLADA.



Se requiere de bastantes elevadores para lograr una buena distribución del flujo, el número máximo de elevadores a utilizar estará restringido por la caída de presión del plato. Se recomienda una caída de presión de 5 pulgadas de agua para platos de chimenea.

La altura del elevador será lo suficientemente grande para tener un tiempo de residencia adecuado en el plato.

Se le colocará sobre el elevador una capucha o tapa para prevenir el paso de líquido al interior de los elevadores.

El área de los elevadores es generalmente del 10 al 25% del área de la sección transversal de la columna.

Se recomienda colocar la boquilla de extracción abajo del nivel del plato, mediante el uso de charolas de extracción. Esto reduce la altura de líquido en el plato chimenea en una altura igual al diámetro de la boquilla y también reduce la masa de líquido que el plato debe soportar.

Si se tiene un controlador de nivel, este se verá favorecido si se sella la bajante con el líquido acumulado en el plato de chimenea. Esto reduce la espuma y las salpicaduras producidas por el líquido.

A.14.- Extracciones de vapor. Las extracciones de vapor presentan menos problemas que las extracciones de líquido. La principal consideración es evitar la presencia de líquido en la corriente de vapor que deja la columna. El grado de remoción de líquido se determina por la unidad o equipo corriente abajo. Si el vapor va directamente dentro de un condensador, puede tolerarse una separación de líquido relativamente burda, porque

bajo estas condiciones el efecto de arrastre daría una pequeña reducción en la eficiencia. En el caso de que el vapor se utilice para accionar un compresor o turbina la separación de líquido es importante, debido a que las gotitas de líquido dañan los álabes.

El diseño para el sistema de extracción de vapor está basado en el diámetro máximo de las gotas arrastradas en la corriente vapor. El diámetro de la gota puede reducirse mediante las siguientes opciones: 1) Agrandamiento del espacio de vapor arriba del plato superior o un tanque de separación de golpoteo, y 2) La instalación de un eliminador de niebla sobre el plato superior o en el tanque de separación de gotas de líquido.

A.15.- Boquillas para la instrumentación. La información proporcionada por los instrumentos es esencial para el control y la operación adecuados de la columna.

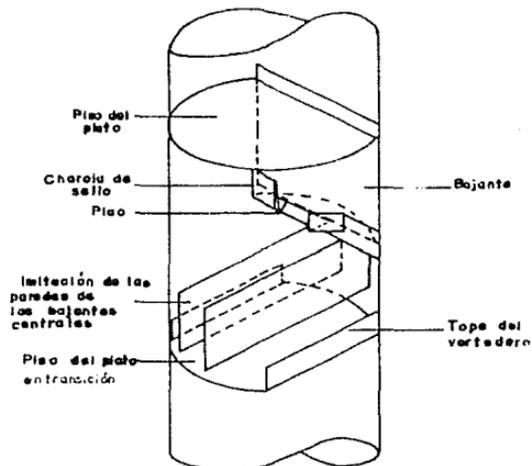
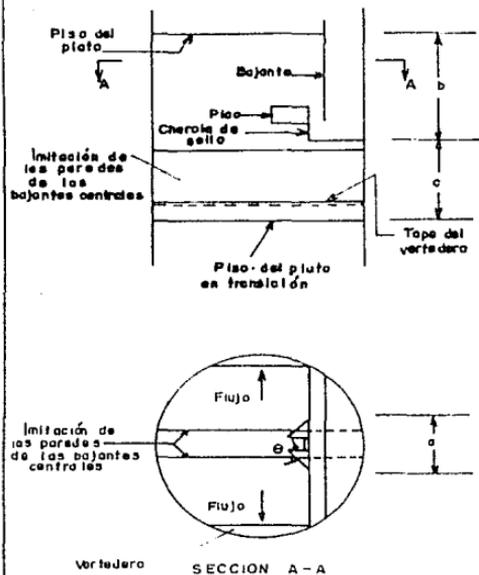
Para la localización de las boquillas de la instrumentación debe considerarse la accesibilidad para operación y mantenimiento.

También es importante para las líneas de transmisión de presión, presión diferencial y de nivel evitar que los fluidos choquen con las boquillas, pues tales choques pueden causar lecturas incorrectas.

A.16.- Cambio en el número de trayectorias de flujo. La transición de un número de trayectorias de flujo a otro se requiere a veces en platos donde se introduce una corriente de alimentación o una corriente de recirculación de reflujo. Tales transiciones pueden lograrse por varios métodos, cuidando que no se cause una mala distribución, ni restricción de flujo o interferencia con el sello de la bajante.

El diseño que se muestra en la figura 2.9 presenta la transición de un plato de un paso a un plato de dos pasos.

FIGURA 2.9 TRANSICION DE UN PLATO DE UN PASO A UN PLATO DE DOS PASOS.



Dimensión	Valor recomendado	Valor mínimo
a	Dim. tal que el flujo del líquido no exceda 10 gpm/in de $\phi$	
b	Espacio entre platos + 6"	Esp. entre platos + 3
c	18"	12"
$\phi$	45°	

CAPITULO III

### III. CONCEPTOS BASICOS SOBRE EL DISEÑO HIDRAULICO DE COLUMNAS DE PLATOS PERFORADOS.

En este capítulo se hace una recopilación de los conceptos básicos que se manejan en el diseño hidráulico de platos, además se han incluido otros conceptos que no se relacionan directamente con el diseño hidráulico pero que es importante mencionarlos como son el tipo de flujo que maneja el plato, la geometría del plato, la capacidad del plato y algunos factores mecánicos involucrados.

En el diseño hidráulico se manejan muchos conceptos, de los cuales los más importantes son los relacionados con la caída de presión, el arrastre, la retención de líquido, el rango de operación y flexibilidad y eficiencia del plato.

En tipos de flujo se manejan los conceptos de flujo cruzado, en contracorriente, invertido, radial, dividido y múltiple.

En geometría del plato se describe la disposición de las áreas de la columna, espaciamiento entre platos y altura del derramadero.

En capacidad se definen los términos con los que está relacionada como son el diámetro de la columna, longitud y ancho de la trayectoria de flujo, número de pasos, platos críticos y zonas de la columna.

Por último se mencionan los factores mecánicos de la columna que son el espesor de plato, soporte del plato y registro de hombre.

## A. DISEÑO HIDRAULICO.

Por diseño hidráulico de un plato se entiende la evaluación de diferentes parámetros como son caída de presión, arrastre y rango de operación, los cuales están relacionados con la capacidad y la eficiencia de un sistema determinado. A continuación se presenta una discusión de estos parámetros.

A.1.- Caída de presión. Esta se presenta en el plato seco, húmedo y en las bajantes. Además como conceptos asociados a éste se encuentran el carga debido al líquido claro, la altura de líquido efectivo, el gradiente hidráulico, la cresta de líquido sobre el derramadero, la aereación de líquido, el arrastre, etc.

A.1.1.- Caída de presión en el plato seco. Esta pérdida de presión es la sufrida por el vapor al pasar a través de los orificios del plato, en ausencia de líquido. Esta es evaluada en función del concepto de carga cinética, en forma similar a como se evalúa en tuberías la pérdida por accesorios, quedando en función de un coeficiente de orificio, el cual está relacionado con el tamaño del orificio y el espesor del plato.

A.1.2.- Caída de presión en el plato húmedo. Esta se presenta cuando fluyen ambos el líquido y el gas por el plato. Esta caída de presión es debida al carga del líquido claro, carga sobre el vertedero de salida, carga por tensión superficial y el gradiente hidráulico; involucrando densidad y altura de la espuma, factores de aereación y régimen de dos fases y la frecuencia de burbujeo.

A.1.2.1.- Carga debido al líquido claro, es la profundidad que tendría el líquido libre de vapor en el plato al fluir a través de éste, si fuera nulo el goteo a través del plato. Esta carga

es igual a la suma de la altura del derramadero de salida, la cresta de líquido fluyendo sobre el derramadero de salida y el gradiente hidráulico promedio.

A.1.2.2.- Altura de líquido efectiva, también conocida como la altura de líquido claro equivalente, es la caída de presión que tendría el vapor si cruzara una capa de líquido en vez de una de espuma. Este valor es menor generalmente que la altura del derramadero de salida y disminuye al aumentar el flujo de vapor. Para estimarse se emplea el factor de aeración. Se emplea en la determinación de la carga perdida por el vapor por su paso a través de la masa aerada existente sobre el plato.

A.1.2.3.- Gradiente hidráulico. Se define como la diferencia entre las alturas de líquido a la entrada y a la salida del plato y es la carga necesaria para que el líquido pueda fluir a través de éste para ponerse en contacto con el vapor.

El gradiente hidráulico se produce por la resistencia que presentan al flujo del líquido, el flujo de vapor y la superficie del plato, aunque puede considerarse despreciable si el plato no es muy grande.

El gradiente hidráulico ocasiona desigualdad en la distribución del flujo de vapor a lo largo del plato, pues a la entrada la carga de líquido es mayor y tendrá una mayor resistencia por lo que el vapor tenderá a fluir por la parte de la salida, donde la resistencia es menor.

A.1.2.4.- Cresta de líquido sobre el derramadero. La altura de líquido fluyendo sobre el derramadero, es función del flujo de líquido, longitud del derramadero y del diámetro de la columna.

Para derramaderos rectos, la ecuación de Francis puede calcular

la cresta de líquido (how) (12)

$$\text{how} = 0.48 F \left( \frac{\text{LQPM}}{\text{wl}} \right)^{2/3} \quad \text{ec. (3.1)}$$

donde: how cresta del líquido en pulg.

LQPM Flujo líquido en galones por minuto

wl Longitud del derramadero en pulg.

F Factor por construcción de vertedero

Esta altura no debe ser menor a 0.5 pulgada (ø), si fuera menor se requeriría tener vertederos tipo dentado y no recto, para tener una buena distribución de líquido.

La ecuación para vertederos dentados, es una modificación a la anterior (12).

$$\text{how} = 0.7 F \left[ \frac{\text{LQPM}/\text{Ldien}}{\tan (\theta/2)} \right]^{0.4} \quad \text{ec. (3.2)}$$

donde:  $\theta$  es el ángulo de corte, grados

Ldien longitud de los dientes, pulgadas

Y para vertederos circulares

$$\text{how} = \left[ \frac{\text{LQPM}}{10 \text{ Dw}} \right]^{0.704} \quad \text{ec. (3.3)}$$

donde Dw diámetro del derramadero (tubo) , pulgadas

A.1.2.5.- Aereación de líquido y masa de líquido aereada. El fenómeno de aereación de líquido es el resultado del burbujeo del vapor a través de la capa de líquido que fluye sobre el plato.

La masa de líquido aereada, es por el efecto de la acción del vapor, la cual tiene una gran área interfásial que favorece la transferencia de masa entre las fases. La masa de líquido aereada es función del empuje ascendente del vapor, del arrastre

de líquido por el vapor y de las tendencias espumantes del sistema y se refiere a la aereación provocada por el efecto de la agitación del líquido por el flujo de vapor. La densidad de la masa aereada varía con la altura siendo menor en las cercanías de la superficie del plato.

A.1.2.6. - Carga de espuma y el factor de aereación. En la superficie del plato no existe realmente una capa uniforme sino una masa aereada debido al efecto del vapor, por lo que se requiere evaluar la caída de presión de vapor considerando el efecto del vapor atrapado en el líquido, por medio de un factor de corrección o factor de aereación,  $\beta$ . Este factor relaciona y considera las pérdidas de presión que sufre el vapor en la formación de burbujas y las ocasionadas por fricción al fluir a través de la masa aereada.

La carga de espuma es generalmente menor que la altura del derramadero de salida y disminuye al aumentar el flujo de vapor.

A.1.2.7. - Caída de presión total del plato ( $\Delta P$ ). La resistencia hidráulica consta de tres componentes: resistencia por plato seco, por tensión superficial y por la capa de espuma sobre los platos.

La caída de presión total es igual a la caída de presión por plato seco, más la altura de líquido y de la cresta de líquido sobre el derramadero por el factor de aereación.

La caída de presión en libras / pulgada<sup>2</sup> (psi) es:

$$\Delta P = \rho_l ht / 1728 \quad \text{ec. (3.4)}$$

donde  $\rho_l$  es la densidad del líquido en lb/pie<sup>3</sup>

ht Caída de presión en pulgadas de líquido

A.1.3.- Pérdida de carga por las bajantes. Esta pérdida de presión es debida a la retención de líquido en la bajante, al paso de líquido bajo la bajante y la altura de la espuma en la bajante.

Si la pérdida de carga en las bajantes es excesiva puede favorecer la inundación de la columna. El factor de aireación, o densidad de espuma del líquido en la bajante es importante por las mismas razones.

La caída de presión en la bajante o retención se determina con un balance de presión.

A.1.3.1.- Altura de líquido retenido en la bajante. La retención de líquido en la bajante se debe a la presencia de diferentes resistencias al flujo de líquido.

La altura de líquido retenido en la bajante se compone de varias cargas individuales que son:

- Altura del derramadero, fijada por el diseño del plato
- Altura de la cresta de líquido fluyendo sobre el vertedero
- Gradiente de líquido en el plato, normalmente este es despreciable
- Resistencia por fricción en la bajante y en el paso de la bajante al plato. Este término es relativamente despreciable si el claro bajo la bajante es grande
- Carga de líquido equivalente a la espuma que el vapor debe vencer al pasar de un plato a otro.

Si la altura de líquido retenido en la bajante o la altura de espuma en la bajante es mayor al espaciamiento entre platos más la altura del derramadero, los platos se inundarán al no poder fluir el líquido a través de la bajante.

Para sistemas con tendencia espumante o viscosos se recomiendan bajantes inclinadas. Estas proporcionan un tiempo de residencia mayor lo cual permite la coalescencia de la masa aireada. Además por tener un área mayor en la parte superior se favorece la liberación del vapor, y al tener menor en la parte inferior aumenta la resistencia al flujo de vapor lo cual permite que el líquido fluya por gravedad.

A.1.3.2.- Pérdida de carga bajo la bajante. Al pasar el líquido bajo la bajante pierde presión debido a la restricción que existe entre la parte inferior de la bajante y la superficie del plato. La pérdida de carga bajo la bajante puede disminuirse con el uso de un claro bajo la bajante adecuado.

A.1.3.3.- Altura de la espuma en la bajante. Dentro de la bajante el líquido está aireado debido a la espuma arrastrada por el líquido y por el arrastre por el vapor de las gotas que salpican al caer el líquido en la bajante.

A.2.- Arrastre. En la operación normal de una columna de platos perforados, siempre ocurren algunos arrastres que afectan la eficiencia y pueden causar inundación.

Existen dos tipos de arrastre, el arrastre de líquido por el vapor y el arrastre de vapor por el líquido.

El arrastre de líquido por el vapor se debe al acarreo de gotas de líquido por el vapor o bien a la proyección de partículas de líquido por la acción dinámica de los chorros de vapor.

Cuando se tiene arrastre, la eficiencia disminuye ya que el vapor tendrá una concentración menor que la que tendría si no hubiera arrastre.

El arrastre aumenta al disminuir el espaciado entre platos.

al aumentar la velocidad superficial del vapor, al disminuir la altura del derramadero, al disminuir el flujo de líquido, al disminuir la tensión superficial del líquido, al aumentar la densidad de líquido, al aumentar el número de perforaciones y al disminuir la trayectoria de flujo.

El arrastre de vapor por el líquido no es tan común. Se presenta en sistemas con espuma y consiste en el arrastre de la espuma por el líquido al plato inferior.

Como el vapor contiene más volátiles empobrece al líquido con respecto a los pesados reduciendo la eficiencia de la separación.

El arrastre de vapor por el líquido aumenta al aumentar las cargas de vapor o de líquido, al aumentar la viscosidad de líquido, al aumentar la altura del derramadero, al aumentar la densidad de vapor y cuando la tendencia a formar espuma es alta.

A.3.- Rango de operación y flexibilidad. Los términos asociados con la operación de la columna se podrán apreciar bien si nos auxiliamos de una curva de caída de presión típica. Fig 3.1.

Además el diagrama de comportamiento nos da más información acerca de los límites, zonas donde operará el plato en forma satisfactoria en función de la velocidad del líquido y del vapor. Fig. 3.2

A.3.1.- Goteo. El goteo ocurre cuando el flujo de vapor no es lo suficientemente grande para mantener el líquido sobre la superficie del plato, así que solo parte del líquido fluye sobre el derramadero de salida mientras el resto cae a través de los orificios del plato.

FIGURA 3.1 CURVA DE CAIDA DE PRESION TIPICA.

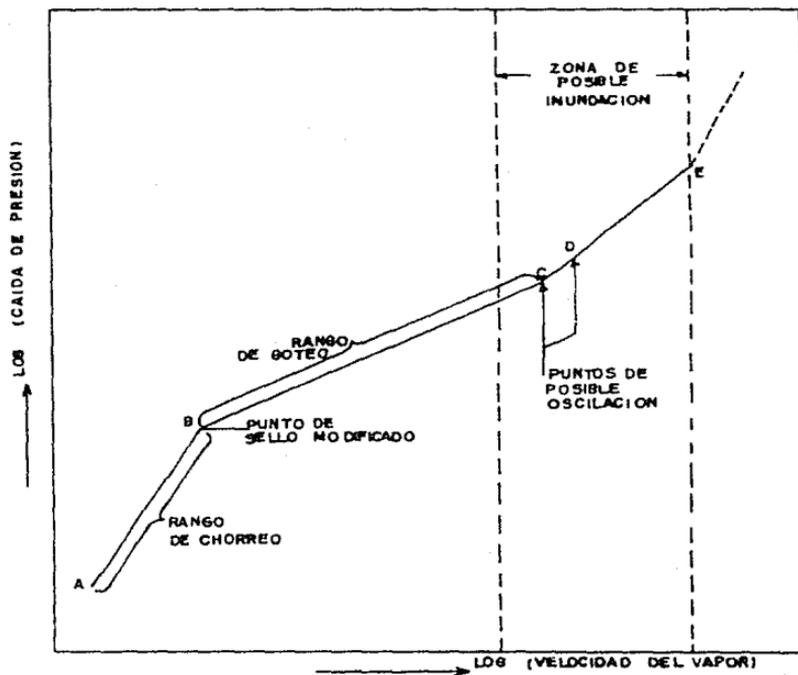
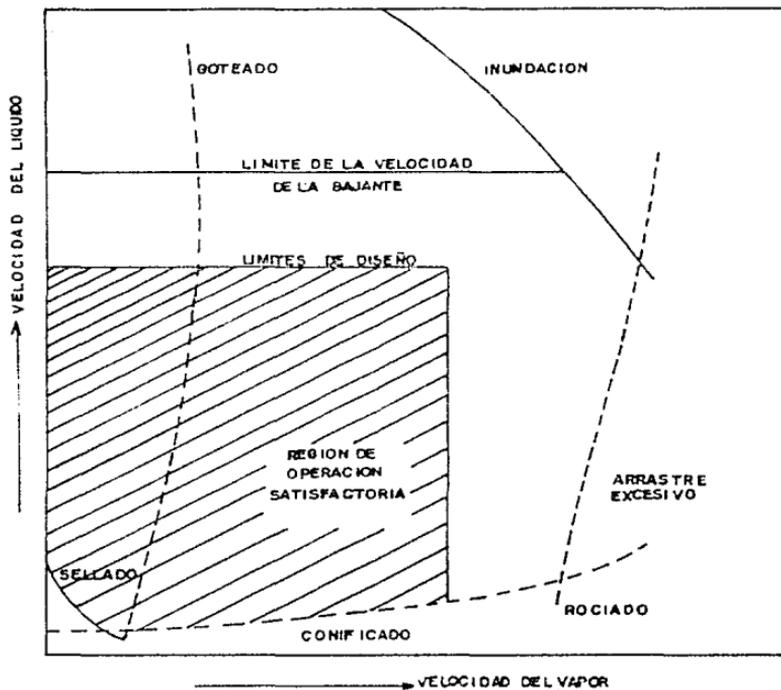


FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE COMPORTAMIENTO.



Algunos goteos, sin embargo, no son nocivos. En algunos tipos de platos (aquellos con altos porcentajes de áreas libres) pueden gotear hasta llegar al punto de inundación.

El goteo se presenta cuando la carga hidrostática del líquido iguala a la fuerza que lo sostiene sobre el plato, en ese punto el líquido empieza a fluir a través de las perforaciones hacia el plato inferior.

El goteo ocurre bajo prácticamente todas las condiciones y para casi todos los tamaños de orificio excepto para aquellos muy pequeños y para líquidos con elevada tensión superficial. Con la presión constante en el espacio de vapor bajo el plato, el líquido goteará a través de las perforaciones en aquellos puntos en los cuales la carga hidrostática es mayor a la resistencia que se opone al flujo.

El goteo puede presentarse casi uniformemente en todo el plato o puede estar localizado en algunos puntos como es la entrada del plato, donde la altura del líquido es mayor.

