



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

”LA DESTILACIÓN EN PROCESOS DE  
REFINACIÓN”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

CASTILLO ARREGUIN LEONARDO

DANIEL



MÉXICO D.F.

2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

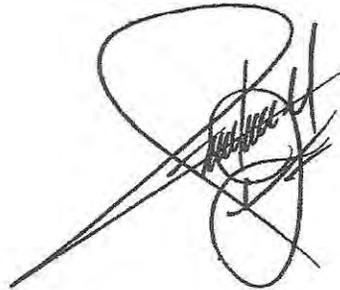
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente:** I.Q. FRANCISCO JAVIER MANDUJANO ORTIZ  
**Vocal:** I.Q. JOSÉ AGUSTÍN TEXTA MENA  
**Secretario:** I.Q. ANA LILIA MALDONADO ARELLANO  
**Suplente:** I.Q. ALEJANDRO JUVENAL GUZMÁN GÓMEZ  
**Suplente:** I.Q. JAVIER TORRES LUNA

**Asesor Del Tema**



---

**I.Q. JOSÉ AGUSTÍN TEXTA MENA**

**Sustentante**



---

**LEONARDO DANIEL CASTILLO ARREGUIN**

## **DEDICATORIA:**

A mi padre, Leonardo Castillo Hernández y a mi madre, Angélica Arreguin Sánchez, por haberme dado algo muy valioso que es una carrera universitaria, por la confianza depositada en mí y por haberme dado animo en el transcurso de mi carrera, sobre todo en los momento difíciles. Gracias.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Esta tesis fue sugerida por el Ing. José Agustín Texta Mena y se llevo a cabo bajo su dirección. Estoy profundamente en deuda con el, por las sugerencias, criticas y sobre todo por haberme brindado una oportunidad.

Quiero expresar también mi reconocimiento a todos aquellos quienes generosamente dieron su tiempo para leer el texto y hacerle criticas valiosas.

# INDICE

Glosario .....	1
Justificación de Trabajo .....	3
Resumen .....	4
Introducción .....	4
Objetivos.....	4

## Capítulo 1. Generalidades.

1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Proceso de Destilación.....	6
1.3. Presión de Operación.....	9
1.4. Número de platos Teóricos y Reales.....	10
1.5. Selección del Dispositivo de Contacto .....	12

## Capítulo 2. Torres de Platos y sus Internos

2.1. Platos.....	16
2.2. Bajantes.....	19
2.3. Claro bajo la Bajante .....	22
2.4. Derramadero de Entrada.....	23
2.5. Charolas de Retención o Sello .....	23
2.6. Derramaderos de Salida .....	25
2.7. Mamparas Antisalto .....	26
2.8. Mamparas Antiespuma .....	27
2.9. Registros de Hombre.....	28
2.10. Entradas de Hombre .....	28
2.11. Aro Soporte .....	30
2.12. Canales y Vigas Soporte .....	30
2.13. Transiciones y Cambios de Sección .....	33
2.14. Arreglos para Entrada de Reflujo y Alimentación al Plato de Domos.....	40

2.15. Arreglos para Alimentaciones Intermedias .....	45
2.16. Arreglos para el Fondo de Columnas .....	46
2.17. Extracciones Intermedias .....	50
2.18. Platos Chimenea.....	58
2.19. Distribuidores .....	63
2.20. Boquillas para Instrumentos .....	65
2.21. Salidas de Líquido.....	66
2.22. Salidas de Vapor .....	67

### **Capítulo 3. Tipos de Platos**

3.1. Platos de Cachuchas de Burbujeo .....	71
3.2. Platos Perforados.....	73
3.3. Platos Tipo Baffle .....	75
3.4. Platos Turbogrid.....	76
3.5. Platos Jet.....	77
3.6. Platos Kittel y Centrífugos.....	78
3.7. Platos de Linde y Platos de Múltiple Bajante .....	80
3.8. Platos de Angulo .....	83
3.9. Platos de Válvulas .....	84
3.9.1. Platos Ballast (KOCH-GLITSCH).....	89
3.9.2. Platos de Válvulas Flotantes (Sulzer Chemtech) .....	95
3.9.3. Platos Flexitray (KOCH-GLITSCH).....	98
3.10. Selección del Tipo de Plato .....	101

### **Capítulo 4. Términos y Criterios de Diseño Hidráulico de Una Columna de Destilación de Platos**

4.1. Espaciamiento entre los Platos.....	108
4.2. Capacidad.....	109
4.3. Parámetro de Flujos.....	110
4.4. Parámetro de Capacidad .....	110

4.5. Velocidad Superficial del Vapor Máxima Permisible .....	111
4.6. Ecuación de Souders-Brown .....	111
4.7. Factor del Sistema .....	114
4.8. Espumado .....	115
4.9. Inundación por Limitaciones del Sistema .....	116
4.10. Arrastre .....	118
4.11. Inundamiento .....	119
4.12. Platos Críticos .....	120
4.13. Diámetro de la Columna .....	121
4.14. Longitud de la Trayectoria de Flujo .....	122
4.15. Numero de Pasos .....	123
4.16. Altura de Líquido Libre de Vapor o Carga Hidrostática .....	126
4.17. Altura de Líquido Efectiva .....	126
4.18. Gradiente Hidráulico .....	126
4.19. Aereación del Líquido .....	126
4.20. Factor de Goteo .....	129
4.21. Punto de Goteo .....	129
4.22. Goteo .....	130
4.23. Sello Estático .....	131
4.24. Sello Dinámico .....	132
4.25. Caída de Presión .....	132
4.26. Altura del Derramadero .....	132
4.27. Cresta de Líquido sobre el Derramadero .....	133
4.28. Caída de Presión Total del Plato .....	136
4.29. Caída de Presión del Plato Seco .....	137
4.30. Altura del Líquido Retenido en la Bajante .....	143
4.31. Carga Perdida Bajo la Bajante .....	146

4.32. Altura de la Espuma de la Bajante .....	147
4.33. Salto de Líquido sobre el Derramadero .....	148
4.34. Raining .....	148
4.35. Arrastre por Espuma .....	149
4.36. Blowing .....	149
4.37. Dumping.....	149
4.38. Relación de Flexibilidad, Rango de Operación y Flexibilidad.....	149
4.39. Eficiencia .....	151
4.40. Métodos Empíricos .....	152
4.41. Modelos Teóricos para definir la eficiencia de una columna .....	154
<b>Capítulo 5. Metodología de Cálculo de los Principales Fabricantes de platos Valvulados</b>	
5.1. Metodología de KOCH-GLITSCH usando Platos “Ballast” .....	162
5.2. Metodología de KOCH-GLITSCH usando Platos “Flexitray” .....	184
5.3. Metodología de SULZER CHEMTECH usando Platos “Float Valve” .....	209
<b>Capítulo 6. Dimensionamiento Preliminar de los Platos de una Columna Desetanizadora</b>	
6.1. Dimensionamiento de KOCH-GLITSCH usando Platos “Ballast” .....	238
6.2. Dimensionamiento de KOCH-GLITSCH usando Platos “Flexitray” .....	263
6.3. Dimensionamiento de SULZER CHEMTECH usando Platos “Float Valve” .....	289
<b>Conclusiones .....</b>	<b>313</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>315</b>

## **GLOSARIO**

### **DESTILACIÓN**

Es una operación unitaria mediante la cual es posible separar dos ó mas componentes o fracciones de una mezcla, en base a su diferencia de volatilidades.

### **DESTILACION FRACCIONADA**

Puede considerarse como un proceso en el cual una serie de etapas de vaporización flash están arregladas en serie.

### **TORRE O COLUMNA**

Son cilindros verticales, donde se lleva a cabo la destilación, fabricados con diferentes materiales, según las condiciones de operación y corrosión del sistema a manejar.