La influencia del goteo sobre la eficiencia del plato dependerá de la fracción total del líquido que goteo; así para casos de bajos flujos de líquido una pequeña cantidad de goteo puede ser relativamente seria.

A.3.3.- Punto de goteo. El punto de goteo se define como la carga bajo la cual la eficiencia de la transferencia de masa empieza a disminuir notoriamente a causa del goteo de líquido a través del plato.

En el punto de goteo, teóricamente, se igualan las fuerzas, la que promueve y la que evita el goteo, es decir, la carga de líquido sobre el plato y la caída de presión a través del plato seco más la carga necesaria para vencer la tensión superficial

del líquido y formar burbujas.

A.3.4.- Inundación. La inundación puede ser causada por alguno o una combinación de los siguientes factores,

- a).- Retención excesiva de líquido en las bajantes.
- b).- Expansión de espuma hacia el interior del plato superior.
- c).- Chorreado de líquido en el plato superior o acarreo debido a la oscilación de líquido.

La inundación en una columna es provocada en el punto para el cual los flujos de líquido y/o vapor rebasen la capacidad del equipo.

Los flujos de líquido y de vapor disminuyen al tener que vencer una mayor caída de presión.

La inundación debido a las limitaciones de capacidad de líquido en la bajante y/o arrastre en exceso (o un nivel de espuma que alcanza al plato superior) es la más común.

La inundación se caracteriza por el súbito incremento de la caída de presión y una marcada disminución en la eficiencia del plato.

A.3.5.- Factor de inundación. Es el máximo porcentaje de la inundación por arrastre permitido por el diseño.

Este factor relaciona las cargas de diseño o de operación a las cargas en el punto de inundación. Para sistemas no espumantes, se recomienda usar un 82% (10) y 85% (11).

Para sistemas espumantes se recomiendan factores de inundación menores que 80% y en sistemas a vacío, de 77 (12).

En columnas con diámetro menor a 3 pies deben tener un factor de inundación 10% menor para cada caso de los mencionados (13).

Factores de inundación altos provocarán un arrastre excesivo

A.3.6.- Inundación por limitaciones del sistema. Este tipo de inundación no es muy común pues únicamente se presentará con sistemas de elevada tensión superficial. Generalmente antes que el vapor alcance la velocidad correspondiente al punto de inundación por limitaciones del sistema, ocurrirá la inundación por arrastre.

A.3.7. - Chorreo (dumping), goteo (raining) y sellado (sealing). Estos modos de operación están normalmente fuera de los límites de operación para platos perforados con bajantes. Chorreo y goteo ocurren ambos a muy bajas velocidades de vapor.

El chorreo ocurre cuando la velocidad de vapor es inferior al punto correspondiente de goteo y no pueda mantenerse el líquido sobre el plato y entonces se ha alcanzado el punto de chorreo, y el líquido pasará a través de las perforaciones, lo cual ocasiona que disminuya súbitamente la eficiencia del plato y aumente la caída de presión.

En el goteo, el líquido pasa a través de las perforaciones de forma más uniforme que en el chorreo, pues el flujo de vapor es mayor el cual aún no es lo suficiente para mantener al líquido sobre el plato.

El sellado ocurre cuando la velocidad del vapor es lo suficiente para mantener un nivel de líquido en el plato. Sin embargo, el líquido fluye a través de las perforaciones en contracorriente con el vapor.

A.3.8. - Rociado (blowing), ocurre cuando el flujo de líquido es muy bajo y el de vapor es alto. En este caso el líquido es lanzado hacia arriba en forma de un finísimo rocío quedando el

plato casi seco, pues el líquido es arrastrado al siguiente plato.

A.3.9.- Oscilación. éste es un movimiento ondulatorio, del líquido sobre el plato y perpendicular a la dirección normal del flujo.

A.4. Eficiencia. La eficiencia de separación, tanto para torre de platos ó empacadas es importante en el diseño, ya que nos permite determinar el número de platos reales ó la altura de empaque requeridos para una separación establecida.

A.4.1.- La eficiencia de plato en particular estará en función de 1) las propiedades físicas del sistema, 2) flujos de vapor y líquido y 3) los aspectos hidráulicos del plato, como son, la altura del líquido, el diámetro del orificio, la fracción abierta del área del plato, la longitud de la trayectoria de flujo del líquido, etc.

La eficiencia total de la columna se basa en los mismos factores y, por lo general, es menor que la eficiencia de los platos individuales (2).

En la literatura existen diversas formas de calcular la eficiencia del plato, citaremos dos de ellas, una es por un método teórico y el otro por método empírico.

1) De acuerdo a la teoría de las dos películas. La eficiencia de Murphree puntual ha sido relacionada para unidades de transferencia de masa vapor/líquido (4) por:

$$E_{ov} = 1 - \exp \left[ - \left[ \frac{1}{Nv} + m \frac{V}{L} \left( \frac{1}{NL} \right) \right] \right] \quad \text{ec. (3.5)}$$

donde el manual de AIChE presentó las siguientes expresiones

semiempíricas para estimación de  $N_v$  y  $N_L$  (4):

$$N_v = \frac{(0.775 + 0.116 hw - 0.29 F_s + 0.0217 L_{OPM} / Fpl)}{(Sc_v)^{0.5}} \quad \text{ec. (3.6)}$$

$$N_L = 7.31 (10)^3 D_L^{0.5} (0.26 F_s + 0.15) t_L \quad \text{ec. (3.7)}$$

donde:

$$Sc_v = 2.42 \mu_L / (p_v D_v) \quad \text{ec. (3.8)}$$

$$t_L = \frac{(Ah / 12) Aa}{3800 \frac{L_{OPM}}{448.8}} = \frac{Ah Aa}{98.3 L_{OPM}} \quad \text{ec. (3.9)}$$

La eficiencia puntual de Murphree ( $E_{ov}$ ) se relaciona con la eficiencia de plato global de Murphree ( $EM_v^*$ ) de la siguiente manera:

$$EM_v^* = E_{ov} \left[ \frac{1 - \exp[-(\eta + N_{Pe})]}{(\eta + N_{Pe}) (1 + (\eta + N_{Pe}) / \eta)} + \frac{\exp(\eta) - 1}{\eta (1 + \eta / (\eta + N_{Pe}))} \right] \quad \text{ec. (3.10)}$$

donde:

$$\eta = \frac{N_{Pe}}{2} \left[ \left( 1 + \frac{4 m V E_{ov}}{L N_{Pe}} \right)^{0.5} - 1 \right] \quad \text{ec. (3.11)}$$

$$N_{Pe} = Fpl^2 / (Dx t_L) \quad \text{ec. (3.12)}$$

en la cual  $Fpl$  es la longitud de la trayectoria de flujo, pies

$$Dx = \left[ 0.774 + 1.026 \frac{V_{cfs}}{Aa} + 0.15 \frac{L_{OPM}}{Fpl} + 0.9 hw \right]^2 \quad \text{ec. (3.13)}$$

Esta eficiencia tiene que corregirse por el efecto de arrastre de líquido mediante:

$$EMV = EMV^* / [ 1 + EMV^* E / ( 1 - E ) ] \quad \text{ec. (3.14)}$$

donde E arrastre fraccional

2) Método empírico, en este se utiliza la siguiente ecuación para calcular eficiencia global en función de la viscosidad de alimentación:

$$E_0 = 0.17 - 0.288 \ln ( \mu_{\text{alim}} ) \quad \text{ec. (3.15)}$$

y la eficiencia de etapa puede calcularse mediante la siguiente ecuación (3.16):

$$EMV = ( \lambda^{E_0} - 1 ) / ( \lambda - 1 ) \quad \text{ec. (3.16)}$$

$$\lambda = m L / V \quad \text{ec. (3.17)}$$

El primer método, teoría de las dos películas, es más adecuado pues involucra el diseño del plato, el número de pasos de flujo, y las condiciones de operación.

## B. TIPOS DE FLUJO.

Dependiendo del tipo de plato, existen varias formas en las cuales el líquido puede fluir a través de un plato.

B.1.- Flujo cruzado. Este se tiene cuando el líquido fluye sobre el plato hasta caer al siguiente por medio de un ducto o bajante (3.12.10). El control de flujo de líquido en un plato de flujo cruzado se puede controlar mediante la instalación de ductos descendentes para alcanzar la estabilidad que se desea y una buena eficiencia de transferencia. Los platos de flujo cruzado son los más empleados ya que su construcción es simple y económica. Fig. 3.3A

B.2.- Flujo en contracorriente. En este caso se tiene que el líquido y el vapor se ponen en contacto sobre la superficie del plato, es el caso de platos sin bajantes, el líquido y el vapor fluyen en contracorriente a través de los mismos orificios. Fig 3.3B

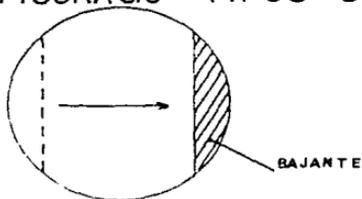
B.3.- Flujo invertido (3,12). En estos platos el líquido fluye desde una bajante, circula alrededor de una mampara invirtiéndose la dirección del flujo, así el líquido fluye hacia la bajante de salida que está colocada del mismo lado por el cual entró el líquido. Se recomienda para prevenir que se mezclen los líquidos separados por la mampara, Fig 3.3C, que ésta tenga una altura no mayor de dos veces la altura de líquido sobre el plato libre de vapor.

B.4.- Flujo radial (3,12). En este tipo de platos el líquido fluye radialmente de una entrada (ó salida) localizada en el centro del plato, hacia las bajantes de salida (o de entrada). Se recomiendan para torres de diámetro grande. Fig. 3.3D

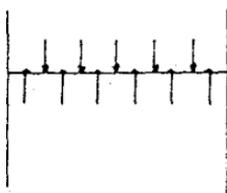
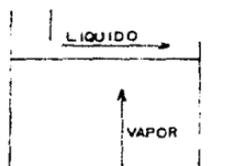
B.5.- Flujo dividido (3,12). El líquido fluye a través del plato dividiéndose en dos o más trayectorias de flujo. Fig. 3.3E

B.6.- Flujo multipaso (3,13). Este tipo de platos consiste en dividir la trayectoria de flujo de cada uno de los platos. Cada trayectoria o paso maneja una parte del líquido total. Este plato se usa para relaciones elevadas de líquido/vapor y torres de gran diámetro. Aunque estos platos son más costosos que los de un paso de igual dimensión y debido a que la trayectoria de flujo es menor, la eficiencia de transferencia de masa es menor, sin embargo, debido a que en los platos de un paso hay canalizaciones por la trayectoria tan grande, los platos multipaso tienen una eficiencia mayor. Fig 3.3F, 3.3G

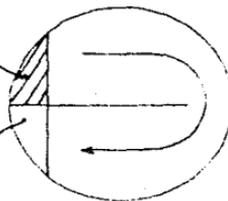
### FIGURA 3.3 TIPOS DE FLUJO.



A) FLUJO CRUZADO.

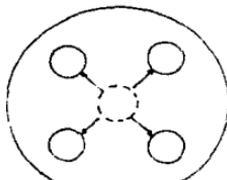


BAJANTE DE ENTRADA  
BAJANTE DE SALIDA

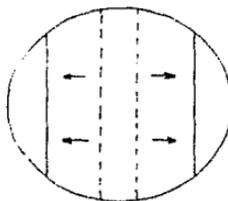


B) FLUJO EN CONTRACORRIENTE.

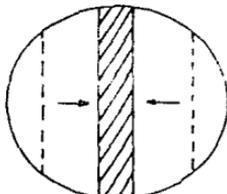
C) FLUJO INVERTIDO



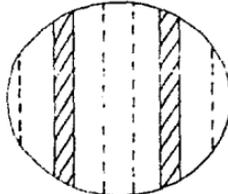
D) FLUJO RADIAL



E) FLUJO DIVIDIDO



F) FLUJO EN DOS PASOS



G) CUATRO PASOS

## C. GEOMETRIA DEL PLATO.

C.1.- Disposición de las áreas de la columna. Para el dimensionamiento del plato es importante conocer el significado y la localización de las áreas que lo constituyen. Fig. 3.4.

C.1.1.- Area transversal de la columna, es el área interna total de la sección transversal de la columna, la cual para platos perforados es igual a la suma del área activa más dos veces el área de bajantes. Fig. 3.5

C.1.2.- Area activa o de burbujeo. Es el área comprendida entre las paredes de la columna, el (los) derramadero(s) de salida y el (los) bordes a la entrada del plato. Esta es igual al área total menos el doble del área de bajantes.

C.1.3.- Area libre o neta. Es el área de la columna disponible para el flujo de vapor, o el área transversal de la torre menos el área de bajantes.

C.1.4.- Area de bajantes. Es la superficie del plato ocupada por el (los) ducto(s) a través del (los) cual(es) el líquido desciende hacia el plato inferior. Es el área a la entrada de las bajantes.

C.1.5.- Area bajo la bajante. Esta es el área comprendida entre la superficie del plato o el fondo de la charola de sello y el borde inferior de la bajante.

C.1.6.- Area inferior o del fondo de la bajante. Es el área en el fondo de la bajante.

C.1.7.- Area de sello de la bajante. Es el área bajo el fondo de la bajante, su función es la de mantener un sello para poder

distribuir el líquido por el plato.

C.1.8.- Área de perforaciones. Es el área total de perforaciones para flujo de vapor en el plato.

C.1.9.- Áreas de calma. Es el área comprendida entre el vertedero de entrada o salida y la primera o última fila de perforaciones. El área de calma a la entrada se requiere debido a que el líquido posee una componente de velocidad vertical descendente. El área de calma a la salida permite que se libere vapor de la espuma y que entre a la bajante el líquido.

C.2.- Espaciamento entre platos. Este es el espacio comprendido entre plato y plato. Está determinado por la necesidad de un fácil acceso para el mantenimiento e inspección.

Si el espaciamento es pequeño, la eficiencia disminuye debido al arrastre, también si la altura de líquido retenido en la bajante es mayor al espaciamento, la columna se inundará.

En los siguientes casos se requerirá un espaciamento adicional:

- a) Platos de transición, ya sea cambio del número de pasos del plato, o cambio del diámetro de la columna.
- b) Si la alimentación que se introducirá al plato está total o parcialmente vaporizada.
- c) Para permitir la colocación de la tubería de distribución para alimentaciones líquidas.

C.3.- Altura del derramadero. Es la distancia medida desde la superficie del plato a la parte superior del derramadero.

FIGURA 3.4 TORRE DE DESTILACION DE PLATOS PERFORADOS.

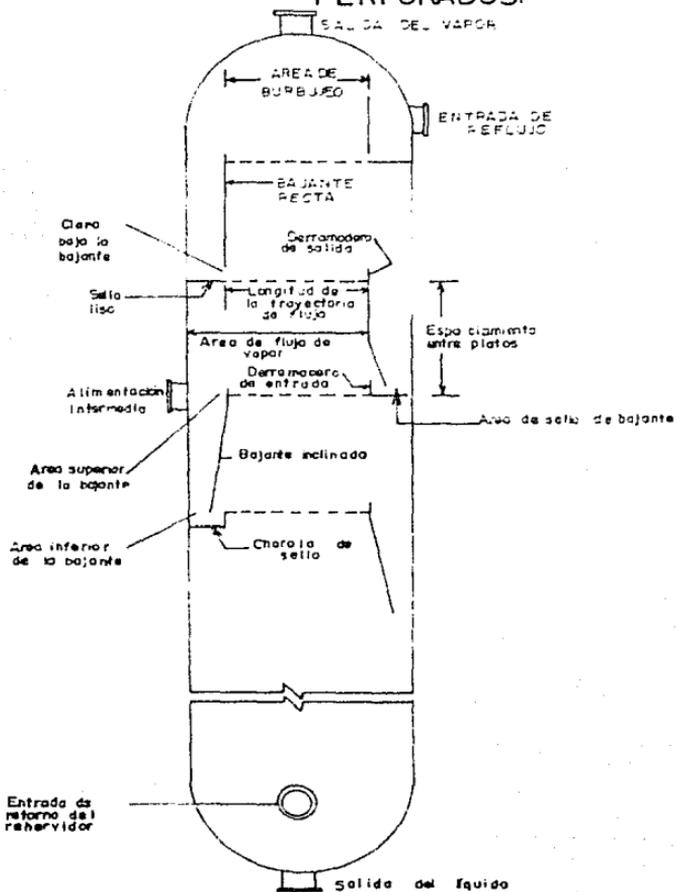
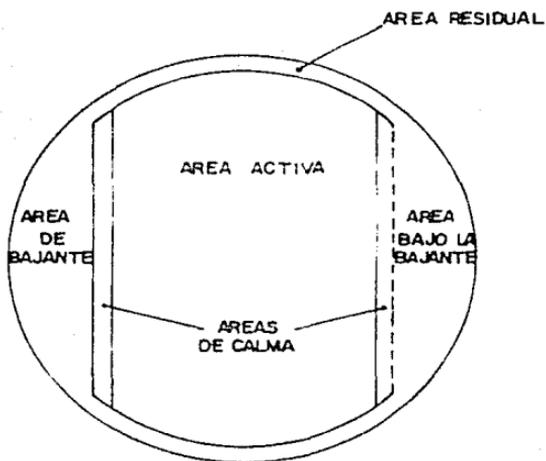


FIGURA 3.5 DISPOSICION DE AREAS SOBRE UN PLATO DE UN PASO.



#### D. CAPACIDAD.

La capacidad de una columna se entiende como los flujos de líquido y vapor que ésta puede manejar eficientemente.

La capacidad de líquido está en función del volumen de las bajantes, y por eso el líquido retenido en éstas, no deba exceder del 40-60% de su capacidad total, pues la columna se inundará antes de inundarse por arrastre.

La capacidad de vapor está determinada por el espaciamiento entre platos y las propiedades de líquido y el vapor. La capacidad de vapor de diseño no debe ser menor al 80-85% de la de inundación.

D.1. Diámetro de la columna. Es el diámetro de la sección transversal de la columna, el cual se puede determinar por el método de Souders Brown (12).

Una vez determinado el diámetro de la columna este deberá ser redondeado al medio pie próximo superior.

Solo se variará el diámetro, por cuestiones económicas, cuando las variaciones de los flujos sean mayores al 20% entre la parte superior e inferior.

D.2.- Longitud de la trayectoria de flujo. Es la distancia de la trayectoria que sigue libremente el líquido a través del plato de flujo cruzado desde que sale de la bajante hasta el derramadero de salida.

Si se requieren de entradas hombre, la longitud mínima de la trayectoria de flujo será de 18 pulgadas.

D.3.- Ancho de la trayectoria de flujo. Es la distancia

entrada, en el centro y a la salida del área de burbujeo para un plato de un paso. Para platos multipaso será la suma promedio de las anchuras de cada trayectoria de flujo.

D.4.- Número de pasos. Por número de pasos de flujo se entiende al número de trayectorias que seguirá el líquido al pasar sobre la superficie del plato.

Con platos multipaso el diámetro del plato disminuirá, y con ello el área activa y la eficiencia. Si se tiene una columna de diámetro grande y con un solo paso, habrá canalizaciones del líquido, lo cual disminuirá la eficiencia. Para columnas de diámetro grande se recomiendan platos multipaso, mientras que para servicios a vacío no se recomiendan debido a la alta caída de presión comparada con los platos de un paso.

Los platos más comúnmente empleados son los de uno y dos pasos. Hay un límite para el número de pasos, esto es debido a la necesidad de colocar entradas hombre.

D.5.- Platos críticos. Como platos críticos deberán considerarse aquellos que manejen las cargas mínima y máxima dentro de cada una de las zonas de la columna. Para esto deberá contarse con los flujos y propiedades de los fluidos que maneja cada plato.

En una columna sencilla con una sola alimentación generalmente se tendrá dos zonas situadas abajo y arriba del plato de alimentación; los platos críticos serán para la zona superior el de domos y el situado sobre la alimentación y para la zona inferior el plato de fondos y el situado bajo la alimentación.

D.6.- Zonas de la columna. Se entiende como zona de la columna al grupo de platos en los cuales los flujos y las propiedades del líquido y vapor son prácticamente similares. Se puede

agrupar así platos de número de pasos, área de perforaciones, áreas activa y de bajantes similares. Para aquellos platos que dentro de un zona requieran de un área menor, se puede disminuir el espaciamiento entre los platos, para conservar el mismo diámetro y el mismo factor de inundación.

Si algún plato presentara problemas de goteo, en alguna zona, se recomienda disminuir el área activa de éste, tapando con láminas parte de esta área para no variar el diámetro.

#### E. FACTORES MECANICOS

Estos son: espesor de plato, soporte de plato y registro hombre.

E.1.- Espesor de plato. Este afecta la hidráulica del plato, principalmente en la caída de presión de plato seco. Los platos de acero al carbón pueden tener agujeros de un diámetro aproximadamente igual al espesor del plato, mientras que los platos fabricados de aleaciones pueden tener un diámetro de orificio del doble del espesor del plato.