### **COLUMNA DE PLATOS**

Columnas que utilizan dispositivos de equilibrio (Platos) por etapa para obtener el contacto entre líquido y el vapor.

### **COLUMNA DIFERENCAL**

Columnas que presentan un contacto diferencial entre las fases, sobre la superficie de un empaque, también son conocidas como columnas empacadas.

### **ETAPA O PLATO TEORICO**

Es una etapa donde se encuentra en equilibrio las fases líquido y vapor.

### **EFICIENCIA**

Es un factor de primordial importancia en el diseño de equipo para transferencia de masa pues nos permite conocer, una vez determinado el numero de etapas teóricas, la cantidad de plato reales.

### **PLATOS**

Dispositivos de contacto de equilibrio, donde se lleva a cabo la transferencia de masa en la columna de destilación, generalmente hechos de placas metálicas.

### **BAJANTE**

Conducto de un plato, que sirve para dirigir el líquido de un plato a otro. Dicho conducto restringe casi totalmente el contacto entre el líquido y el vapor al que ocurre sobre la superficie del plato.

**CLARO BAJO LA BAJANTE**

Distancia entre el borde inferior de la bajante y la superficie del plato.

**CHAROLA DE SELLO**

Es un recipiente dentro del cual la bajante se extiende y desde donde el líquido fluye hacia la superficie del plato.

**REGISTRO HOMBRE**

Entrada al interior de una columna de destilación.

**ARO SOPORTE**

Anillo metálico que se suelda a la coraza y que se utiliza para soportar el plato.

**VIGAS DE SOPORTE**

Se emplean para soportar el plato junto con el aro soporte.

**PLATO CHIMENEA**

Permiten coleccionar y acumular líquido en el interior de la columna sin que los vapores entren en contacto con él.

**DISTRIBUIDOR**

Es uno o más tubos con una serie de igualmente espaciadas ranuras o perforaciones el cual se recomienda emplear para repartir adecuada y uniformemente una corriente de reflujo o alimentación.

**CAPACIDAD**

Flujo de líquido y vapor que es capaz de manejar eficientemente una columna.

**INUNDAMIENTO**

Una columna de destilación se empezará a llenar de líquido en cualquier punto donde los flujos del líquido y/o vapor resulten mayores que la capacidad del equipo.

**NUMERO DE PASOS**

Es el número de trayectorias que seguirá el líquido al pasar sobre la superficie del plato.

**AEREACIÓN**

Es el burbujeo del vapor a través de la capa de líquido que fluye sobre el plato.

## **GOTEO**

Ocurre cuando el flujo de vapor no es lo suficientemente grande para mantener al líquido sobre la superficie del plato.

## **DUMPING**

Cuando el flujo de vapor es inferior al correspondiente al punto de goteo y sea incapaz de mantener al líquido sobre el plato, también se le conoce como chorreo.

## **FLEXIBILIDAD**

Es un término empleado para comparar un diseño con otro, implica los límites de operación en los cuales se mantiene una aceptable eficiencia del plato.

## **JUSTIFICACIÓN DE TRABAJO**

En una planta Química, Petrolera o Petroquímica las columnas de Destilación son uno de los principales componentes. Debido a esta importancia que tienen, es necesario hacer un buen dimensionamiento para el correcto funcionamiento de estas y por lo que es necesario conocer los principales componentes de una columna de Destilación así como los diferentes tipos de platos.

Este trabajo pretende resolver la problemática, de falta de información y conocimiento, al momento de diseñar una torre de destilación. Para así tener las suficientes bases y una metodología de cálculo completa, para un buen diseño.

Los platos de válvulas son los más utilizados en la actualidad debido a sus relevantes ventajas sobre los diferentes dispositivos de contacto, así que se delimitara este trabajo, a darle mayor importancia al dimensionamiento de torres utilizando este tipo de platos.

Este trabajo va dirigido a personas que quieran aprender a diseñar torres de destilación o a cualquier persona involucrada en el diseño de estas.