Para relaciones espesor/diámetro de 1.0 o mayores se utilizan solo aceros al carbón.

E.2.- Soporte de plato y accesos de hombre. Deben tomarse en cuenta los soportes del plato y los accesos de hombre, al estimar el área del plato.

## CAPITULO IV

#### IV. DISEÑO DE PLATOS PERFORADOS.

En el diseño de una columna de destilación se tienen dos tipos de diseño, el diseño termodinámico y el diseño mecánico de la columna, el cual involucra el diseño de los platos.

En este capítulo se hace una breve descripción de los pasos a seguir durante el diseño de platos del tipo perforado. Además se describen las correlaciones recomendadas para efectuar el diseño y los parámetros de diseño básicos para poder especificar un plato perforado en forma adecuada.

Para el diseño de platos individuales se requieren seguir ciertos pasos que se detallan a continuación:

1.- Dimensionamiento del plato. Está constituido por el número de pasos, área activa, área de bajantes, longitud de vertedero, ancho de la trayectoria de flujo y longitud de la trayectoria de flujo. El procedimiento a seguir es iterativo, éste consiste en suponer un número de pasos igual a uno, calcular el área activa que ha de servirnos como una estimación inicial, calcular el área de bajantes, calcular la geometría del plato (longitudes de vertedero y trayectoria de flujo) y área activa, y repetir el procedimiento hasta verificar el área activa supuesta.

Cuando ya haya convergido el área activa, se prueba si la carga de líquido por longitud de vertedero está dentro de los límites recomendados de diseño, si no, entonces el número de pasos se incrementará en uno y se regresará a calcular las longitudes de vertedero y trayectoria de flujo y el área activa, hasta que esté dentro de los límites de diseño.

2.- Area de perforaciones. Una vez estimado el diseño del plato, incluyendo su geometría y tamaño, se calculan las áreas de perforaciones máxima y mínima.

3.- Comportamiento del plato. Cuando ya se ha diseñado el plato se requerirá calcular la caída de presión total y la retención del líquido en el plato para verificar el buen comportamiento de esto. En caso de que no se cumplieran los límites de estos valores se tendrá que volver a plantear el problema.

#### A. PARAMETROS DE DISEÑO.

Para efectuar el diseño de platos perforados es necesario definir previamente algunos parámetros del plato. Estos parámetros son:

El rango de operación. La flexibilidad de operación deseable para un simple plato o una columna de platos se deberá especificar para de esta forma se fijen los factores de inundación y de goteo  $F_f$  y  $F_w$ . Factores de inundación bajos dan grandes dimensiones de platos y aumentan el volumen de la torre. Bajos factores de goteo causan un aumento de la altura de la torre y/o caídas de presión altas.

La caída de presión máxima de plato ( $\Delta P_{m\grave{a}x}$ ). Se hace importante en operaciones de vacío donde la presión acumulada en las etapas del fondo tiene que mantenerse dentro de ciertos límites.

Factor de reducción de capacidad normal del sistema ( $S_f$ ). Depende de la tendencia a espumar del sistema y de la tensión superficial, los cuales se determinan en forma práctica y no en términos teóricos.

El valor máximo de espaciamento entre platos,  $t_s(\text{máx})$ , se usa para el dimensionamiento inicial de cada plato de la columna. Como los platos más pequeños requieren de mayor espaciamento para emparejarse a los más grandes, el espaciamento de platos de los grandes puede disminuirse para así mantener un factor de inundación uniforme a través de la columna.

El espaciamento mínimo especificado  $t_s(\text{mín})$  el cual se fija en función de los requerimientos de reparación y mantenimiento del plato. Los parámetros especificados inicialmente,  $t_s(\text{máx})$  y  $t_s(\text{mín})$ , afectan la forma de la columna e influyen de manera importante sobre el capital a invertir. Valores altos de  $t_s(\text{máx})$  nos llevan a obtener torres más esbeltas y más altas con áreas más pequeñas de plato pero aumentando el volumen global del recipiente.

El espaciamento entre platos es un parámetro que puede ser optimizado externamente de tal manera que el costo de la torre sea mínimo.

A continuación se listan algunas recomendaciones sobre estos parámetros de diseño:

A.1. - Factor de inundación. De acuerdo al servicio se recomiendan los siguientes valores (4)

	Ff
Para servicios en general	0.82
Para columnas a vacío	0.77
Para columnas con diámetro menor a 3 pies	0.85 - 0.75

Utilizando estos factores recomendados el arrastre será menor al 10%.

Factores mayores que los anotados pueden ocasionar un arrastre excesivo y/o que la columna dimensionada resulte muy pequeña para operar adecuadamente.

A.2.- Factor de goteo. Este factor relaciona el diseño o carga de operación a aquella en el punto de goteo, asegurando la uniformidad de la flexibilidad de operación del plato.

Un goteo del 25% del líquido sobre el plato representa normalmente una disminución en la eficiencia del plato del 10%.

A.3.- Altura del vertedero. Para la mayoría de los servicios se emplean vertederos con 2 pulgadas de altura. Para servicios a vacío se recomiendan de 1 a  $1\frac{1}{2}$  pulgadas. Cuando se requiere un alto tiempo de residencia como en los servicios con reacción química se han empleado alturas hasta de 8 pulgadas. (4)

Para servicios a presión la altura de vertedero varía de 2 a 3 pulgadas, de acuerdo al espaciamiento entre platos. (4)

A.4.- Diámetro de la perforación. Los diámetros de orificio que se usan industrialmente varían de  $\frac{1}{8}$  a 1 pulgada (6). En la selección del diámetro del orificio se deberá considerar lo siguiente:

A.4.1.- Naturaleza del servicio. Agujeros pequeños no son adecuados para servicios sucios o corrosivos. Si el servicio es sucio, los agujeros pequeños pueden bloquearse total o parcialmente, originando grandes caídas de presión e inundamiento prematuro. Además, los agujeros bloqueados rompen el patrón de distribución, causando desigualdad de flujos de vapor y por lo tanto eficiencias de plato más bajas.

Si el sistema es corrosivo, se recomiendan agujeros grandes, obteniéndose las siguientes ventajas:

a) El área de agujero y la caída de presión cambian menos con el tiempo y

b). - El espesor de plato permisible es mayor por lo que puede tolerarse un grado mayor de corrosión. Se recomiendan agujeros mayores 0.5 pulgadas para aquellos servicios sucios o corrosivos.

A.4.2. - Hidráulica. Agujeros pequeños reducen el goteo de plato, particularmente si la tensión superficial de líquido es alta. Agujeros pequeños ofrecen una ventaja apreciable en la capacidad, especialmente si el espaciamento de plato es pequeña y/o se mantiene un régimen espumante de operación, con sistemas con tensión superficial positiva. Agujeros pequeños también reducen el arrastre, en la mayoría de servicios a baja presión.

A.4.3. - La transferencia de masa. En régimen espumante de operación, agujeros pequeños dan un mejor contacto vapor/líquido, y así una eficiencia más alta. En operaciones en régimen de rocío, se recomiendan agujeros más grandes.

A.4.4. - Espuma. En servicios limpios operando a vacío en régimen espumante, se especifican agujeros pequeños tanto por cuestiones de arrastre como de eficiencia.

Para servicios limpios se recomienda generalmente un agujero de 3/8 de pulgada. Ⓜ

Para servicios limpios a vacío se recomienda de 1/8 a 3/16 de pulgada. Ⓜ

Para servicios sucios o corrosivos de 1/2 a 3/4 de pulgada. Ⓜ

A.5. - Espesor de plato. El espesor de plato usual es de calibre 14 (0.074 pulg) para aleaciones resistentes a la

corrosión (caleaciones y no ferrosos) y calibre 10 (0.134 pulg) para acero al carbón. (4)

Al seleccionar el espesor del plato perforado, deberá tomarse en cuenta el diámetro del orificio.

Los espesores comerciales son: (4)

Calibre	Pulgadas
20	0.037
18	0.050
16	0.060
14	0.074
12	0.104
10	0.134

A.6.- Caída de presión máxima de plato. Para sistemas a condiciones normales donde no se tienen condiciones de vacío se recomienda de 0.15 psi. En sistemas a vacío donde es necesario mantener la presión entre ciertos límites, la  $\Delta P_{\text{máx.}}$  variará de acuerdo a los requerimientos del sistema. (4)

A.7.- Factor de reducción de capacidad normal del sistema. Este factor es el que introduce en el dimensionamiento de plato el efecto de la reducción de la capacidad de retención del plato. Fair (4) lo relacionó con la tensión superficial de líquido así:

$$S_r = ( \sigma / 20 )^{0.2}$$

En los manuales de Koch y Glitsch (18,19,4) lo relacionan con la tendencia a formar espuma del sistema de acuerdo a la siguiente tabla.

Factor de reducción de capacidad Sr	Condiciones del sistema	Ejemplo
1.0	No espumante	Sistemas de hidrocarburos
0.9	Espuma baja	Sistemas de fluoruros como BF <sub>3</sub> , Freón, etc.
0.85	Espuma moderada	Regeneradoras de aminas y glicoles
0.73	Espuma abundante	Absorbedores de aminas y glicoles
0.8	Espuma vigorosa	Unidades de metil-cetona
0.3	Espuma estable	Regeneradores cáusticos

A.7.- Espaciamiento entre platos. El espaciamiento entre platos se selecciona de tal manera que se reduzca el arrastre al mínimo.

En general, los platos tienen un espaciamiento de 12 a 30 pulgadas, pero existen ciertas recomendaciones para sistemas específicos, como son: (4)

- a) El espaciamiento debe estar entre 12 y 18 pulgadas para sistemas a presión.
- b) El espaciamiento para columnas a presión atmosférica estará entre 12 y 18 pulgadas.
- c) Para sistemas a alto vacío el espaciamiento debe estar entre 24 y 30 pulgadas.

El espaciamiento entre platos perforados generalmente es de 8 pulgadas menor que para un plato de herboteadores equivalente. (12)

Para sistemas espumantes no se recomienda un espaciamiento menor de 18 pulgadas.

El espaciamiento se verifica entre platos normalmente está determinado por la necesidad de un fácil acceso para mantenimiento e inspección. Los espaciamientos estándar son de 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 30, 36 y 40 pulgadas, los más usuales están entre 12 y 30 pulgadas. Es poco usual utilizar espaciamientos mayores de 30 pulgadas.

El espaciamiento después es comprobado de acuerdo al nivel del líquido retenido en la bajante y por el arrastre.

## B. TECNICA DE DISEÑO.

Para describir el comportamiento del plato se requiere determinar la caída de presión de la etapa,  $\Delta P$ , la retención de líquido,  $U$ ; y la eficiencia del plato,  $E_o$ .

Los parámetros de comportamiento intermedio de plato son la caída de presión por plato seco, carga por tensión superficial, altura de la cresta de líquido sobre el vertedero, la altura de líquido libre en el área de burbujeo, la altura de líquido estancado en la bajante y el arrastre fraccional de vapor.

### B.1.- Comportamiento intermedio de plato.

B.1.1.- Caída de presión de plato seco. Esta es la caída de presión que ocurre cuando el vapor pasa a través de las perforaciones del plato. La siguiente ecuación es una correlación de los datos presentados por varios investigadores con una desviación de menos del 20% y desviación promedio del 10%. (4)

$$H_d = \frac{0.186}{C_o^2} \left[ \frac{V_{cfs}}{A_h} \right]^2 \left[ \frac{\rho_v}{\rho_l} \right] \left[ 1 - \left[ \frac{A_h}{A_a} \right]^2 \right]$$

ec. (4.1)

donde:  $A_h$  área perforada  
 $A_a$  área activa  
 $V_{\text{vps}}$  Flujo de vapor en pie<sup>3</sup>/s  
 $\rho_v$  Densidad de vapor en lb/pie<sup>3</sup>  
 $\rho_l$  Densidad de líquido en lb/pie<sup>3</sup>  
 $C_o$  Coeficiente de orificio

**NOTA:** Todas las unidades de las variables están en el sistema inglés, debido a que fué encontrada así en la literatura

En donde  $C_o$  es un coeficiente de orificio, éste lo representaron gráficamente G. A. Hughmark y A. E. O'Connell (12). Esta gráfica fué correlacionada (14) para darnos la siguiente relación:

$$C_o = \frac{880.6 - 87.7 \left( \frac{dh}{td} \right) + 7.32 \left( \frac{dh}{td} \right)^2 - 0.338 \left( \frac{dh}{td} \right)^3}{1000}$$

ec. (4.2)

Donde :  $dh$  diámetro del orificio en pulgadas  
 $td$  espesor del plato en pulgadas

B.1.2.- Carga por tensión superficial ( $h\sigma$ ). La carga por tensión superficial, está definida como la presión necesaria para formar una burbuja de vapor a través del orificio del plato, está dado por (17,4):

$$h\sigma = 0.04 \sigma / ( \rho_l dh ) \quad \text{ec. (4.3)}$$

Donde:  $\sigma$  tensión superficial del líquido en dn/cm  
 $\rho_l$  densidad del líquido, lb/pie<sup>3</sup>

B.1.3.- Cresta de líquido sobre el vertedero ( $h_{ow}$ ). La cresta de líquido sobre el vertedero puede estimarse por la fórmula de

Francis:

$$h_{ow} = 0.092 F \left( L_{oPM} / w_l \right)^{2/3} \quad \text{ec. (4.4)}$$

donde:  $w_l$  Longitud del vertedero

$L_{oPM}$  Flujo de líquido en galones/minuto

F Factor de corrección

Cuando el vertedero se encuentra en la descarga de una bajante segmentada, la pared de la columna tiene un efecto de constricción para el flujo de líquido que pasa sobre el vertedero. Por ello, se introdujo un factor de corrección por la pared de la columna, Bolles (4) la presentó en una gráfica, que está representada por la ecuación donde el factor de corrección (F) se resuelve numéricamente de la siguiente ecuación: (4)

$$\frac{L_{oPM}^{2/3}}{w_l^{5/3}} = 61.73 \frac{\left[ 1 - \left( \frac{w_l}{D_t} \right) / F^3 \right]^{0.5} - \left[ 1 - \left( \frac{w_l}{D_t} \right)^2 \right]^{0.5}}{\left( \frac{w_l}{D_t} \right) F}$$

ec. (4.5)

Este factor puede suponerse igual a 1.0 para platos multipaso.

B.1.4.- Altura para líquido libre o efectiva. Esta generalmente es menor que la altura de vertedero de salida y disminuye al aumentar el flujo de vapor. Representa la carga perdida por el vapor al pasar por la masa aireada sobre el plato. Fair (2) correlacionó la carga de líquido efectivo para la operación de sello líquido a la salida del vertedero del plato ( $h_w + h_{ow}$ ) por medio de un factor de aireación  $\beta$ , como sigue: (4)

$$h_l = \beta ( h_w + h_{ow} ) \quad \text{ec. (4.6)}$$

donde: hw altura del vertedero en pulgadas  
 how cresta de líquido en pulgadas

El factor  $\beta$  se estimó como una función de un parámetro de energía cinética de vapor,  $F_s$ :

$$F_s = (C V_{cfs} / A_a) ( \rho_v )^{0.5} \quad \text{ec. (4.7)}$$

quedando  $\beta$  se obtiene por una gráfica (12) que es representada por la siguiente ecuación (14):

$$\beta = 0.277 - 0.819 F_s + 0.341 F_s^2 - 0.0836 F_s^3 \quad \text{ec. (4.8)}$$

B.1.5.- Pérdida de carga bajo la bajante (Hud). Para evaluar la pérdida de carga bajo la bajante se empleará el área más restringida del fondo de ésta. Esta área se establece comúnmente fijando el claro bajo la bajante como 1/2 pulgada menor que la altura del vertedero de salida. Si se tuviera una retención excesiva en la bajante se recomienda emplear charolas de sello que permitan tener un claro bajo la bajante mayor. La pérdida de carga de líquido para flujo bajo la bajante se calcula por:

$$Hud = 0.559 \left[ \frac{L_{QPM}}{448.8 A_{ud}} \right]^2 \quad \text{ec. (4.9)}$$

Y el área bajo la bajante ( $A_{ud}$ ) es aproximadamente:

$$A_{ud} = 0.42 A_d \quad \text{ec. (4.10)}$$

B.1.5.- Retención en la bajante. La retención en la bajante no debe exceder el 40% del espaciamiento entre los platos, para sistemas con densidades de vapor mayores a 3 lb/plie<sup>3</sup>, 50% para densidades de vapor entre 1 y 3 lb/plie<sup>3</sup> y 80% para densidades de vapor menores a 1 lb/plie<sup>3</sup> (14).

La altura de líquido en la bajante es igual a la altura de líquido por fuera de la bajante ( $h_w + h_{ow}$ ), más la altura de líquido equivalente a la pérdida de carga debida al flujo de líquido por debajo de la bajante, y a la pérdida de carga total de vapor a través del plato.

$$h_{ld} = h_w + h_{ow} + (h_t + h_{ud}) \left[ \rho_l / (\rho_l - \rho_v) \right] \quad \text{ec. (4.11)}$$

Donde:  $h_t$  pérdida de carga total de vapor a través del plato en pulgadas.

$h_{ud}$  pérdida de carga debida al flujo líquido bajo la bajante en pulgadas.

B.1.8. - Arrastre. Cuando el líquido es arrastrado por el gas hacia el plato superior es atrapado en el líquido del plato superior. Este efecto es acumulativo y las cargas de líquido en los platos superiores pueden llegar a ser excesivas. Este fenómeno está relacionado con la altura de la espuma, con el diámetro de la torre y con un cambio del espumamiento al burbujeo. Aún no se conocen por completo las características de este cambio.

El arrastre se incrementa al disminuir el espaciamento entre los platos, al aumentar la velocidad superficial del vapor, al aumentar la altura del vertedero, al aumentar la densidad del vapor, al disminuir la tensión superficial del líquido, al disminuir la trayectoria de flujo del líquido y al aumentar el diámetro de las perforaciones.

El arrastre fraccional  $E$ , está definido por:

$$E = e / (L + e) \quad \text{ec. (4.12)}$$

donde:  $e$  Arrastre de líquido lbmol/hr

## L Flujo de líquido lbmol/hr

Se puede calcular de una gráfica presentada por Fair (10) como una función del factor de inundación del plato,  $F_f$ , y el parámetro,  $Fl_v$ , donde:

$$Fl_v = \frac{L_{OPM}}{448.8 \sqrt{CFS}} \left( \frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{0.5} \quad \text{ec. (4.13)}$$

Donde esta gráfica fué correlacionada y representada por la siguiente ecuación:

$$E = \exp \left[ - ( 8.692 + 1.056 F_f ) ( Fl_v )^{(-0.132 + 0.054 F_f)} \right] \quad \text{ec. (4.14)}$$

### B.2.- Comportamiento del plato.

Para estimar el comportamiento del plato, se requiere determinar los siguientes parámetros.

B.2.1.- Caída de presión total de plato ( $\Delta P$ ). Esta es la suma de las cargas de plato seco, líquido efectivo y tensión superficial, que da resultados muy aproximados (4).

$$ht = h_d + h_l + h_\sigma \quad \text{ec. (4.15)}$$

$$\Delta P = ht \rho_l / 1728 \quad \text{ec. (4.16)}$$

La tabla muestra algunas caídas de presión características para los platos de válvulas y perforados (4).

Sistema con presión total	$\Delta P$ /plato
30 mmHg	menor de 3mmHg
1 atm	0.07 psi
300 psi	0.12 psi

B.2.2.- La retención de líquido (U). La retención de líquido en el plato está relacionado por la carga de líquido efectivo en las áreas activa y de bajante por (16):

$$U = (h_l A_a + h_{ld} A_d) ( \rho_l / 12 ) \quad \text{ec. (4.17)}$$

Esta correlación supone una bajante vertical, sin vertedero de sello o arrastre de la charola.

B.2.3.- Eficiencia de plato (Eo). Por medio de los trabajos de Dickamer y Bradford (2,4) se obtuvo una gráfica, la cual está basada en la viscosidad de alimentación. Esta gráfica para la eficiencia de Murphree es representada por la siguiente ecuación:

$$E_o = 0.17 + 0.285 \ln ( \mu_{alim} ) \quad \text{ec. (4.18)}$$

B.2.4.- Relación de flexibilidad (T<sub>ld</sub>). La relación de flexibilidad, es la relación entre la máxima y la mínima velocidad del vapor a las cuales el plato operará eficientemente.

La flexibilidad es un término empleado para comparar un diseño con otro, así por ejemplo, un plato con un elevado rango de operación tendrá una mayor flexibilidad. La flexibilidad es un término que implica los límites de operación entre los cuales se mantiene una eficiencia aceptable del plato. Esta se relaciona con los factores de inundación y goteo por:

$$T_{ld} = 1 / ( F_f F_w ) \quad \text{ec. (4.19)}$$

El factor de inundación relaciona el diseño o carga de operación a cargas en el punto de inundación. Los valores de diseño recomendados para el factor de inundación del manual de Glitsch (16) son 0.82 para sistemas normales y 0.77 para torres de

vacío.

El factor de goteo relaciona la carga de diseño o carga de operación a aquella en el punto de goteo, e introduce la facilidad de diseño de columnas de platos uniforme con la flexibilidad de operación del plato.

### B.3. - CORRELACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL PLATO

Para obtener el tamaño de plato adecuado, deben considerarse varios factores, éstos son: número de pasos de flujo, consecuentemente longitud de vertedero, longitud y ancho de la trayectoria de flujo, área de bajantes, área activa, espaciamiento de platos, factor de inundación de plato y área total de plato. La forma en que estos factores afectan el tamaño del plato se da a continuación, así como las correlaciones apropiadas (4):

B.3.1. - Número de pasos (Np). Por número de pasos se entiende el número de trayectorias que seguirá el líquido al pasar sobre la superficie del plato. Los platos más usados comúnmente son los de uno y dos pasos. Los de un número de trayectorias mayor se emplean para manejar relaciones elevadas de líquido/vapor y en torres con gran diámetro.

El número de pasos afecta la longitud del vertedero del plato, y por tanto, el flujo de líquido en el vertedero. La longitud del vertedero debe modificarse para llevar a la relación de flujo de líquido por longitud del vertedero dentro de los límites propios de diseño (4):

$$L_{PM} / w_l \leq 98$$

$$\text{ec. (4.20)}$$

Dependiendo del diámetro del plato, existe un límite para el

número de pasos de flujo en función de la eficiencia y los requerimientos de los registros de hombre. Ambas condiciones requieren de una longitud de trayectoria de flujo de tamaño adecuado. El número máximo de pasos de flujo recomendado, está dado por (4.1):

$$Np(\text{máx}) = 0.377 (At)^{0.5} \quad \text{ec. (4.21)}$$

en donde  $Np(\text{máx})$  es redondeado al próximo número entero más alto pero no menor a 1.0 [Glitsch](18)

En algunos casos, el límite superior en el número de pasos de flujo puede prevenir la disminución de la carga de líquido en el vertedero, dentro de los límites de diseño normal de acuerdo con la ecuación (4.20). En tales casos, se pueden tolerar cargas tan altas como 240 gpm por pie de longitud de vertedero.

B.3.2.- Longitud de trayectoria de flujo, longitud de vertedero y ancho de trayectoria de flujo. La longitud de la trayectoria de flujo es la trayectoria libre que recorre el líquido a través del plato desde que sale de la bajante hasta el derramadero de salida. El ancho de la trayectoria de flujo se define como la media aritmética de la distancia de pared a pared en los puntos de la entrada, centro y salida del área de burbujeo para platos de un paso. Para platos multipaso es el promedio del ancho de las trayectorias de flujo.

Se suponen bajantes interiores que tienen formas rectangulares o posiciones localizadas que dividen el plato en longitudes de trayectoria de flujo iguales. Basado en estas consideraciones las siguientes correlaciones pueden usarse para obtener una buena aproximación de las longitudes de vertedero y trayectoria de flujo del plato:

$$w_l = w_{l(\text{ed})} + Dt (Np - 1)^{0.246} \quad \text{ec. (4.22)}$$

$$Fpl = \frac{Dt - 2 Hsd - 2 \left( \frac{Ad}{Dt} \right) \left[ Np - 1 \right]^{0.054} \left( 1 - \frac{Ad(ad)}{Ad} \right)}{Np} \quad \text{ec. (4.23)}$$

Donde:  $wl_{(ad)}$  longitud del vertedero en pies

$Fpl$  Longitud de la trayectoria de flujo en pies

$wl_{(ad)}$  Longitud del verterdero (lado de la bajante) pies

$Ad$  Area de bajantes en  $\text{pies}^2$

$Ad_{(ad)}$  Area de bajantes (lado de la bajante)  $\text{pies}^2$

$Hsd$  Longitud de la cuerda o longitud de la bajante (lado de la bajante) pies

Podemos calcular la longitud del verterdero,  $wl_{(ad)}$ , y la longitud de la cuerda acorde  $Hsd$ , del lado de la bajante. Así el área del lado de la bajante  $Ad_{(ad)}$ , es conocida. Por lo que podemos calcular  $Hsd$  por medio de la resolución de la siguiente ecuación no lineal (4):

$$\frac{Ad_{(ad)}}{At} = \frac{1}{\pi} \left[ \cos^{-1} \left[ 1 - 2 \left( \frac{Hsd}{Dt} \right) \right] - 2 \left[ 1 - 2 \left( \frac{Hsd}{Dt} \right) \right] \left[ \frac{Hsd}{Dt} \left( 1 - \frac{Hsd}{Dt} \right) \right]^{0.5} \right] \quad \text{ec. (4.24)}$$

mientras que  $wl_{(ad)}$  se obtiene de:

$$wl_{(ad)} = 2 \left( Hsd \left( Dt - Hsd \right) \right)^{0.5} \quad \text{ec. (4.25)}$$

En platos multipaso el área total de las bajantes está distribuida en proporción a la fracción del área activa dispuesta para cada bajante, de manera que se distribuyan las

bajantes en los lados y centro, y entre centro y lados. Basado en estos principios, se derivó la siguiente correlación (4) para estimar el área de la bajante como una función del área de bajantes global y el número de pasos de flujo:

$$Ad_{req} = Ad ( N_p )^{-(0.016 + 0.0475 N_p)} \quad \text{ec. (4.26)}$$

Donde  $N_p$  número de pasos de plato.

El ancho promedio de flujo ( $W_{fp}$ ) puede calcularse como una función del área activa del plato y de la longitud de la trayectoria de flujo (18,4):

$$W_{fp} = A_a / F_{pl} \quad \text{ec. (4.27)}$$

El área de bajantes ( $Ad$ ) es función del flujo de líquido, de la velocidad utilizada en la bajante y del factor de inundación. Las correlaciones recomendadas (18) para dimensionamiento de bajantes está resumido por:

$$Ad = \text{el mayor de } \begin{cases} Ad' \\ \text{el menor de } \begin{cases} 2 Ad' \\ 0.11 A_a \end{cases} \end{cases} \quad \text{ec. (4.28)}$$

Donde:

$$Ad' = \frac{L_{orw}}{V_d F_f} \quad \text{ec. (4.29)}$$

El área de bajantes se establece en función de la menor de las velocidades obtenidas con las siguientes expresiones (18,4):

$$V_d = \text{el menor de } \begin{cases} 250 S_r \\ 41 ( \rho_l - \rho_v S_r )^{0.5} \\ 7.5 ( t_s ( \rho_l - \rho_v ) )^{0.5} S_r \end{cases} \quad \text{ec. (4.30)}$$

Del método de dimensionamiento de las bajantes y la velocidad de la gráfica dada en el manual de Koch (10), se derivaron las siguientes ecuaciones (4):

$$Ad = L_{opm} / (Vd Ff) \quad \text{ec. (4.31)}$$

donde:

$$Vd = \text{el menor de } \begin{cases} 8.578 \text{ ts}' Sr \\ 0.533 \text{ ts}' (\rho_l - \rho_v)^{0.02} Sr \end{cases} \quad \text{ec. (4.32)}$$

$$\text{ts}' \text{ debe ser menor de ts y 30} \quad \text{ec. (4.33)}$$

B.3.3.- Area activa (Aa). El área activa se evalúa en el plato que maneja los flujos mayores de la sección. Aunque este no necesariamente es el que requiere la mayor área activa.

Basado en el método del manual de Glitsch (10.4), el área activa del plato puede calcularse por medio de:

$$Aa = \frac{V_{load} + L_{opm} (Fpl / 1083)}{CAFo Sr Ff} \quad \text{ec. (4.34)}$$

donde:  $V_{load}$ : factor de carga de vapor.

Esta es función del flujo de líquido, de la velocidad de diseño en la bajante y de los factores de inundamiento del sistema.

El factor de capacidad se obtiene gráficamente (12). La gráfica ha sido correlacionada por las siguientes ecuaciones (4):

$$CAFo = \text{el menor de } \begin{cases} ts^{0.05} \rho_v^{0.107} / 12 \\ 0.3174 + 0.04122 \left( ts - 12 \right)^{0.403} - 10^{-6} \rho_v (245 + 881 ts) \\ 0.595 - 0.0598 \rho_v \end{cases} \quad \text{ec. (4.35)}$$

La cantidad de arrastre generada se aumenta conforme disminuye la capacidad del plato para el flujo de vapor, lo que causa disminución del factor de capacidad (4).

El factor de carga del vapor,  $V_{load}$ , está definido como:

$$V_{load} = V_{crs} \left( \rho_v / (\rho_l - \rho_v) \right)^{0.5} \quad \text{ec. (4.36)}$$

La correlación de Fair (4) para la estimación del área activa del plato usa un parámetro de flujo,  $F_{lv}$ , en lugar del factor de carga de vapor  $V_{load}$ . Este parámetro de flujo estima para el líquido/vapor los efectos de energía cinética y está definido por la ecuación (4.13). El área activa se calcula por la siguiente ecuación:

$$A_a = V_{load} / (CA_{Fo} S_f F_f) \quad \text{ec. (4.37)}$$

$$S_f = ( \sigma / 20 )^{0.2} \quad \text{ec. (4.38)}$$

El factor de capacidad  $CA_{Fo}$ , se obtiene de la siguiente ecuación derivada de la gráfica de capacidad de inundación de Fair:

$$CA_{Fo} = \text{el menor de } \begin{cases} 0.118 \exp ( 0.0479 t_s ) \\ 0.425 \exp ( 0.0479 t_s ) ( 0.1092 - 0.058 \ln ( F_{lv} ) ) \end{cases} \quad \text{ec. (4.39)}$$

El área activa calculada por el método de Fair es independiente del número de pasos del plato.

B.3.4.- Factor de inundación del plato ( $F_f$ ). El factor de inundación del plato puede calcularse por medio de la siguiente

ecuación:

$$Fr = \left[ \frac{V_{lood}}{(C Aa CAFo Sr - Ad Vd Fpl / 1083) (C Ad Vd / L_{OPM})^{0.6}} \right] \quad \text{ec. (4.40)}$$

junto con las ecuaciones (4.30) y (4.35).

B.3.5.- Área de plato total. Cuando se usan bajantes rectas, o cuando se usan bajantes inclinadas con áreas de admisión rebajadas o sumidero de decantar, el área total está dada por:

$$At = Aa + 2 Ad \quad \text{ec. (4.41)}$$

B.3.6.- Área total de perforaciones. El área de perforaciones del plato afectan la flexibilidad de operación del plato al modificar la caída de presión de plato seco. Una reducción en el área de las perforaciones reduce el punto de goteo, y hasta un cierto punto, incrementa la relación de flexibilidad. Más allá de este punto, puede causar inundación prematura debido a la resistencia de la bajante y/o a la gran caída de presión en el plato. El objetivo es encontrar el intervalo de las áreas de perforaciones que proporcione características de comportamiento satisfactorias para la flexibilidad de operación requerida.

El área de perforaciones en un plato, se calcula de manera que todos los platos de una zona tengan áreas de perforaciones iguales.

Para calcular el área de perforaciones que corresponde para una caída de presión global dada, de la ecuación de caída de presión de plato seco (4.1), despejando el área de perforaciones y sustituyendo la ecuación (4.15) se obtiene la siguiente

ecuación (4):

$$A_h = \frac{V_{cfs}}{\left[ \left( \frac{V_{cfs}}{A_a} \right)^2 + 5.38 C_o^2 \frac{\rho_l}{\rho_v} (h_t - h_l - h_\sigma) \right]^{0.5}} \quad \text{ec. (4.42)}$$

Donde  $C_o$  puede calcularse con la ecuación (4.2).

B.3.6.1. - Area de perforaciones máxima. Los límites de diseño para este parámetro se encuentran entre el punto de goteo, y el punto de inundación, los cuales corresponden al límite superior e inferior respectivamente.

En la literatura existen varias correlaciones, para estos parámetros pero no son muy confiables pues no tienen buena concordancia debido a las escasas observaciones experimentales. Fair (12) basado en trabajos experimentales de otros investigadores derivó una gráfica, la cual está representada por la siguiente ecuación (4):

$$h_d + h_\sigma = 0.35 (h_w + h_{ow})^{0.573} \quad \text{ec. (4.43)}$$

la cual representa el sello líquido operando a la salida del vertedero  $(h_w + h_{ow})$  en función de las cargas de la tensión superficial y de plato seco.

Aunque existen otras correlaciones, la ecuación anterior da resultados razonables, por lo que su uso es recomendado.

Sustituyendo la ec. (4.15) en la ec. (4.43) y despejando  $h_t$ , obtenemos la caída de presión mínima requerida para mantener las condiciones de operación en el punto de goteo, así que:

$$h_t(\text{min}) = h_l + 0.35 (h_w + h_{ow})^{0.573} \quad \text{ec. (4.44)}$$

Sustituyendo esta caída de presión mínima en la ec. (4.42) y el factor de goteo nos dará el área de perforaciones máxima permisible que mantenga el plato arriba del punto de goteo a la velocidad mínima de diseño (flujo de vapor por el factor de goteo):

$$Ah'(máx) = \frac{Fw Vcfs}{\left[ \left( \frac{Fw Vcfs}{Aa} \right)^2 + 5.38 Co^2 \frac{P_l}{P_v} (ht(min) - h_l - h_r) \right]^{0.5}}$$

ec. (4.45)

Por condiciones hidráulicas el área de perforaciones de plato no se permite exceder el 15% del área activa del plato, así que:

$$Ah(máx) = \text{el menor de } Ah'(máx) \text{ y } 0.15 Aa \text{ ec. (4.46)}$$

B.3.6.2.- Área mínima de perforaciones de plato. La retención en la bajante aumenta con la caída de presión hasta que todas las bajantes sean llenadas con espuma. Además un aumento en la caída de presión puede causar inundamiento del plato porque la bajante no puede manejar el sobreflujo líquido.

Suponiendo que el factor de aereación de la bajante es  $\phi$ , la altura de espuma de la bajante está dada por:

$$h_{fd} = h_{ld} / \phi \quad \text{ec. (4.47)}$$

Esta altura no permite exceder la altura de la bajante, y las condiciones límites deben satisfacer la ecuación:

$$h_{ld} / (\phi F_{fd}) = t_s + h_w \quad \text{ec. (4.48)}$$

en donde  $F_{fd}$  es el factor de inundación en la bajante.

En la literatura no hay datos para estimar el factor de aereación de la bajante. Sin embargo, se ha aceptado generalmente que un valor dado por la siguiente ecuación de

diseños de plato satisfactorios (12):

$$p_{Ffd} = 0.5$$

$$\text{ec. (4.49)}$$

Basándose en la ec. (4.48) y (4.49), la ecuación (4.11) resuelta para  $h_t$  da la caída de presión máxima permisible que no cause inundación por retención en la bajante:

$$h_t = (0.5 t_s - 0.5 h_w - h_{ow}) \left( \frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_l} \right) - h_{ud} \quad \text{ec. (4.50)}$$

Para evitar inundación prematura del plato, la caída de presión máxima permisible se calcula a la velocidad de líquido máxima (esto es  $L_{ow}/F_f$ ). Tomando en consideración la ec. (4.4) y la ec. (4.9), la ec. (4.50) queda:

$$h_t(Md) = (0.5 t_s - 0.5 h_w - h_{ow} / Fr^{2/3}) \left( \frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_l} \right) - h_{ud} / Fr^2 \quad \text{ec. (4.51)}$$

El valor de la caída de presión de plato de la ecuación (4.51) no puede exceder a las condiciones incipientes de inundación a chorros donde la velocidad de vapor sea  $V_{cfs}/F_f$ . De la ec. (4.42) podemos calcular el área mínima de perforaciones, la cual para flujo de vapor máximo causaría una caída de presión del plato igual a  $h_t(Md)$ :

$$A_h(Md) = \frac{V_{cfs} / F_f}{\left[ \left( \frac{V_{cfs}}{A_a F_f} \right)^2 + 5.38 Co^2 \frac{\rho_l}{\rho_v} (h_t(Md) - h_l - h_o) \right]^{0.5}} \quad \text{ec. (4.52)}$$

Para torres operando con presión baja, o equipada con muchas etapas, se especifica una caída de presión máxima a través de cada plato,  $\Delta P_{\max}$ . Esto crea la limitación adicional de pérdida

de carga de vapor:

$$ht(Mc) = 1728 \Delta P_{\max} / \rho_l \quad \text{ec. (4.53)}$$

El valor calculado por la ec. (4.53) es la caída de presión más alta aceptable a las condiciones de diseño. El área correspondiente de perforaciones del plato mínima puede calcularse de la ec. (4.42) como:

$$Ah(Mc) = \frac{V_{cfs}}{\left[ \left( \frac{V_{cfs}}{A_a} \right)^2 + 5.38 Co^2 \frac{\rho_l}{\rho_v} (ht(Md) - h_l - h_o) \right]^{0.5}} \quad \text{ec. (4.54)}$$

El área mínima permisible de perforaciones de plato que no produzca retención en la bajante o una caída de presión excesiva es entonces:

$$Ah(\min) = \text{el mayor de } Ah(Md), Ah(Mc), 0.05A_a \quad \text{ec. (4.55)}$$

Por estabilidad de operación, no se permite que el área de perforaciones que sea menor que el 5% del área activa.

B.3.7.- Espaciamiento de plato mínimo. Cuando  $Ah(\max) \geq Ah(\min)$  éstos son los límites mínimo y máximo del área de perforaciones de diseño. Así:

$$Ah(\min) \leq Ah \leq Ah(\max) \quad \text{ec. (4.56)}$$

En este intervalo, el factor de goteo del plato es igual o menor que el valor de diseño, la bajante no se inundará prematuramente, y la caída de presión total del plato no exceda la máxima especificada.

En el caso que  $Ah(\max) < Ah(\min)$ , fijamos:

$$Ah = Ah(\text{máx})$$

ec. (4.57)

Así el plato no se goteará prematuramente.

Deducimos de la ec. (4.55) que  $Ah(\text{md})$  ó  $Ah(\text{mc})$  o ambas, son mayores que  $Ah(\text{máx})$ . El significado de lo anterior es que la caída de presión generada por el área de perforaciones,  $Ah(\text{máx})$ , al diseñar a las condiciones de operación excede la  $\Delta P_{\text{máx}}$  especificada.

Para solucionar esta situación, reduciríamos la altura del vertedero y/o se incrementa el factor de goteo especificados. Estas son decisiones de criterio. Para un problema dado, lo mejor que puede uno hacer es aumentar el espaciamiento entre platos para que el plato no se inunde prematuramente debido a la retención en la bajante.

Para calcular el espaciamiento mínimo del plato,  $t_s(\text{md})$ , requerido para evitar inundación prematura del plato por retención de la bajante cuando el área de perforaciones del plato es  $A_h$ , resolvemos la ec. (4.52) para  $h_t(\text{Md})$ :

$$h_t(\text{Md}) = h_l + h_w + \frac{0.186}{C_o^2} \left[ \frac{V_{cfs}/Ff}{A_h} \right]^2 \left[ \frac{\rho_v}{\rho_l} \right] \left[ 1 - \left[ \frac{A_h}{A_a} \right]^2 \right]$$

ec. (4.58)

Introduciendo  $h_t(\text{Md})$  de la ec. (4.58) en la ec. (4.42) y resolviendo para  $t_s$ , obtenemos el espaciamiento mínimo requerido de plato:

$$t_s(\text{md}) = 2 \left[ \frac{\rho_v}{\rho_l - \rho_v} \right] \left[ h_t(\text{Md}) + \frac{h_{ud}}{Ff^2} \right] + h_w + 2 \left[ \frac{h_{ow}}{Ff^{2/3}} \right]$$

ec. (4.59)

## CAPITULO V

## V. PROGRAMA DE CALCULO DE PLATOS PERFORADOS Y EJEMPLO DE APLICACION

Con las ecuaciones propuestas en el capítulo anterior se desarrolló un programa de cómputo para el dimensionamiento de los platos de una columna.

A continuación se describen los algoritmos seguidos así como el procedimiento de acceso al programa. En el procedimiento de acceso se describe de una manera general como está constituido el programa.

También se muestra un ejemplo utilizando los datos necesarios generados en el diseño termodinámico de la columna.

### A. PROCEDIMIENTO DE CALCULO

Para el diseño de platos individuales se requiere seguir los siguientes pasos:

A.1.- Dimensionamiento del plato. Se determina el número de pasos, área activa, área de bajantes, longitud de vertedero, ancho de la trayectoria de flujo y longitud de la trayectoria de flujo. El procedimiento a seguir es iterativo, éste consiste en suponer un número de pasos igual a uno, calcular el área activa que ha de servirnos como una estimación inicial, calcular el área de bajantes, calcular la geometría del plato (longitudes de vertedero y trayectoria de flujo) y área activa, y repetir el procedimiento hasta comprobar el área activa supuesta.