## RESUMEN

En este trabajo se describen los principales componentes de una columna de destilación, los tipos más comunes de platos para este servicio: perforados, de cachuchas, de múltiple bajante y en especial los de válvulas en sus principales variedades (“FLEXITRAY”, “BALLASTRAY” Y “FLOAT VALVE TRAY”). Más adelante se definen los conceptos y se dan los criterios para el diseño hidráulico de una torre de destilación. Finalmente se ejemplifica el diseño hidráulico de una torre de Destilación de Platos de Válvulas, por ser estos elementos de contacto los más ampliamente usados en la actualidad dado sus relevantes ventajas sobre los diferentes dispositivos de contacto que se emplean para la transferencia de masa en Torres de Destilación.

La información aquí mostrada fue proporcionada por Ingenieros del Instituto Mexicano del Petróleo, por los fabricantes de Platos y de la literatura especializada.

## INTRODUCCIÓN

En una Planta Química ó Petroquímica las columnas de Destilación son uno de los principales componentes ya que se emplean tanto para preparar la corriente de alimentación a otro proceso como para purificar el que será un producto terminado.

Dentro del desarrollo del diseño de una Torre de Destilación en la etapa inicial es necesario hacer una selección entre los diferentes dispositivos de contacto disponibles. Los platos valvulados y los perforados son los más empleados por su mayor capacidad y eficiencia. Sin embargo, los platos de válvulas presentan una mayor flexibilidad lo que les permite mantener su eficiencia en un amplio rango de operación, por ello se prefieren sobre los platos perforados.

Ahora bien, los fabricantes de los platos de válvulas proporcionan manuales para efectuar el dimensionamiento preliminar de las columnas, pero estos son escuetos y concisos, poco accesibles a personas no familiarizadas con los conceptos involucrados en el diseño.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es compendiar los conceptos y presentar una recopilación de criterios que permitan, conjuntamente con el empleo de la literatura proporcionada por los fabricantes de los platos de válvulas y de la literatura abierta especializada, hacer el predimensionamiento de una columna de destilación de platos valvulados y de sus internos.

Así mismo, cuando se desee realizar el dimensionamiento de una columna de destilación, se tengan las suficientes bases y una metodología de cálculo para su correcto dimensionamiento y funcionamiento.

# **CAPITULO 1.**

## **GENERALIDADES**

## **CAPITULO 1. GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Desde el descubrimiento del Petróleo, la utilización racional de las diferentes fracciones que lo componen ha influido fuertemente en el desarrollo de los diversos procesos, así como su inclusión en el esquema del refino.

En un primer momento el refino consistía en extraer el queroseno, primer uso industrial del petróleo. A los productos más ligeros que el queroseno no se les prestaba atención, mientras que a los mas pesados se les empezó a dar uso energético. Más tarde la llegada de la electricidad cambiaria los usos.

El desarrollo de motor de combustión interna hace cambiar completamente el destino del petróleo, se empiezan a producir masivamente automóviles que consumen gasolina y este será el producto estrella de una refinería, hoy en día lo sigue siendo.

También se empezó a potencializar su uso en barcos y aviones, uno de los últimos grandes impulsos es la importancia que adquirió a partir de los años sesenta fue la petroquímica, que en lugar de ser quemado, el petróleo sirve de materia prima para miles de productos presentes en todos los aspectos de la vida: plásticos, fibras, detergentes, gomas, productos farmacéuticos.

El refino del Petróleo ha sufrido importantes transformaciones ligadas al continuo incremento de las necesidades de productos ligeros (gasolinas-gasóleos) y al decremento de los productos pesados (Fuel oil).

El procedimiento de separación por excelencia es la destilación, y este proceso se ha ido actualizando y mejorando a través de los años, haciendo uso de columnas de destilación cada vez más eficientes.