Cuando ya haya convergido el área activa, se prueba si la carga

de líquido por longitud de vertedero está dentro de los límites recomendados de diseño, si no, entonces el número de pasos se incrementará en uno y se regresará a calcular las longitudes de vertedero y trayectoria de flujo y el área activa, hasta que esté dentro de los límites de diseño.

El algoritmo propuesto está representado por la figura S.1, donde se han representado las fórmulas seguidas.

Se utilizan rutinas auxiliares para calcular el área de bajantes, la geometría del plato (longitudes de vertedero y trayectoria de flujo) y la del área activa calculada, las cuales se muestran en las figs. S.2, S.3 y S.4.

A.2.- Área de perforaciones. Una vez estimado el diseño del plato, incluyendo su geometría y tamaño, se calculan las áreas de perforaciones máxima y mínima, como muestra la fig. S.5. El caso en que  $A_h(\text{mín})$  sea menor que  $A_h(\text{máx})$ , el plato deberá tener el área de perforaciones mínima, para tener una máxima flexibilidad de operación y en el caso en que  $A_h(\text{máx})$  sea menor que  $A_h(\text{mín})$  se deberá elegir a  $A_h(\text{máx})$  para mantener la flexibilidad de operación deseada y se requerirá ajustar el espaciamiento entre platos.

Para el cálculo de el área de perforaciones máxima el procedimiento a seguir es el presentado en la fig. S.6 y para el área de perforaciones mínima es el mostrado en la fig. S.7.

A.3.- Comportamiento del plato. Cuando ya se ha diseñado el plato se requerirá calcular la caída de presión total del plato y la retención. del plato, utilizando el procedimiento mostrado en la Fig. S.8

A.4.- Diseño y estimación del comportamiento del plato. Para

FIGURA 5.1 SUBROUTINA PLATO.

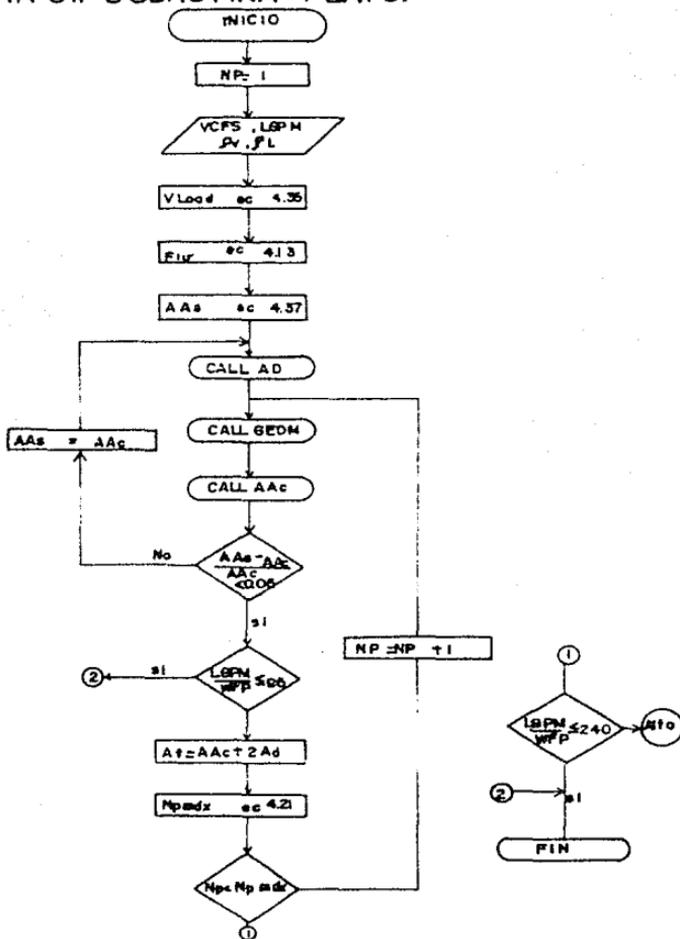


FIGURA 5.2 SUBRUTINA AD.

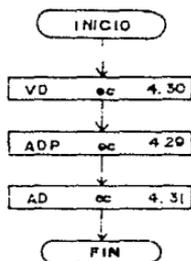


FIGURA 5.3 SUBRUTINA GEOM

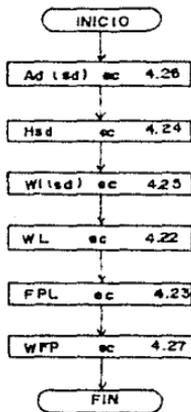


FIG.5.4 SUBROUTINA AAc.

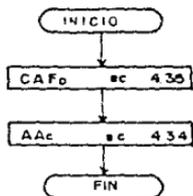
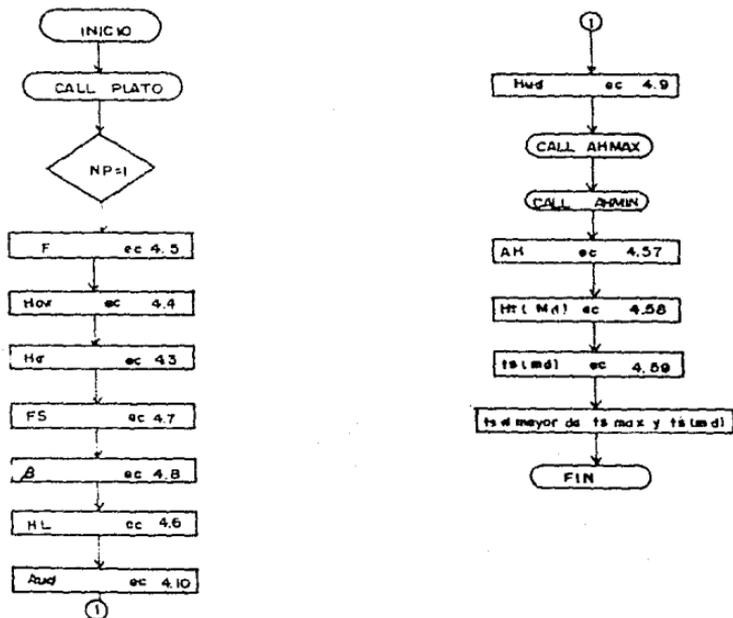


FIGURA 5.5 SUBROUTINA D PLATO.



el diseño de nuevas columnas la fig. 5.9 muestra el procedimiento a seguir, el cual integra las rutinas anteriores.

El algoritmo propuesto tanto puede diseñar los platos de una columna o puede simular los platos de una columna existente, en este segundo caso calcula el factor de inundación, las áreas de perforaciones máximas y mínima y el comportamiento de la etapa.

Otra rutina auxiliar a este algoritmo es la presentada en la fig. 5.10.

El listado completo del programa desarrollado se incluye en el anexo

## B. PROCEDIMIENTO DE ACCESO

Descripción del programa. El programa está dividido en cuatro secciones que son:

- I. Lectura de datos
- II. Diseño
- III. Simulación
- IV. Impresión de resultados

En la primera sección se solicitan los datos al usuario en las unidades apropiadas.

La sección de diseño, consta de tres partes, que son el dimensionamiento, la hidráulica del plato y el comportamiento del plato.

La sección de simulación determina los parámetros necesarios para determinar si un plato ya existente trabaja en forma adecuada.

Instrucciones de acceso. Para correr el programa se requiere

FIGURA 5.6 SUBRUTINA AHMAX.

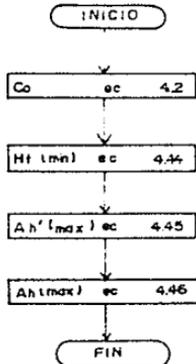


FIGURA 5.7 SUBRUTINA AHMIN.

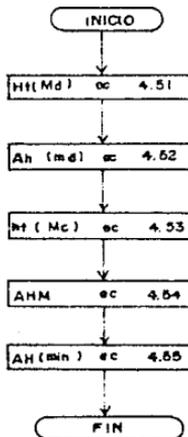


FIGURA 5.8 SUBROUTINA C PLATO.

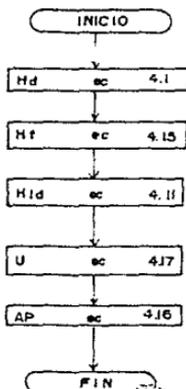


FIGURA 5.9 ALGORITMO GENERAL.

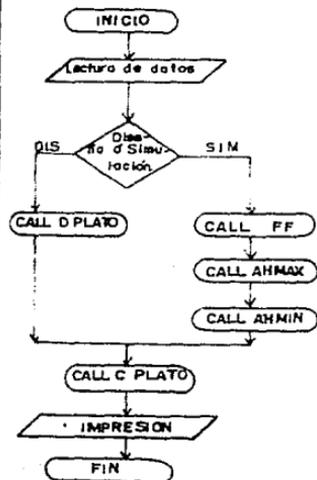
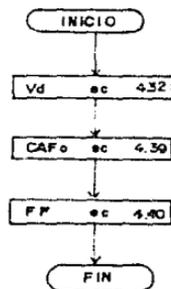


FIGURA 5.10 SUBROUTINA FF



seguir las siguientes instrucciones:

- 1.- Cargar el programa con el nombre PLATO.
- 2.- Meter los datos conforme los pida el programa (es conversacional), para esto es necesario llenar la hoja de corrida que se anexa.

Si la opción a seguir es la de efectuar el diseño de los platos de la columna, se requiere primero conocer sus condiciones de operación, y el tipo de sistema que se maneja. Si es un sistema de características normales, esto es, presiones normales, sin problemas de corrosión, que no maneja líquidos sucios (sólidos en suspensión), no tiene tendencia a formar espuma excesiva, no existe reacción química, el programa toma los parámetros de diseño adecuados para este sistema. Si se tiene otro tipo de sistema, el usuario deberá proporcionar los parámetros de diseño adecuados, utilizando las recomendaciones dadas en el capítulo IV.

Si la opción a seguir es la de efectuar la simulación de los platos de una columna ya existente, se requiere las condiciones de operación, así como las dimensiones del plato, las áreas; activa, de bajantes, y de perforaciones, las longitudes del vertedero y de la trayectoria de flujo, además del número de pasos del plato.

- 3.- Imprimir el archivo que genera el programa, este archivo se graba en el disco, por lo que es necesario imprimirlo antes de hacer otra corrida. El archivo se llama RESUL.DAT en cual se dan las características del diseño del plato, las áreas de distribución sobre el plato, las dimensiones de la trayectoria de flujo y del vertedero y la hidráulica del plato.

**HOJA DE CORRIDA  
PROGRAMA PLATO**

**DATOS DE LA COLUMNA**

COLUMNA:

SECCION:

PLATO:

**DATOS DE LAS CORRIENTES**

	VAPOR	LIQUIDO
FLUJO pie <sup>3</sup> /s (gal/min)		
DENSIDAD lb/pie <sup>3</sup>		
TENSION SUPERFICIAL dn/cm		

TIPO DE CORRIDA (DISEÑO O SIMULACION):

**PARAMETROS DE DISEÑO**

FACTOR DE INUNDAMIENTO:

FACTOR DE GOTEÓ:

ALTURA DEL DERRAMADERO:

ESFESOR DEL PLATO:

DIAMETRO DE LA PERFORACION:

CAIDA DE PRESION MAXIMA DEL PLATO:

FACTOR DE DISMINUCION DE LA CAPACIDAD:

ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS (pulg)      MINIMO:      MAXIMO:

**SECCION DE SIMULACION**

**DATOS DE DISEÑO DEL PLATO**

AREAS(pies<sup>2</sup>)    ACTIVA:      DE BAJANTES:      PERFORADA:

TRAYECTORIA DE FLUJO (pies)      LONGITUD:      ANCHO:

LONGITUD DEL VERTEDERO (pies):

ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS (pulg):

NUM. DE PASOS:

DIAMETRO (pies):

### C. EJEMPLO

Se desea diseñar los platos para una columna de destilación la cual forma parte de una sección de purificación de i-octano. El i-octano se separará de una mezcla de hidrocarburos ricos en i-octano y opera a presiones cercanas a la atmosférica. Para el dimensionamiento de sus platos, se seleccionarán los platos críticos de acuerdo a el perfil de flujos de los platos, mostrado en la tabla 5.1.

La columna requerida para la separación consta de 78 platos teóricos, siendo el plato óptimo de alimentación el no. 27 contado de arriba hacia abajo. En el diseño se partió de una eficiencia global del 65%, por lo que el número total de platos será de 120 y el plato de alimentación el no. 42.

Primero se seleccionarán las zonas de platos de la columna, como la columna tiene una sola alimentación, la columna se dividirá en dos zonas de platos, y los platos críticos serán los que manejen los flujos mayores y menores de ambas zonas, por lo tanto los platos críticos, serán los platos reales 1 y 42 para la zona superior y para la zona inferior los platos 42 y 120.

Para efectuar las corridas se tomarán los parámetros de diseño que toma el programa para condiciones normales de operación y los datos de la tabla 5.2.

Los parámetros de diseño que toma el programa son los siguientes:

Material: acero inoxidable calibre 14  
Diámetro de la perforación: 3/16 de pulgada  
Espesor del plato: 0.074 pulgadas  
Altura del vertedero de salida 2 pulgadas

TAELA 5.1 PERFIL DE PROPIEDADES Y FLUJOS DE LOS PLATOS DE UNA COLUMNA DE DESTILACION PARA PURIFICACION DE ISOCTANO

PLATO	TEM °F	F LIQ gal/hr	F VAP gal/hr	EPM	CFS	DL lb/psig	DV lb/psig	PL	Py	PSIA
0	139.03	785.98	0.00	246.416	0.000	41.2297	0.1387	104.6287	84.4187	10.27
1	206.177	818.369	785.088	281.919	97.9244	40.4659	0.2330	111.8109	104.6287	15.27
2	217.757	844.811	916.505	295.899	114.3668	40.3517	0.2471	113.7614	111.4074	15.47
3	221.007	850.749	942.947	299.202	116.6056	40.3189	0.2526	113.7343	112.4548	15.67
4	222.530	852.226	948.986	300.131	116.6497	40.3037	0.2562	113.6466	112.7947	15.67
5	223.644	852.722	950.362	300.497	114.9167	40.2927	0.2593	113.8882	112.6970	16.07
6	224.639	852.939	950.958	300.690	113.6793	40.2834	0.2624	113.9058	112.9349	16.27
7	225.592	853.044	951.075	300.808	112.4359	40.2752	0.2654	113.9139	113.9510	16.47
8	226.572	853.074	951.177	300.882	111.2034	40.2681	0.2684	113.9176	112.9583	16.67
9	227.455	853.052	951.210	300.925	109.9939	40.2620	0.2714	113.9193	112.9615	16.87
10	228.381	852.980	951.188	300.939	108.8069	40.2569	0.2743	113.9199	112.9629	17.07
11	229.308	852.860	951.116	300.927	107.6425	40.2529	0.2773	113.9201	112.9633	17.27
12	230.237	852.694	950.995	300.891	106.5004	42.2499	0.2802	113.9200	112.9631	17.47
13	231.169	852.486	950.830	300.831	105.3691	40.2479	0.2831	113.9198	112.9627	17.67
14	232.103	852.233	950.622	300.748	104.2814	40.2470	0.2850	113.9194	112.9520	17.87
15	233.041	851.937	950.369	300.642	103.2032	40.2471	0.2880	113.9191	112.9412	18.07
16	233.982	851.603	950.077	300.516	102.1451	40.2499	0.2919	113.9189	112.9403	18.27
17	234.925	851.235	949.738	300.368	101.1069	40.2501	0.2947	113.9186	112.9392	18.47
18	235.872	850.819	949.365	300.201	100.0877	40.2530	0.2776	113.9183	112.9383	18.67
19	236.823	850.381	948.955	300.019	99.0872	40.2567	0.3005	113.9182	112.9374	18.87
20	237.775	849.913	948.517	299.820	98.1055	40.2619	0.3034	113.9181	112.9364	19.07
21	238.728	849.417	948.049	299.607	97.1417	40.2664	0.3062	113.9181	112.9354	19.27
22	239.684	848.885	947.553	299.378	96.1955	40.2721	0.3091	113.9187	112.9345	19.47
23	240.643	848.274	947.021	299.122	95.2658	40.2793	0.3119	113.9206	112.9336	19.67
24	241.616	847.457	946.410	298.800	94.3492	40.2851	0.3147	113.9269	112.9346	19.67
25	242.633	846.097	945.553	298.285	93.4371	40.2926	0.3175	113.9469	112.9389	20.07
26	243.796	844.493	944.143	297.147	92.5019	40.3019	0.3203	114.0114	112.9747	20.27
27	245.442	842.148	940.634	247.646	91.4526	40.3171	0.3239	114.2295	113.0282	20.47
28	247.702	839.276	902.284	356.667	87.6990	40.2895	0.3281	114.4328	113.9739	20.67
29	246.811	892.365	908.412	351.718	86.9169	40.2745	0.3316	114.4914	114.2018	20.87
30	249.658	893.584	910.501	352.315	86.3488	40.2624	0.3347	114.5129	114.2660	21.07
31	250.432	894.521	911.700	352.781	85.7085	40.2514	0.3377	114.5227	114.2896	21.27
32	251.184	895.381	912.657	353.192	85.0559	40.2411	0.3407	114.5280	114.3093	21.47
33	251.927	896.182	913.517	353.571	84.4062	40.2315	0.3436	114.5312	114.3069	21.67
34	252.668	896.934	914.318	353.924	83.7634	40.2225	0.3466	114.5334	114.3093	21.87
35	253.410	897.641	915.070	354.253	83.1285	40.2142	0.3495	114.5351	114.3116	22.07
36	254.156	898.301	915.777	354.559	82.5019	40.2067	0.3525	114.5366	114.3132	22.27
37	254.905	898.914	916.437	354.841	81.8834	40.1999	0.3554	114.5380	114.3144	22.47
38	255.660	899.479	917.050	355.096	81.2729	40.1939	0.3583	114.5393	114.3155	22.67
39	256.421	899.990	917.615	355.330	80.6701	40.1887	0.3612	114.5407	114.3165	22.87

TABLA 5.1 PERFIL DE PROPIEDADES Y FLUJOS DE LOS PLATOS DE UNA COLUMNA DE DESTILACION PARA PURIFICACION DE ISOCTANO (CONTINUACION)

PLATO	TEM °F	F LID mol/hr	F VAP mol/hr	EPM	CFS	DL lb/plate	DV lb/plate	PML	PMV	PSIA
40	257.189	1000.449	918.126	355.535	80.0747	40.1845	0.3641	114.5420	114.3175	23.07
41	257.965	1000.950	918.585	355.712	79.4864	40.1811	0.3570	114.5435	114.3184	23.27
42	258.750	1001.194	918.986	355.860	78.9049	40.1787	0.3696	114.5450	114.3194	23.47
43	259.543	1001.460	919.350	355.979	78.3202	40.1772	0.3727	114.5466	114.3204	23.67
44	260.347	1001.702	919.616	356.068	77.7618	40.1767	0.3755	114.5482	114.3214	23.87
45	261.159	1001.849	919.839	356.129	77.1994	40.1771	0.3784	114.5498	114.3224	24.07
46	261.982	1001.972	920.005	356.158	76.6470	40.1765	0.3812	114.5515	114.3234	24.27
47	262.814	1002.021	920.108	356.161	76.0932	40.1809	0.3840	114.5531	114.3245	24.47
48	263.656	1002.014	920.157	356.135	75.5490	40.1839	0.3868	114.5547	114.3256	24.67
49	264.508	1001.956	920.150	356.085	75.0107	40.1879	0.3896	114.5564	114.3267	24.87
50	265.368	1001.852	920.092	356.011	74.4784	40.1925	0.3923	114.5579	114.3279	25.07
51	266.235	1001.708	919.908	355.918	73.9522	40.1978	0.3951	114.5595	114.3289	25.27
52	267.109	1001.532	919.844	355.800	73.4322	40.2037	0.3978	114.5609	114.3300	25.47
53	267.987	1001.334	919.668	355.687	72.9189	40.2099	0.4005	114.5622	114.3311	25.67
54	268.867	1001.127	919.470	355.558	72.4121	40.2164	0.4033	114.5635	114.3322	25.87
55	269.749	1000.905	919.258	355.426	71.9125	40.2231	0.4060	114.5646	114.3333	26.07
56	270.629	1000.698	919.042	355.297	71.4201	40.2297	0.4087	114.5656	114.3343	26.27
57	271.504	1000.507	918.824	355.174	70.9355	40.2361	0.4114	114.5664	114.3353	26.47
58	272.374	1000.343	918.641	355.066	70.4598	40.2423	0.4141	114.5672	114.3363	26.67
59	273.227	1000.108	918.456	354.991	70.0009	40.2495	0.4183	114.5678	114.3372	26.87
60	274.086	1000.133	918.352	354.895	69.5303	40.2533	0.4195	114.5682	114.3380	27.07
61	274.924	1000.101	918.259	354.844	69.0789	40.2580	0.4222	114.5685	114.3388	27.27
62	275.747	1000.126	918.237	354.819	68.6361	40.2620	0.4249	114.5689	114.3396	27.47
63	276.555	1000.211	918.262	354.820	68.2020	40.2652	0.4276	114.5693	114.3403	27.67
64	277.347	1000.357	918.347	354.850	67.7766	40.2678	0.4304	114.5690	114.3410	27.87
65	278.121	1000.565	918.493	354.908	67.3597	40.2696	0.4331	114.5690	114.3417	28.07
66	278.877	1000.834	918.701	354.994	66.9511	40.2707	0.4358	114.5690	114.3423	28.27
67	279.617	1001.162	918.970	355.106	66.5505	40.2711	0.4386	114.5690	114.3429	28.47
68	280.339	1001.542	919.299	355.242	66.1577	40.2709	0.4414	114.5690	114.3434	28.67
69	281.046	1001.969	919.678	355.400	65.7723	40.2702	0.4441	114.5691	114.3440	28.87
70	281.739	1002.429	920.105	355.575	65.3936	40.2691	0.4469	114.5695	114.3447	29.07
71	282.422	1002.895	920.565	355.758	65.0214	40.2676	0.4497	114.5708	114.3455	29.27
72	283.101	1003.362	921.031	355.950	64.6540	40.2657	0.4525	114.5745	114.3477	29.47
73	283.783	1003.898	921.439	356.048	64.2893	40.2636	0.4553	114.5800	114.3524	29.67
74	284.542	1003.015	921.624	355.993	63.9171	40.2608	0.4581	114.6135	114.3642	29.87
75	285.461	1000.709	921.151	355.451	63.5205	40.2569	0.4608	114.6917	114.3755	30.07
76	286.856	993.478	918.845	355.000	63.0460	40.2498	0.4635	114.9071	114.4805	30.27
77	289.547	974.128	911.614	348.638	62.3554	40.2346	0.4659	115.4990	114.7129	30.47

Espaciamiento entre platos: 12 el mínimo y 18 el máximo

Caída de presión: 0.15 psi

En las siguientes hojas de datos de corridas, se muestran los datos necesarios para efectuar el diseño.

TABLA 5.2. PROPIEDADES Y FLUJOS DE LOS PLATOS QUE SE DIMENSIONARAN.

PLATO REAL	FLUJO		DENSIDAD		TENSION SUPERFICIAL dn/cm
	LIQUIDO gal/min	VAPOR pie <sup>3</sup> /seg	LIQUIDO lb/pie <sup>3</sup>	VAPOR lb/pie <sup>3</sup>	
1	281.919	97.924	40.466	0.233	14.0
42	297.147	92.502	40.302	0.320	14.5
43	347.640	91.454	40.317	0.323	14.5
120	348.838	82.355	40.235	0.466	15.0

HOJA DE CORRIDA  
PROGRAMA PLATO

DATOS DE LA COLUMNA

COLUMNA: *DA-1*      SECCION: *SUPERIOR*      PLATO: *1*

DATOS DE LAS CORRIENTES

	VAPOR	LIQUIDO
FLUJO pie <sup>3</sup> /s (gal/min)	<i>97.924</i>	<i>281.919</i>
DENSIDAD lb/pie <sup>3</sup>	<i>0.233</i>	<i>40.466</i>
TENSION SUPERFICIAL dn/cm		<i>14.0</i>

TIPO DE CORRIDA (DISEÑO O SIMULACION): *DISEÑO*

PARAMETROS DE DISEÑO

FACTOR DE INUNDAMIENTO: *0.82*

FACTOR DE GOTEADO: *0.60*

ALTURA DEL DERRAMADERO: *2.0 pulg.*

ESPESOR DEL PLATO: *0.074 pulg. (espesor cal. 14)*

DIAMETRO DE LA PERFORACION: *0.375 pulg.*

CAIDA DE PRESION MAXIMA DEL PLATO: *0.15 psi*

FACTOR DE DISMINUCION DE LA CAPACIDAD: *1.0*

ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS (pulg)      MINIMO: *12*      MAXIMO: *18*

SECCION DE SIMULACION

DATOS DE DISEÑO DEL PLATO

AREAS (pies<sup>2</sup>)      ACTIVA:      DE BAJANTES:      PERFORADA:

TRAYECTORIA DE FLUJO (pies)      LONGITUD:      ANCHO:

LONGITUD DEL VERTEDERO (pies):

ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS (pulg):

NUM. DE PASOS:      DIAMETRO (pies):

# DISEÑO O SIMULACION DE PLATOS PERFORADOS

TIPO DE CORRIDA: DISEÑO

## CONDICIONES DE OPERACION

### VAPOR

DENSIDAD	0.00373	g/cm <sup>3</sup>	0.23300	lb/pe <sup>3</sup>
FLUJO	9982.02	m <sup>3</sup> /h	97.92	pie <sup>3</sup> /seg

### LIQUIDO

DENSIDAD	0.64867	g/cm <sup>3</sup>	40.46600	lb/pe <sup>3</sup>
FLUJO	1067.063	l/min	281.9190	gal/min
TENSION SUPERFICIAL	14.00	dn/cm		

## CRITERIOS DE DISEÑO

INUNDACION MAXIMA POR ARRASTRE:	82.00	%
CAIDA DE PRESION MAXIMA POR PLATO	0.150	psig
RANGO DE OPERACION	40 - 82	%

## CARACTERISTICAS DE PLATO

### TIPO DE PLATO: PERFORADO

DIAMETRO	6.130	pies	1868.52	mm
ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS	18.000	pulg	457.20	mm
NUMERO DE PASOS	1			
FACTOR DE ARRASTRE	0.04709			

## AREAS

ACTIVA	27.249	pie2	2.534	m2
BAJANTES	2.663	pie2	.248	m2
PERFORADA	2.692	pie2	.250	m2
BAJO LA BAJANTE	1.119	pie2	.104	m2

## TRAYECTORIA DE FLUJO

LONGITUD	4.34	pies	1324.03	mm
ANCHO	5.57	pies	1698.87	mm

## VERTEDERO

LONGITUD	4.33	pies	1318.45	mm
ALTURA	2.00	pulg	50.80	mm

## BAJANTES

LONGITUD	1.24	pies	378.38	mm
ANCHO	4.33	pies	1318.45	mm

## HIDRAULICA DEL PLATO

ALTURA DE LIQUIDO EN LA BAJANTE	6.570	pulg	166.878	mm
ALTURA DE LIQUIDO SOBRE EL VERTEDERO	1.494	pulg	37.946	mm
CAIDA DE PRESION TOTAL DE PLATO	.114	psig	5.8976	mm Hg

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

NUMERO DE PERFORACIONES	3510			
ESP	1.136	pulg	28.8518	mm
DIAM. PERF.	.3750	pulg	9.5250	mm



DISEÑO O SIMULACION DE PLATOS PERFORADOS

TIPO DE CORRIDA: DISEÑO

CONDICIONES DE OPERACION

VAPOR

DENSIDAD	.00513	g/cm <sup>3</sup>	.32030	lb/ft <sup>3</sup>
FLUJO	9429.50	m <sup>3</sup> /h	92.50	ft <sup>3</sup> /seg

LIQUIDO

DENSIDAD	.64604	g/cm <sup>3</sup>	40.30200	lb/ft <sup>3</sup>
FLUJO	1124.7010	l/min	297.1470	gal/min
TENSION SUPERFICIAL	14.50	dn/cm		

CRITERIOS DE DISEÑO

INUNDACION MAXIMA POR ARRASTRE:	82.00	%
CAIDA DE PRESION MAXIMA POR PLATO	0.150	psig
RANGO DE OPERACION	40 - 82	%

CARACTERISTICAS DE PLATO

TIPO DE PLATO: PERFORADO

DIAMETRO	6.490	pies	1978.14	mm
ESFACIAMIENTO ENTRE PLATOS	18.000	pulg	457.20	mm
NUMERO DE PASOS	1			
FACTOR DE ARRASTRE	0.05016			

## AREAS

ACTIVA	30.158	pie2	2.805	m2
BAJANTES	2.985	pie2	.278	m2
PERFORADA	2.980	pie2	.277	m2
BAJO LA BAJANTE	1.254	pie2	.117	m2

## TRAYECTORIA DE FLUJO

LONGITUD	4.60	pies	1401.71	mm
ANCHO	5.90	pies	1798.53	mm

## VERTEDERO

LONGITUD	4.58	pies	1395.79	mm
ALTURA	2.00	pulg	50.80	mm

## BAJANTES

LONGITUD	1.23	pies	373.76	mm
ANCHO	4.58	pies	1395.79	mm

## HIDRAULICA DEL PLATO

ALTURA DE LIQUIDO EN LA BAJANTE	6.570	pulg	166.878	mm
ALTURA DE LIQUIDO SOBRE EL VERTEDERO	1.489	pulg	37.830	mm
CAIDA DE PRESION TOTAL DE PLATO	.114	psig	5.8898	mm Hg

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

NUMERO DE PERFORACIONES	3885			
ESP	1.136	pulg	28.8503	mm
DIAM. PERF.	.3750	pulg	9.5250	mm

HOJA DE CORRIDA  
PROGRAMA PLATO

DATOS DE LA COLUMNA

COLUMNA: *DA-1*

SECCION: *INFERIOR*

PLATO: *43*

DATOS DE LAS CORRIENTES

	VAPOR	LIQUIDO
FLUJO pie <sup>3</sup> /s (gal/min)	<i>91.454</i>	<i>347.640</i>
DENSIDAD lb/pie <sup>3</sup>	<i>0.320</i>	<i>40.302</i>
TENSION SUPERFICIAL dn/cm		<i>14.5</i>

TIPO DE CORRIDA (DISEÑO O SIMULACION): *DISEÑO*

PARAMETROS DE DISEÑO

FACTOR DE INUNDAMIENTO: *0.82*

FACTOR DE GOTEO: *0.60*

ALTURA DEL DERRAMADERO: *2.0 pulg.*

ESPESOR DEL PLATO: *0.074 pulg. (espesor cal. 14)*

DIAMETRO DE LA PERFORACION: *0.375 pulg.*

CAIDA DE PRESION MAXIMA DEL PLATO: *0.15 psi*

FACTOR DE DISMINUCION DE LA CAPACIDAD: *1.0*

ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS (pulg) MINIMO: *12* MAXIMO: *18*

SECCION DE SIMULACION

DATOS DE DISEÑO DEL PLATO

AREAS(pies<sup>2</sup>) ACTIVA: DE BAJANTES: PERFORADA:

TRAYECTORIA DE FLUJO (pies) LONGITUD: ANCHO:

LONGITUD DEL VERTEDERO (pies):

ESPACIMIENTO ENTRE PLATOS (pulg):

NUM. DE PASOS:

DIAMETRO (pies):

DISEÑO O SIMULACION DE PLATOS PERFORADOS

TIPO DE CORRIDA: DISEÑO

CONDICIONES DE OPERACION

VAPOR

DENSIDAD	.00518	g/cm <sup>3</sup>	.32300	lb/pe <sup>3</sup>
FLUJO	9322.47	m <sup>3</sup> /h	91.45	pie <sup>3</sup> /seg

LIQUIDO

DENSIDAD	.66451	g/cm <sup>3</sup>	41.45400	lb/pe <sup>3</sup>
FLUJO	1315.8180	l/min	347.6400	gal/min
TENSION SUPERFICIAL	14.50	dn/cm		

CRITERIOS DE DISEÑO

INUNDACION MAXIMA POR ARRASTRE:	82.00	%
CAIDA DE PRESION MAXIMA POR PLATO	0.150	psig
RANGO DE OPERACION	40 - 82	%

CARACTERISTICAS DE PLATO

TIPO DE PLATO:	PERFORADO
DIAMETRO	6.501 pies      1981.39 mm
ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS	18.000 pulg      457.20 mm
NUMERO DE PASOS	1
FACTOR DE ARRASTRE	0.04011

## AREAS

ACTIVA	30.292	pie2	2.817	m2
BAJANTES	2.995	pie2	.279	m2
PERFORADA	3.045	pie2	.283	m2
BAJO LA BAJANTE	1.258	pie2	.117	m2

## TRAYECTORIA DE FLUJO

LONGITUD	4.61	pies	1404.01	mm
ANCHO	5.91	pies	1801.49	mm

## VERTEDERO

LONGITUD	4.59	pies	1398.09	mm
ALTURA	2.00	pulg	50.80	mm

## BAJANTES

LONGITUD	1.23	pies	373.62	mm
ANCHO	4.59	pies	1398.09	mm

## HIDRAULICA DEL PLATO

ALTURA DE LIQUIDO EN LA BAJANTE	6.655	pulg	169.034	mm
ALTURA DE LIQUIDO SOBRE EL VERTEDERO	1.652	pulg	41.956	mm
CAIDA DE PRESION TOTAL DE PLATO	.114	psig	5.8943	mm Hg

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

NUMERO DE PERFORACIONES	3970			
ESP	1.126	pulg	28.6013	mm
DIAM. PERF.	.3750	pulg	9.5250	mm

HOJA DE CORRIDA  
PROGRAMA PLATO

DATOS DE LA COLUMNA

COLUMNA: *DA-1*      SECCION: *INFERIOR*      PLATO: *120*

DATOS DE LAS CORRIENTES

	VAPOR	LIQUIDO
FLUJO pie <sup>3</sup> /s      (gal/min)	<i>62.355</i>	<i>348.638</i>
DENSIDAD lb/pie <sup>3</sup>	<i>0.466</i>	<i>40.235</i>
TENSION SUPERFICIAL dn/cm		<i>15.0</i>

TIPO DE CORRIDA (DISEÑO O SIMULACION):

PARAMETROS DE DISEÑO

FACTOR DE INUNDAMIENTO: *0.82*

FACTOR DE GOTEÓ: *0.60*

ALTURA DEL DERRAMADERO: *2.0 pulg.*

ESPEJOR DEL PLATO: *0.074 pulg (esp. calibre 14)*

DIAMETRO DE LA PERFORACION: *0.375 pulg.*

CAIDA DE PRESION MAXIMA DEL PLATO: *0.15 psi*

FACTOR DE DISMINUCION DE LA CAPACIDAD: *1.0*

ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS (pulg)    MINIMO: *12*    MAXIMO: *18*

SECCION DE SIMULACION

DATOS DE DISEÑO DEL PLATO

AREAS (pies<sup>2</sup>)    ACTIVA:      DE BAJANTES:      PERFORADA:

TRAYECTORIA DE FLUJO (pies)    LONGITUD:      ANCHO:

LONGITUD DEL VERTEDERO (pies):

ESFACIAMIENTO ENTRE PLATOS (pulg):

NUM. DE PASOS:      DIAMETRO (pies):

DISEÑO O SIMULACION DE PLATOS PERFORADOS

TIPO DE CORRIDA: DISEÑO

CONDICIONES DE OPERACION

VAPOR

DENSIDAD	.00747	g/cm <sup>3</sup>	.46600	lb/ft <sup>3</sup>
FLUJO	6357.02	m <sup>3</sup> /h	62.36	ft <sup>3</sup> /seg

LIQUIDO

DENSIDAD	.64496	g/cm <sup>3</sup>	40.23460	lb/ft <sup>3</sup>
FLUJO	1319.595	l/min	348.6380	gal/min
TENSION SUPERFICIAL	15.00	dn/cm		

CRITERIOS DE DISEÑO

INUNDACION MAXIMA POR ARRASTRE:	82.00	%
CAIDA DE PRESION MAXIMA POR PLATO	0.150	psig
RANGO DE OPERACION	40 - 82	%

CARACTERISTICAS DE PLATO

TIPO DE PLATO:	PERFORADO	
DIAMETRO	6.090	pies 1856.14 mm
ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS	18.000	pulg 457.20 mm
NUMERO DE PASOS	1	
FACTOR DE ARRASTRE	0.03113	

## AREAS

ACTIVA	25.664	pie2	2.387	m2
BAJANTES	2.628	pie2	.244	m2
PERFORADA	2.619	pie2	.244	m2
BAJO LA BAJANTE	1.104	pie2	.103	m2

## TRAYECTORIA DE FLUJO

LONGITUD	4.32	pies	1315.26	mm
ANCHO	5.54	pies	1687.61	mm

## VERTEDERO

LONGITUD	4.30	pies	1309.71	mm
ALTURA	2.00	pulg	50.80	mm

## BAJANTES

LONGITUD	1.24	pies	378.90	mm
ANCHO	4.30	pies	1309.71	mm

## HIDRAULICA DEL PLATO

ALTURA DE LIQUIDO EN LA BAJANTE	6.700	pulg	170.173	mm
ALTURA DE LIQUIDO SOBRE EL VERTEDERO	1.729	pulg	43.914	mm
CAIDA DE PRESION TOTAL DE PLATO	.108	psig	5.5816	mm Hg

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

NUMERO DE PERFORACIONES	3414			
ESP	1.118	pulg	28.3883	mm
DIAM. PERF.	.3750	pulg	9.5250	mm

## Resultados.

Analizando las hojas de resultados de los platos dimensionados para la zona superior, los platos 1 y 42, vemos que la diferencia que existe en sus características es mínima.

El plato 1 tiene las siguientes características:

Diámetro	6.13 pies
No de pasos	1 paso
Espaciamiento entre platos	18 pulg
Area activa	27.249 pies <sup>2</sup>
Area de Bajantes	2.663 pies <sup>2</sup>
Area perforada	2.692 pies <sup>2</sup>

Y para el plato 42:

Diámetro	6.49 pies
No de pasos	1 paso
Espaciamiento entre platos	18 pulg
Area activa	30.158 pies <sup>2</sup>
Area de Bajantes	2.985 pies <sup>2</sup>
Area perforada	2.980 pies <sup>2</sup>

El área de sección transversal se fijará igual a el diámetro mayor de la zona y se redondeará a un diámetro estándar. Así este diámetro es que le corresponderá a los platos de la zona.

Analizando los platos de la zona inferior, los platos 43 y 120 vemos que existen dos diámetros:

EL plato 43 tiene las siguientes características:

Diámetro	6.501 pies
No de pasos	1 paso
Espaciamiento entre platos	18 pulg
Area activa	30.292 pies <sup>2</sup>
Area de Bajantes	2.995 pies <sup>2</sup>
Area perforada	3.045 pies <sup>2</sup>

El plato 120:

Diámetro	6.09 pies
No de pasos	1 paso
Espaciamiento entre platos	18 pulg
Area activa	25.664 pies <sup>2</sup>
Area de Bajantes	2.628 pies <sup>2</sup>
Area perforada	2.619 pies <sup>2</sup>

De la misma forma en que se procedió en la zona superior se hará para la zona inferior. El área de sección transversal se fijará igual a el diámetro mayor de la zona y se redondeará a un diámetro estándar. Así este diámetro es que le corresponderá a los platos de la zona.

Especificaciones de construcción:

El espaciamiento recomendado es aproximadamente 3do o también puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$\text{Esp} = \left[ 0.9085 \text{ do}^2 \frac{A_a}{A_h} \right]$$

donde:

do: diámetro de la perforación, pulg

Aa: área activa, pies<sup>2</sup>

Ah: área perforada, pies<sup>2</sup>

Esp: Distancia entre centro y centro de cada perforación, pulgadas

La longitud de la bajante se puede calcular de la siguiente relación:

$$Ld = \frac{w1 \ ts - Aud}{w1}$$

donde:

W1: longitud del vertedero, pies

ts: espaciamento entre platos, pies

Aud: área bajo la bajante, pies<sup>2</sup>

Las especificaciones para la construcción de los platos de la zona superior y de la zona inferior se ilustran en las figuras 5.11 y 5.12.

FIGURA 5.11 PLATOS DE LA ZONA SUPERIOR.