### **1.2 PROCESO DE DESTILACIÓN <sup>(1)</sup>**

La destilación es una operación unitaria mediante la cual es posible separar dos o más componentes o fracciones de una mezcla, en base a su diferencia de volatilidades, para obtener productos dentro de ciertas especificaciones. Estas pueden estar basadas en el rango de ebullición, pureza, requerimientos del proceso (una concentración ó grado de contaminación determinado con respecto a uno ó mas componentes), etc.

Diferentes estudios tendientes a producir un material de características definidas han llevado al desarrollo de la destilación fraccionada, la cual puede ser de dos tipos de acuerdo a la forma en que

FIG 1.1 TORRE DE PLATOS

HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA TORRES

CLIENTE:	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	PROYECTO:	F.25222
PLANTA:	TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS No. 1 (U-3000)	HOJA:	1 DE 2
LOCALIZACIÓN:	REFINERIA ANTONIO DOVALI JAIME, SALINA CRUZ, OAX.	No. DE UNIDADES:	UNA
CLAVE DEL EQUIPO:	DA-3001		
SERVICIO:	AGOTADOR DE AGUA AMARGA		

TORRE DE PLATOS						
Tipo:	TORRE DE PLATOS					
Diámetros Int.:	1,676	mm;	y	----	mm	
Altura Total L <sub>T</sub> -L <sub>T</sub> :	32,024	mm	Faldón:	(4)	mm	
Temperatura de Operación:	Superior	92	°C	Inferior	126	°C
Temperatura de Diseño:	Superior	112	°C	Inferior	151	°C
Presión de Operación:	Superior	1.10	kg/cm <sup>2</sup> man.	Inferior	1.40	kg/cm <sup>2</sup> man.
Presión de Diseño:	3.5/ A VAC. TOT. kg/cm <sup>2</sup> man. (6)					
Materiales:	Cuerpo:	SA-516-70	Cabezas:	SA-516-70		
	Rec. Int.	NO	Espesor:	----	mm	
Corrosión Permisible:	Cascañón-Cabeza 6.4 mm					
Relevado de Esfuerzos:	SI	Estampado ASME:	SI	(13)	(15)	
Aislamiento:	SI (6)					

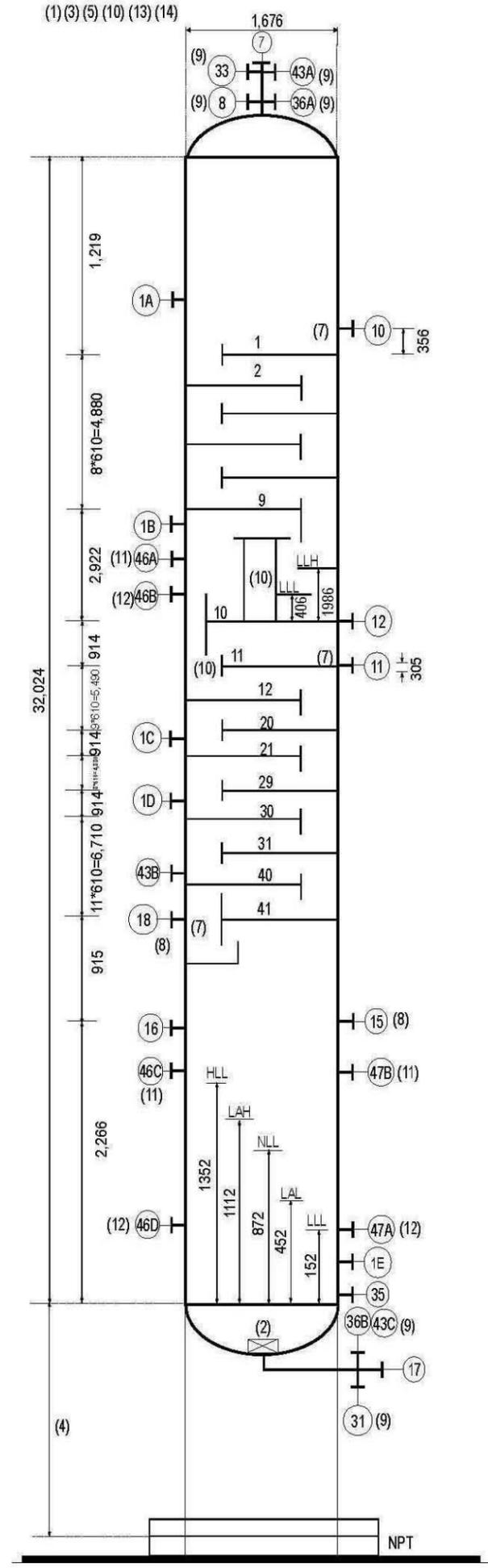
PLATOS (10)					
No.	Tipo	No. de Pasos	Espaciamento, mm	Material Platos	Material Unidad de Contacto
1-9	Válvulas	1	610	A.I. 304L	A.I.
10	Chimenea	----	2,922	A.I. 304L	A.I.
11	Válvulas	1	914	A.I. 304L	A.I.
12-20	Válvulas	1	610	A.I. 304L	A.I.
21	Válvulas	1	914	A.I. 304L	A.I.
22-29	Válvulas	1	610	A.I. 304L	A.I.
30	Válvulas	1	914	A.I. 304L	A.I.
31-41	Válvulas	1	610	A.I. 304L	A.I.