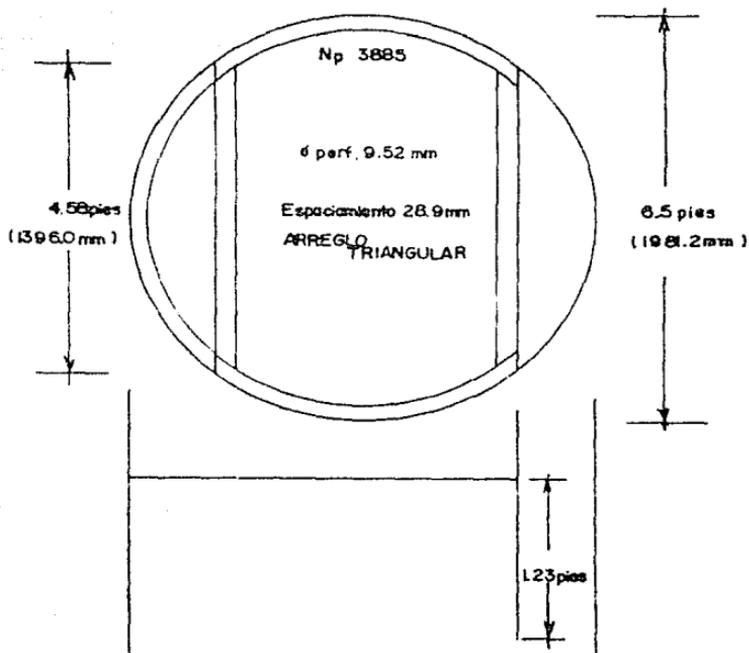
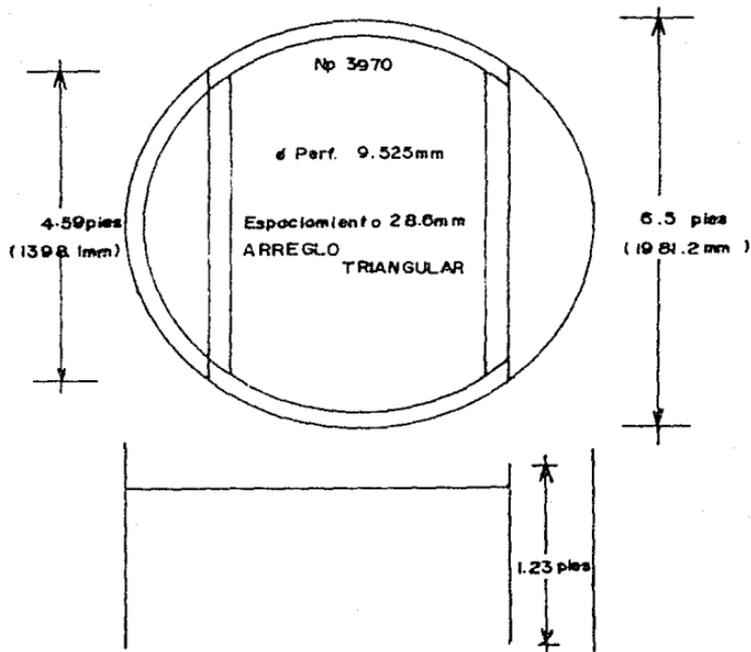


FIGURA 5.12 PLATOS DE LA ZONA INFERIOR.



## CAPITULO VI

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se efectuó una recopilación sobre el material disponible para el diseño de los internos de una columna de platos, específicamente para el caso de platos perforados.

Se reunieron los conceptos básicos acerca del diseño hidráulico de platos, así como las recomendaciones suficientes para efectuarlo.

Las correlaciones y los criterios de diseño son suficientes para efectuar el diseño preliminar de los internos de una columna de platos.

En este trabajo se realizó un programa con dichas correlaciones por lo que se puede hacer el diseño de manera más rápida y sencilla. Se planteó un problema para ejemplificar el uso de este programa, el cual consiste en una columna de destilación para purificar isooctano.

De los resultados de la ejecución del programa se encontró que la columna tiene platos de un paso con diámetro constante a través de toda la columna. Lo anterior se debe a que los flujos y propiedades de los platos son similares de una zona a otra. Además la capacidad manejada en los platos es pequeña.

Para tener una mejor visión acerca del diseño de platos perforados se recomienda buscar problemas para probar las opciones del programa, que tengan condiciones fuera de lo normal; la capacidad que manejen los platos sea grande y que el perfil de flujos y propiedades varíe de zona a zona para obtener una columna con transiciones de diámetro y platos multipaso.

## BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA:

1. Chase J. D. *Sieve Tray Design Part I*  
Chem. Eng. Jul 31, 1967 Pag. 105
2. Chopey. *Manual de calculos en Ingeniería Química*  
1a. edición  
Ed. Mc. Graw Hill. 1987
3. D. McCracken Daniel *Programación FORTRAN IV*  
2a. edición  
LIMUSA 1980
4. Economopoulos A. P. *Computer Design of Sieve Trays and Tray Columns*  
Chem. Eng. Dec 4, 1978 Pag. 109
5. Instituto Politécnico Nacional (ESIQIE) *Diseño de platos perforados* 1975
6. Kister H. Z. *Design and Layout for Sieve and Valve Trays*  
chem. Eng. Sep 8, 1980 Pag. 119
7. Kister H. Z. *Downcover Design of Distillation Tray Columns*  
chem. Eng. Dec. 29, 1980 Pag. 55
8. Kister H. Z. *Guidelines for Designing Distillation Column Internals* chem. Eng. May 19, 1980 Pag. 138
9. Kister H. Z. *Inspection Assures Trouble Free Operation*  
chem. Eng. Feb. 9, 1981 Pag. 107
10. Kister H. Z. *Mechanical Requirements for Sieve and Valve Trays* chem. Eng. Nov. 17, 1980 Pag. 283

11. Kister H. Z. *Outlets and Internal Devices for Distillation Columns* Chem. Eng. Jul 28, 1980 Pag. 79

12. Ludwig E. E. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants* Vol. II. Gulf Publishing, Houston, 1979.

13. Luthe *Métodos Numéricos*  
Ed. LIMUSA, 1980

14. Perry R. H. Chilton C. H. *Chemical Engineers Handbook*  
5a. edición.  
Mc Graw Hill. New York 1973

15. Peters and Timmerhaus K. D. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*  
3a. edición  
Mc Graw Hill Kogakusha 1980

16. Treybal R. E. *Mass Transfer Operations*  
2a. edición  
Mc Graw Hill Kogakusha 1968

17. Van Winkle M. . *Distillation*  
Mc Graw Hill. New York 1967

18. Ballast Tray Design Manual  
Bull 4900, 3a. ed. Glitsch Inc. 1974

19. Flexitray Design Manual  
Bull 960, Koch Eng. Co. 1960

ANEXO 1

PROGRAM PLATO

PROGRAMA ELABORADO POR MARIA CONCEPCION MORALES GARAY  
EN COMPUTADORA PERSONAL (PRINTAFORM)  
MAYO-AGOSTO DE 1988

DECLARACION DE VARIABLES

COMMON/PROPS/VCFS,DV,GPM,DL,SIGMA  
COMMON/DEF/FF,FW,HW,TD,DH,DPMAX,SF,TSMIN,TSMAX  
COMMON/HID/HL,HSIG,HOW,HUD  
INTEGER F,NP,T,OP3,OPS,OP1  
CHARACTER\*12 TI

APERTURA DE ARCHIVO DE IMPRESION

OPEN (3,FILE='RESUL.DAT',STATUS='NEW')

SECCION I LECTURA DE DATOS

ENTRADA AL PROGRAMA

WRITE(\*,\*)' PROGRAMA PARA DISEÑAR LOS PLATOS PERFORADOS'  
WRITE(\*,\*)' DE UNA COLUMNA DE DESTILACION'

2 CONTINUE

WRITE(\*,\*)' DATOS DE LAS CORRIENTES'  
WRITE(\*,\*)' CORRIENTE DE VAPOR '  
WRITE(\*,\*)' FLUJO DE VAPOR EN (pie^3/s)'  
READ(\*,\*)VCFS  
WRITE(\*,\*)' DENSIDAD DEL VAPOR (lb/pie^3)'  
READ(\*,\*)DV

WRITE(\*,\*)' CORRIENTE DE LIQUIDO'  
WRITE(\*,\*)' FLUJO DE LIQUIDO EN (gal/min)'  
READ(\*,\*)GPM  
WRITE(\*,\*)' DENSIDAD DEL LIQUIDO (lb/pie^3)'  
READ(\*,\*)DL  
WRITE(\*,\*)' TENSION SUPERFICIAL (dinas/cm)'  
READ(\*,\*)SIGMA  
WRITE(\*,\*)  
WRITE(\*,\*)

10 WRITE(\*,\*)' TIPO DE CORRIDA:'  
WRITE(\*,\*)' DISEÑO (1) o SIMULACION (2)'  
READ(\*,\*)OP1  
IF(OP1.EQ.1)GO TO 30  
IF(OP1.EQ.2)GOTO 50  
GO TO 10  
30 TI='DISEÑO'

SECCION II DISEÑO

VARIABLES TOMADAS POR DEFAULT PARA  
CONDICIONES NORMALES DE OPERACION

PARAMETROS DE DISEÑO  
 FACTOR DE INUNDAMIENTO  
 FACTOR DE LAGRIMEO O GOTEO  
 ALTURA DEL VERTEDERO  
 ESPESOR DEL PLATO  
 DIAMETRO DEL ORIFICIO  
 CAIDA DE PRESION MAXIMA DEL PLATO  
 FACTOR SF  
 ESPACIAMIENTO MINIMO Y MAXIMO DE PLATO

FF=0.82  
 FW=0.60  
 HW=2.0  
 TD=0.074  
 DH=0.375  
 DPMAX=0.15  
 SF=1.0  
 TSMIN=12  
 TSMAX=18  
 TD=0.1028

```

32 WRITE(*,*)
   WRITE(*,*)
   WRITE(*,*)' CUANDO SE TIENEN LAS SIGUIENTES CONDICIONES:'
   WRITE(*,*)'   A.- ALTAS PRESIONES'
   WRITE(*,*)'   B.- ALTO VACIO'
   WRITE(*,*)'   C.- REACCION QUIMICA'
   WRITE(*,*)' DEBERAN PROPORCIONARSE LOS PARAMETROS '
   WRITE(*,*)' DE DISEÑO DEL PLATO'
   WRITE(*,*)
   WRITE(*,*)
36 WRITE(*,*)' SU SISTEMA PRESENTA ALGUNO DE '
   WRITE(*,*)' ESTOS CASOS SI(1) o NO(2)'
   READ(*,*)OP3
   IF(OP3.EQ.1)GO TO 38
   IF(OP3.EQ.2)GO TO 39
   GO TO 36
38 WRITE(*,*)
   WRITE(*,*)' PARAMETROS DE DISEÑO'
   WRITE(*,*)
   WRITE(*,*)' FACTOR DE INUNDAMIENTO'
   READ(*,*)FF
   WRITE(*,*)' FACTOR DE LAGRIMEO O GOTEO'
   READ(*,*)FW
   WRITE(*,*)' ALTURA DEL VERTEDERO'
   READ(*,*)HW
   WRITE(*,*)' ESPESOR DEL PLATO (pulg) '
   READ(*,*)TD
  
```

```
WRITE(*,*) ' DIAMETRO DEL ORIFICIO (pulg) '  
READ(*,*)DH  
WRITE(*,*) ' CAIDA DE PRESION MAXIMA DEL PLATO (psi) '  
READ(*,*)DPMAX  
WRITE(*,*) ' FACTOR DE DISM. DE CAPACIDAD '  
READ(*,*)SF  
WRITE(*,*) ' ESPACIAMIENTO MINIMO (pulg) '  
READ(*,*)TSMIN  
WRITE(*,*) ' ESPACIAMIENTO MAXIMO DE PLATO (pulg) '  
READ(*,*)TSMAX  
39 CONTINUE
```

```
C  
C LLAMADA DE LA SUBROUTINA PARA DISEÑO DEL PLATO  
C
```

```
C CALL DISE(AAC,AD,WL,TS,CO,AH,DT,NP,FPL,WFP)  
C
```

```
T=2
```

```
GO TO 100
```

```
50 T=1
```

```
TI='SIMULACION'
```

```
C  
C C  
C C SECCION III SIMULACION  
C C
```

```
C LECTURA DE LOS DATOS DEL PLATO  
C
```

```
WRITE(*,*) ' DATOS DE DISEÑO DEL PLATO '  
WRITE(*,*) ' DIAMETRO (pies) '  
READ(*,*)DT  
WRITE(*,*) ' AREA ACTIVA (pies2) '  
READ(*,*)AAC  
WRITE(*,*) ' AREA DE BAJANTES (pies2) '  
READ(*,*)AD  
WRITE(*,*) ' AREA DE PERFORACIONES (pies2) '  
READ(*,*)AH  
WRITE(*,*) ' LONGITUD DEL VERTEDERO (pies) '  
READ(*,*)WL  
WRITE(*,*) ' LONGITUD DE LA TRAYECTORIA DE FLUJO (pies) '  
READ(*,*)FPL  
WRITE(*,*) ' ANCHO DE LA TRAYECTORIA DE FLUJO (pies) '  
READ(*,*)WFP  
WRITE(*,*) ' ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS (pulg) '  
READ(*,*)TS  
WRITE(*,*) ' NO DE PASOS DE FLUJO DEL PLATO (#) '  
READ(*,*)NP
```

```
C  
C C  
C C CALCULO DEL FACTOR DE INUNDAMIENTO  
C
```

```
FW=0.60
```

```
HW=2.0
```

```
TD=0.074
```

```
DH=0.375
```

```

DFMAX=0.15
SF=1.0
TSMIN=12
TSMAX=18
SF=1.0
VLOAD=VCFS*(DV/(DL-DV))**0.5
VD1=250*SF
VD2=41*(DL-DV)**0.5*SF
VD3=7.5*(TS*(DL-DV))**0.5*SF
IF(VD1.LT.VD2)GOTO 60
IF(VD2.LT.VD3)GOTO 55
VD=VD3
GO TO 70
55 VD=VD2
GO TO 70
60 IF(VD1.LT.VD3) GO TO 65
VD=VD3
GO TO 70
65 VD=VD1
70 CAF01=TS**0.65*DV**0.167/12
CAF02=0.3174+0.04122*(TS-12)**0.483-.000001*DV
*(245+661*TS)
CAF03=0.595-0.0596*DV
IF(CAF01.LT.CAF02)GO TO 80
IF(CAF02.LT.CAF03)GO TO 75
CAF0=CAF03
GO TO 90
75 CAF0=CAF02
GO TO 90
80 IF(CAF01.LT.CAF03)GO TO 85
CAF0=CAF03
GO TO 90
85 CAF0=CAF01
90 CONTINUE
FF=(VLOAD/((AAC*CAF0*SF-AD*VD*FPL/1083)*(AD*VD/GPM)
**0.6))**0.625

```

```

C
C      LLAMADA DE LA SUBROUTINA PARA CALCULAR EL FACTOR DE CORRECCION
C      PARA PLATOS DE UN PASO
C

```

```

IF(NP.GT.1)GOTO 91
CALL FACDR(GPM,DT,WL,FAC)
GOTO 92

```

```
91 FAC=1.0
```

```

92 HOW=0.092*FAC*(GPM/WL)**0.6667
HSIG=0.04*SIGMA/(DL*DH)
FS=VCFS/AAC*DV**0.5
BETA=0.977-0.619*FS+0.341*FS**2.0-0.0636*FS**3.0
HL=BETA*(HW+HOW)
AUD=0.42*AD
HUD=0.558*(GPM/(448.8*AUD))**2.0

```

```
C
```

LLAMADA A LAS SUBROUTINAS PARA CALCULAR EL AREA MAXIMA DE  
PERFORACION MAXIMA Y MINIMA

CALL APERMA(HOW,HL,HSIG,AAC,CO,AHMAX)  
CALL APERMI(CO,HOW,HL,HSIG,HUD,TS,OP1,AAC,AHMIN)  
IF (AH.LT.AHMIN)GO TO 95  
IF (AH.GT.AHMAX)GO TO 95

F=1  
GO TO 100

95 F=2

SECCION IV COMPORTAMIENTO DEL PLATO

100 CONTINUE

ARRASTRE DE LIQUIDO

FLV=GPM/(448.8\*VCFS)\*(DL/DV)\*\*0.5  
ZA=-0.132+0.654\*FF  
ZB=-(6.692+1.956\*FF)\*(FLV)\*\*ZA  
E=EXP(ZB)

LLAMADA A SUBROUTINA QUE DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO DEL PLATO

CALL CTRAY(CO,AH,AAC,HL,HSIG,HOW,HUD,HLD,HT,U)

IMPRESION DE RESULTADOS

DHM=DH\*25.4  
AUD=0.42\*AD  
DVM=DV\*0.01603  
FVM=VCFS\*101.9406  
DLM=DL\*0.01603  
FLM=GPM\*3.785  
DTM=DT\*304.8  
TSP=TS  
TSM=TS\*25.4  
AAM=AAC\*0.093  
ADME=AD\*0.093  
AHM=AH\*0.093  
FPLM=FPL\*304.8  
WFPM=WFP\*304.8  
WLM=WL\*304.8  
HWM=HW\*25.4  
HLDME=HLD\*25.4  
HOWME=HOW\*25.4  
HTME=HT\*51.7  
TDME=TD\*25.4  
DHME=DH\*25.4  
AUDME=AUD\*0.093

```

FF=FF*100
PERF=AH*4*144/(3.1416*DH**2)
IPERF=INT(PERF)
PITCH=(0.9065*DH**2*AAC/AH)**0.5
PITCHM=PITCH*25.4
ALD=(WL*TS/12-AUD)/WL
ALDM=ALD*12*25.4
IF (OPS.EQ.1)GO TO 104
WRITE(3,160)
104 WRITE(3,165) TI
WRITE(3,170) DVM, DV
WRITE(3,180) FVM, VCFS, DLM, DL
WRITE(3,190) FLM, GPM, SIGMA
WRITE(3,200) FF, DPMAX
WRITE(3,210) DT, DTM
WRITE(3,220) TSP, TSM, NP, E
WRITE(3,240) AAC, AAM
WRITE(3,250) AD, ADME
WRITE(3,260) AH, AHM
WRITE(3,270) AUD, AUDME
WRITE(3,280) FPL, FPLM
WRITE(3,290) WFF, WFFM, WL, WLM
WRITE(3,300) HW, HWM
WRITE(3,305) ALD, ALDM, WL, WLM
WRITE(3,310) HLD, HLDME
WRITE(3,320) HOW, HOWME
WRITE(3,330) HT, HTME
WRITE(3,340) IPERF, PITCH, PITCHM, DH, DHM
IF (OP1.EQ.1)GOTO 500
160 FORMAT(///,10X,'DISEÑO Y SIMULACION ',/,10X,'DE PLATOS PERFORADOS
$')
165 FORMAT(/////,10X,'TIPO DE CORRIDA: ',A12)
170 FORMAT(/////,6X,'CONDICIONES DE OPERACION',/,10X,'VAPOR',/,
$15X,'DENSIDAD',5X,F8.5,' g/cm3',8X,F8.5,' lb/pt3')
180 FORMAT(/,15X,'FLUJO',4X,F12.2,' m3/h',4X,F12.2,' pie3/seg'
$,/,10X,'LIQUIDO',/,15X,'DENSIDAD',5X,F8.5,' g/cm3',7X,F8.5,
$' lb/pt3')
190 FORMAT(/,15X,'FLUJO',4X,F12.4,' l/min',3X,F12.4,' gal/min',/,
$15X,'TENSION',/,15X,'SUPERFICIAL',2X,F8.3,' dn/cm')
200 FORMAT(///,5X,'CRITERIOS DE DISEÑO:',/,15X,'INUNDACION MAXIMA'
$,/,15X,'POR ARRASTRE:',7X,F6.3,' %',/,15X,'CAIDA DE PRESION'
$,/,15X,'MAXIMA POR PLATO',4X,F6.3,' psig')
210 FORMAT(/,15X,'RANGO DE OPERACION 40 - 82 %',/,5X,
$'CARACTERISTICAS DE PLATO',/,15X,'TIPO DE PLATO: PERFORADO',
$,/,15X,'DIAMETRO',5X,F8.3,' pies',2X,F10.2,' mm')
220 FORMAT(/,15X,'ESPACIAMIENTO',/,15X,'ENTRE PLATOS',1X,F8.3,' pulg'
$,2X,F10.2,' mm',/,15X,'NUMERO DE PASOS',1X,12,/,15X,'FACTOR',
$,/,15X,'DE ARRASTRE',5X,F7.5)
240 FORMAT(///,5X,'AREAS',/,15X,'ACTIVA',7X,F8.3,' pie2',
$5X,F8.3,' m2')
250 FORMAT(/,15X,'BAJANTES',5X,F8.3,' pie2',4X,F8.3,' m2')
260 FORMAT(/,15X,'PERFORADA',4X,F8.3,' pie2',4X,F8.3,' m2')
270 FORMAT(/,15X,'BAJO LA',/,15X,'BAJANTE',6X,F8.3,' pie2',