EMPAQUES				
No.	Tipo	Altura de Cama, mm	Peso por cama, kg	Material

BOQUILLAS				
Clave	No. Req.	Diám. Nom.	Servicio	
1 AE	5	610 (24")	REGISTRO DE HOMBRE	
7	1	203 (8")	SALIDA DE GAS ÁCIDO AMONIACAL DEL DOMO DE LA TORRE	
8	1	51 (2")	VENTEO (9)	
10	1	102 (4")	ENTRADA DE REFLUJO DE EC-3001	
11	1	102 (4")	ALIMENTACION DE AGUA AMARGA DE EA-3001 A-D	
12	1	152 (6")	SALIDA DE REFLUJO A GA-3003/R	
15	1	305 (12")	RETORNO DEL REHERVIDOR EA-3002	
16	1	203 (8")	ALIMENTACION DE VAPOR DE AGOTAMIENTO	
17	1	152 (6")	AGUA DESFLEMADA DEL FONDO DE LA TORRE A EA-3001 A/D	
18	1	152 (6")	SALIDA AL REHERVIDOR EA-3002	
31	1	76 (3")	DRENE (9)	
33	1	76 (3")	VÁLVULA DE SEGURIDAD (9)	
35	1	51 (2")	CONEXIÓN DE SERVICIO	
36 AB	2	38 (1.5")	INDICADOR DE PRESIÓN (9)	
43 AC	3	38 (1.5")	TERMOPOZO PARA TRANSMISOR DE TEMPERATURA	
46 AD	4	51 (2")	INSTRUMENTOS DE NIVEL	
47 AB	2	51 (2")	TRANSMISORES DE NIVEL	

- Notas:
- 1) Acotaciones en mm.
  - 2) Rompedor de Vórtices.
  - 3) Limpieza y protección anticorrosiva de acuerdo a la NRF-053-PEMEX-2006.
  - 4) Por NPSH de BOMBA.
  - 5) El diseño del recipiente debe considerar limpieza con vapor de las siguientes condiciones: Temperatura 148 °C y Presión 3.5 kg/cm<sup>2</sup> man.
  - 6) Por conservación de energía y de acuerdo a NRF-034-PEMEX-2006
  - 7) El diseño de los internos será responsabilidad del proveedor de éstos.
  - 8) El Contratista del IPC debe verificar y de ser necesario, modificar el circuito de alimentación al rehervidor y de retorno al Agotador garantizando la operación hidráulica del sistema.
  - 9) Las boquillas 8 (venteo), 31 (drene), 33 (válvula de seguridad), 36AB (indicador de presión) y 43AC (termopozo) se deben de ubicar en línea.
  - 10) Es responsabilidad del Contratista del IPC y del Fabricante el diseño de Platos y todos los internos de la torre incluyendo el Plato Chimenea.
  - 11) Colocar boquilla por arriba del nivel máximo.
  - 12) Colocar boquilla en el nivel mínimo.
  - 13) El diseño, fabricación, inspección y pruebas debe ser de acuerdo a la NRF-028-PEMEX-2004 y complementarse con el código ASME Secc. VIII Div. 1 o equivalente. Se debe contar con el permiso de autorización de funcionamiento de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) y estar de acuerdo a la NOM-020-STPS-2002
  - 14) La columna debe diseñarse considerando las cargas con viento y sismo conforme al Manual de Obras civiles de la comisión Federal de Electricidad, última edición.
  - 15) Requiere Estampado ASME o equivalente y registrarse ante "National Board Inspection Code" (NBIC).