```

```

$4X,F8.3,' m2')
280 FORMAT(///.6X,'TRAYECTORIA DE FLUJO'///.15X,'LONGITUD'.4X,F10.2,
$' pies',3X,F10.2,' mm')
290 FORMAT(/.15X,'ANCHO',7X,F10.2,' pies',3X,F10.2,' mm',///.5X,
$'VERTEDERO'///.15X,'LONGITUD'.4X,F8.2,' pies',5X,F10.2,' mm')
305 FORMAT(///.5X,'BAJANTES'///.15X,'LONGITUD'.4X,F8.2,' pies',5X,
$F10.2,' mm'///.15X,'ANCHO'.7X,F8.2,' pies',5X,F10.2,' mm')
300 FORMAT(/.15X,'ALTURA'.6X,F8.2,' pulg',4X,F10.2,' mm')
310 FORMAT(///.5X,'HIDRAULICA DEL PLATO'///.15X,'ALTURA DE LIQUIDO'
$,/.15X,'EN LA BAJANTE'.7X,F8.3,' pulg',3X,F8.3,' mm')
320 FORMAT(/.15X,'ALTURA DE LIQUIDO',/.15X,'SOBRE EL VERTEDERO'.2X,
$F8.3,' pulg',3X,F8.3,' mm')
330 FORMAT(/.15X,'CAIDA DE PRESION',/.15X,'TOTAL DE PLATO'.5X,F8.3
$, ' psig',3X,F9.4,' mm Hg')
340 FORMAT(/.5X,'ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCION'///.15X,
$'NUMERO DE ',/.15X,'PERFORACIONES',3X ,18,/.15X,'PITCH',.15X,
$F8.3,' pulg',3X,F9.4,' mm'///.15X,'DIAM. PERF.',9X,F8.4,' pulg'
$,3X,F9.4,' mm')
500 IF(OP1.EQ.1)GOTO 500
IF(F.EQ.2)GOTO 505
IF(F.EQ.1)GO TO 510
505 WRITE(3,560)AHMAX,AHMIN
GO TO 550
510 WRITE(3,570)
550 CONTINUE
560 FORMAT(///.10X,'EL AREA DE PERFORACIONES NO ESTA ENTRE ',
$'LOS LIMITES ADECUADOS ',///.10X,'EL AREA DE PERFORACIONES'
$, ' DEBE ESTAR ENTRE :',4X,F10.3,4X,F10.3,2X,'pies2')
570 FORMAT(///.10X,'EL AREA DE PERFORACIONES ESTA DENTRO DE LOS LIMITES
$ ADECUADOS')
580 WRITE(*,*) 'DESEA REALIZAR OTRO DISEÑO O SIMULACION '
WRITE(*,*) ' SI(1) o NO(2)? '
READ (*,*)OPS
IF(OPS.EQ.1)GO TO 2
IF(OPS.EQ.2)GO TO 600
GO TO 580
600 STOP
END

```

```

SUBROUTINA PARA EL DISEÑO DEL PLATO

```

```

SUBROUTINE DISE(AAC,AD,WL,TS,CO,AH,DT,NP,FPL,WFP)
COMMON/PROPS/VCFS,DV,GPM,DL,SIGMA
COMMON/DEF/FF,FW,HW,TD,DH,DPMAX,SF,TSMIN,TSMAX
COMMON/HID/HL,HSIG,HOW,HUD

```

```

LLAMADA A LA SUBROUTINA TSG PARA CALCULAR LA GEOMETRIA DEL PLATO

```

```

NP=1
CALL TSG(NP,AAC,AD,WL,FPL,WFP,DT)
IF(NP.NE.1)GOTO 2

```

LLAMADA A SUBROUTINA PARA CALCULAR EL FACTOR DE CORRECCION PARA  
 PLATOS SEGMENTADOS DE UN PASO

CALL FACDR (GPM, DT, WL, FAC)

GO TO 3

FAC=1.0

CONTINUE

CRESTA DEL LIQUIDO

HOW=0.092\*FAC\*(GPM/WL)\*\*0.6667

HSIG=0.04\*SIGMA/(DL\*DH)

FS=(VCFS/AAC)\*(DV)\*\*0.5

BETA=0.977-0.619\*FS+0.341\*FS\*\*2-0.0636\*FS\*\*3

HL=BETA\*(HW+HOW)

AUD=0.42\*AD

HUD=0.558\*(GPM/(448.8\*AUD))\*\*2

LLAMADA A SUBROUTINAS PARA CALCULAR EL AREA  
 DE PERFORACIONES OPTIMO

CALL APERMA (HOW, HL, HSIG, FAC, CO, AHMAX)

CALL APERMI (CO, HOW, HL, HSIG, HUD, TS, DP1, AAC, AHMIN)

IF (AHMIN.LT.AHMAX) GO TO 20

AH=AHMAX

GOTO 30

AH=AHMIN

HTMD=HL+HSIG+(0.186/CO\*\*2)\*((VCFS/FF)/AH)\*\*2\*(DV/DL)\*  
 \*(1-(AH/AAC)\*\*2)

TSMD=2\*(DL/(DL-DV))\*(HTMD+HUD/FF\*\*2)+HW+2\*(HOW/(FF\*\*.6666))

IF (TSMD.GT.TSMIN) GOTO 35

TS=TSMIN

GOTO 40

TS=TSMD

IF ((TS-10.0).LT.2.0) GOTO 41

IF ((TS-12.0).LT.2.0) GOTO 42

IF ((TS-14.0).LT.2.0) GOTO 43

IF ((TS-16.0).LT.2.0) GOTO 44

IF ((TS-18.0).LT.2.0) GOTO 45

IF ((TS-20.0).LT.2.0) GOTO 46

TS=10.0

GOTO 60

TS=12.0

GOTO 60

TS=14.0

GOTO 60

TS=16.0

GOTO 60

TS=18.0

GOTO 60

TS=20.0

TTD=(1/(FF\*FW))\* (AHMAX/AH)

RETURN

END

C  
C  
C

## SUBROUTINA PARA CALCULAR LA GEOMETRIA DEL PLATO

```
SUBROUTINE TSG(NP,AAC,AD,WL,FPL,WFP,DT)
COMMON/PROPS/VCFS,DV,GPM,DL,SIGMA
COMMON/DEF/FF,FW,HW,TD,DH,DPMAX,SF,TERMIN,TSMAX
CICLO DE ITERACION PARA CALCULAR EL AREA ACTIVA DEL PLATO
VLOAD=VCFS*(DV/(DL-DV))**.5
FLV=(GPM/(488.8*VCFS))
CAF01=0.118*EXP(0.0479*TSMAX)
CAF02=0.425*EXP(0.047*TSMAX)*(0.1092-0.058*ALOG(FLV))
IF(CAF01.LT.CAF02)GO TO 100
CAF0=CAF01
GOTO 110
100 CAF0=CAF02
110 SF=(SIGMA/20)**0.2
AAS=VLOAD/(CAF0*SF*FF)
120 CALL AREABA(AAS,AD)
AT=AAS+2*AD
DT=(AT/0.7854)**0.5
140 CALL GEOM(AAS,AD,NP,DT,AT,WL,FPL,WFP)
AT=DT**2*3.141592564/4.0
160 CALL AREAAC(VLOAD,FPL,AAC)
IF((AAS-AAC)/AAC).LT.0.01) GO TO 170
AAS=AAC
GO TO 120
170 IF((GPM/WFP).LE.96.0) GO TO 200
AT=AAC+2*AD
NPMAX=0.377*AT**.5
NPMAX=INT(NPMAX)+1.0
IF(NP.GT.NPMAX.OR.NP.GT.5) GO TO 180
NP=NP+1
GO TO 140
180 IF(GPM/WFP.LE.240) GO TO 200
STOP
200 RETURN
END
```

C  
C  
C  
C  
C

## SUBROUTINA PARA CALCULAR LAS DIMENSIONES DEL VERTEDERO Y LA TRAYECTORIA DE FLUJO

```
SUBROUTINE GEOM(AAS,AD,NP,DT,AT,WL,FPL,WFP)
CALL CUER(NP,AT,AD,DT,HSD)
WLSD=2*(HSD*(DT-HSD))**.5
WL=WLSD+DT*(NP-1)**0.946
FPL=(DT-2*HSD-2*(AD/DT))*(NP-1)**0.054*(1-(ADSD/AD))/NP
WFP=AAS/FPL
RETURN
END
```

C  
C  
C

## SUBROUTINA PARA CALCULAR EL AREA ACTIVA DEL PLATO

```

C
SUBROUTINE AREAAC (VLOAD, FPL, AAC)
COMMON/PROPS/VCFS, DV, GPM, DL, SIGMA
COMMON/DEF/FF, FW, HW, TD, DH, DPMAX, SF, TSMIN, TSMAX
CAF01= (TSMAX) **0.65*(DV) **0.167/12
CAF02=0.3174+0.04122*(TSMAX-12) **0.483-1.0E-06*DV*(245+661*TSMAX)
CAF03=0.595-0.0596*DV
IF (CAF01.LT.CAF02)GOTO 20
IF (CAF02.LT.CAF03)GOTO 10
CAF0=CAF03
GOTO 40
10 CAF0=CAF02
GOTO 40
20 IF (CAF01.LT.CAF03)GOTO 30
CAF0=CAF03
GOTO 40
30 CAF0=CAF01
40 AAC= (VLOAD+GPM*(FPL/1083))/ (CAF0*SF*FF)
RETURN
END

```

C  
C  
C  
C  
SUBROUTINA PARA CALCULAR EL AREA DE LAS BAJANTES

```

SUBROUTINE AREAABA (AAS, AD)
COMMON/PROPS/VCFS, DV, GPM, DL, SIGMA
COMMON/DEF/FF, FW, HW, TD, DH, DPMAX, SF, TSMIN, TSMAX
VD1=250*SF
VD2=41*(DL-DV) **0.5*SF
VD3=7.5*((DL-DV) *TSMAX) **0.5*SF
IF (VD1.LT.VD2)GOTO 30
IF (VD2.LT.VD3)GOTO 10
VD=VD3
GOTO 40
10 VD=VD2
GOTO 40
30 IF (VD1.LT.VD3)GOTO 35
VD=VD3
GOTO 40
35 VD=VD1
40 ADP=GPM/(VD*FF)
IF ((2*ADP).LT.(0.11*AAS))GOTO 50
ADM=0.11*AAS
GOTO 55
50 ADM=2*ADP
55 IF (ADM.GT.ADP)GOTO 60
AD=ADP
GOTO 65
60 AD=ADM
65 RETURN
END

```

C  
C

SUBROUTINA PARA CALCULAR EL AREA DE PERFORACIONES MAXIMA

```

SUBROUTINE APERMA(HOW,HL,HSIG,AAC,CO,AHMAX)
COMMON/PROPS/VCFS,DV,GPM,DL,SIGMA
COMMON/DEF/FF,FW,HW,TD,DH,DPMAX,SF,TSMIN,TSMAX
A=880.6
B=-67.7*(DH/TD)
C=7.32*(DH/TD)**2.0
D=-0.338*(DH/TD)**3.0
CO=(A+B+C+D)/1000.0
HTMIN=HL+0.35*(HW+HOW)**0.573
AMAX=(FW*VCFS)/((FW*VCFS/AAC)**2+5.38*CO**2*(DL/DV)
***(HTMIN-HL-HSIG)**0.5
IF((0.15*AAC).GT.AMAX)GOTO 10
AHMAX=0.15*AAC
GOTO 15
10 AHMAX=AMAX
15 RETURN
END

```

SUBROUTINA PARA CALCULAR EL AREA DE PERFORACIONES MINIMA

```

SUBROUTINE APERMI(CO,HOW,HL,HSIG,HUD,TS,DP1,AAC,AHMIN)
COMMON/PROPS/VCFS,DV,GPM,DL,SIGMA
COMMON/DEF/FF,FW,HW,TD,DH,DPMAX,SF,TSMIN,TSMAX
IF(DP1.EQ.2)TSMAX=TS
HTMD=(0.5*TSMAX-0.5*HW-HOW/FF**(2/3))*(DL-DV)/DL-(HUD/FF**2)
AHMD=(VCFS/FF)/((VCFS/(FF*AAC))**2+5.38*CO**2*DL/DV
***(HTMD-HL-HSIG)**0.5
HTMC=(1728/DL)*DPMAX
AHMC=VCFS/((VCFS/AAC)**2+5.37*CO**2*(DL/DV)*(HTMC-HL-HSIG)**0.5
IF(AHMD.GT.AHMC)GOTO 10
AHMIN=AHMC
GOTO 15
10 AHMIN=AHMD
15 IF(AHMIN.GT.(0.05*AAC))GOTO 20
AHMIN=0.05*AAC
GOTO 25
20 AHMIN=AHMIN
25 RETURN
END

```

SUBROUTINA PARA CALCULAR EL FACTOR DE CORRECCION PARA PLATOS  
DE UN PASO TIPO SEGMENTADO

```

SUBROUTINE FACOR(GPM,DT,WL,FAC)
DIMENSION Y(20)
A=GPM**(2/3)/WL**(5/3)
B=WL/DT
DO 5 K=1,20
Y(K)=1.0
FN=61.45*((1-B**2.0/Y(K)**3)**0.5-(1-B**2)**0.5)/(B*Y(K))-A

```

```

FP=61.45*((1-B**2.0/(Y(K)+0.001)**3.0)**0.5-(1-B**2)**0.5)/
5 (B*(Y(K)+0.001))-A
FD=(FP-FN)/0.001
Y(K+1)=Y(K)-FN/FD
IF ((ABS(Y(K+1)-Y(K))).LE..00001)GO TO 10
5 CONTINUE
10 FAC=Y(K+1)
RETURN
END

```

SUBROUTINA PARA CALCULAR LA CUERDA DE LA BAJANTE

```

SUBROUTINE CUER(NP,AT,AD,DT,HSD)
DIMENSION X(15)
ADSD=AD*NP**(-0.916-0.0476*NP)
DO 5 I=1,15
X(I)=0.20
XA=SQRT(X(I)*(1-X(I)))
XB=1-2*(X(I))
XC=ADSD/AT
XN=((ACOS(XB))-2*XA*XB)/3.141592564-XC
XP=SQRT((X(I)+0.001)*(1-X(I)+0.001))
XQ=1-2*(X(I)+0.001)
XD=((ACOS(XQ))-2*XQ*XP)/3.141592564-XC)-XN)/0.001
X(I+1)=X(I)-XN/XD
IF ((ABS(X(I+1)-X(I))).LE..0001)GO TO 10
5 CONTINUE
10 DT=(AT/0.786)**0.5
HSD=X(I+1)*DT
RETURN
END

```

COMPORTAMIENTO DEL PLATO

```

SUBROUTINE CTRAY(CO, AH, AAC, HL, HSIG, HOW, HUD, HLD, PDIF, U)
COMMON/PROPS/VCFS, DV, GPM, DL, SIGMA

```

CAIDA DE PRESION TOTAL DEL PLATO

```

HD=0.186/CO**2*(VCFS/AH)**2.0*(DV/DL)*(1-(AH/AAC)**2.0)
HT=HD+HL+HSIG
PDIF=HT*(DL/1728)

```

RETENCION DE LIQUIDO

```

HLD=HW+HOW+(HT+HUD)*(DL/(DL-DV))
U=(HL*AAC+HLD*AD)*(DL/12)
RETURN
END

```

A N E X O 2

## ANEXO 2. TIPOS DE PLATOS Y SU SELECCION

### TIPOS DE PLATOS

Los platos de cachucha de burbujeo fueron los platos más utilizados hasta principios de 1950, pero estos platos presentan desventajas. Los platos perforados surgieron poco tiempo después casi al mismo tiempo que los platos de válvulas.

Los platos de válvulas y perforados son los más utilizados actualmente.

Existen una gran variedad de platos de los cuales se mencionarán los mas importantes.

1.- Platos con cachuchas de burbujeo. Fueron utilizados durante 150 años, teniendo un mayor auge de 1920 a 1950.

Este plato consiste de una placa con perforaciones, sobre las cuales se encuentran las cachuchas de burbujeo, que semejan una campana con ranuras o perforaciones.

Entre sus ventajas están, su capacidad moderada así como su eficiencia que es comparada con la otros tipos de platos. También tienen una flexibilidad alta para altos y bajos flujos de vapor y líquido.

Las desventajas que presentan es que tienen una caída de presión elevada. Tienen un peso y costo elevado con respecto a los otros tipos de platos.

2.- Platos perforados. Este tipo de platos es muy utilizado por su bajo costo inicial.

Este plato consiste básicamente de una placa con perforaciones los cuales fluye el vapor, burbujeando a través del líquido que fluye a través del piso del plato sobre el vertedero de salida y pasa al plato inferior por medio de una bajante.

Las ventajas que presentan este tipo de platos son la sencillez de su construcción, mantenimiento rápido y sencillo, su capacidad puede ser tan alta o mayor que la de un plato de cachuchas dentro de sus límites de diseño. Además presentan un arrastre menor que los platos de cachuchas de burbujeo, por lo que el espaciamiento puede disminuirse y ser más económico. Pueden manejar fluidos incrustantes o fluidos con sólidos en suspensión.

Las limitaciones que presentan este tipo de plato es el goteo y el arrastre junto con el inundamiento de las bajantes.

Es sensible a la corrosión, pues las perforaciones se agrandan, o si se manejan sólidos en suspensión se tapan las perforaciones.

La flexibilidad de operación es comparable con los platos de cachuchas de burbujeo, pero fallan abajo del 60% de la capacidad de diseño.

Puede ser inadecuados para sistemas en los cuales se produce mucha espuma.

3.- Platos de linde. Este plato fué introducido por la Carbide Co. Estos platos son una modificación de los platos perforados, con un arreglo de las perforaciones que modifica el flujo de líquido por medio de canales distribuidos en el plato promoviendo el burbujeo.

Entre sus ventajas están: las áreas de estancamiento son eliminadas, su capacidad es del 40 al 100% mayor que las otras columnas de tipo convencional equivalente. La caída de presión es la tercera parte que la genera un plato perforado equivalente, además de que la eficiencia es mayor con un 40% aproximadamente.

4. - Platos de válvulas. Estos platos tienen perforaciones sobre los cuales tienen dispositivos móviles teniendo así una abertura variable para el flujo de vapor.

Los platos de válvulas presentan las siguientes ventajas: operan con buena eficiencia en un rango muy amplio de operación, tienen una amplia flexibilidad a la variación de los flujos, su caída de presión es casi constante, tienen una capacidad mayor con respecto a un plato de cachuchas equivalente.

Existen varios tipos de válvulas de forma circular, rectangular, cuadradas, triangulares, etc., retenidas sobre el plato con ganchos, patas, etc.

Este tipo de platos es más costoso que cualquier otro tipo de plato de capacidad equivalente.

5. - Platos Turbogrid. (Shell Development Co.). Se caracterizan por la simpleza de su construcción que consiste en un plato de ranuras paralelas largas y angostas.

Entre sus ventajas se encuentran: su construcción sencilla, su bajo costo, su mantenimiento sencillo, y trabaja bien con sistemas sucios. Además presentan baja caída de presión, buena eficiencia y alta capacidad, que es mayor en un 20 a 40 % que los platos de cachuchas.

Entre sus limitaciones se encuentra que son menos flexibles, si los flujos son menores a los diseño la eficiencia disminuye. Además solo se recomiendan para torres en las cuales los flujos no variarán considerablemente y de diámetro no muy grande.

8.- Platos ripple (Stone & Webster Eng. Corp.) Estos consisten en una lámina de acero inoxidable que es perforada y doblada en forma sinusoidal, teniendo los orificios generalmente de un diámetro de 1/8 de pulgada.

Sus ventajas que presentan es que pueden trabajar con sólidos en suspensión, pues la forma del plato no permite la sedimentación. Su costo es relativamente bajo y tienen una caída de presión baja en comparación con los platos de cachuchas.

La limitación que presenta es la baja flexibilidad además de que a flujos menores del 80-80% del punto de inundación disminuye la eficiencia considerablemente.

#### SELECCION DEL TIPO DE PLATO.

Para seleccionar el plato adecuado deberá considerarse el intervalo de operación requerido, el tipo de servicio, la caída de presión y el costo.

Los tres tipos de platos más utilizados son los platos de cachuchas de burbujeo, el plato perforado y el plato de válvulas.

Sin duda, los platos perforados son el dispositivo de contacto más versátil, y es el que debe considerarse en primer lugar para el diseño de una columna de platos, ya que su costo de

instalación es el más bajo entre todos los dispositivos del tipo etapa de equilibrio. Estos platos pueden manejar servicios sucios y su eficiencia es buena cuando el diseño es adecuado.

Los platos de válvulas ofrecen mayores ventajas con respecto a los otros, su amplio rango de operación y su gran capacidad que es comparable con la del plato perforado.

Los platos perforados se emplean cuando no se requiere un amplio intervalo de flexibilidad y también a su bajo costo de construcción del plato.

En la tabla se muestran algunas de las características principales del funcionamiento de los diferentes platos para columnas de destilación.

	Cachuchas	Perforados	Válvulas	Turbogrid
Capacidad del vapor	3	4	4	4
Capacidad del líquido	4	4	4	5
Eficiencia	3	4	4	4
Flexibilidad	5	3	5	1
Caída de presión	3	4	4	4
Costo	3	5	4	5

1 pobre    2 regular    3 bueno    4 muy bueno    5 excelente