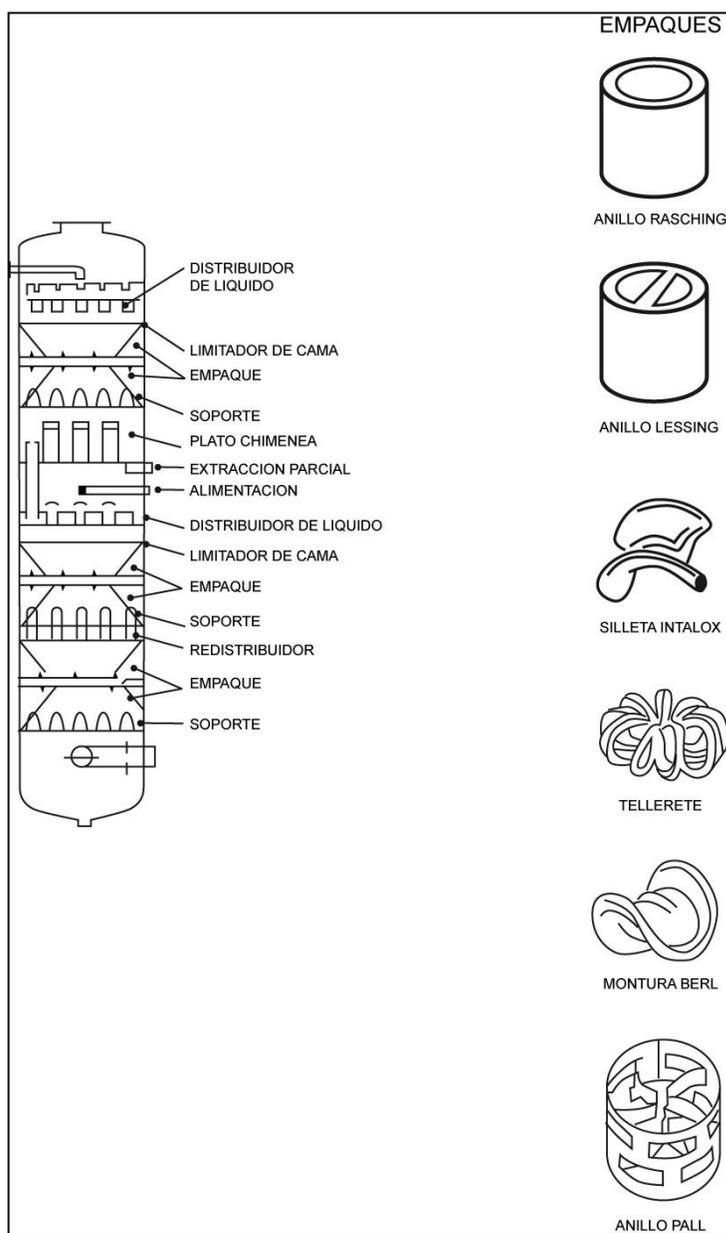
Revisión	0	1		
Fecha	Junio, 2011	Julio, 2011		
Elaborado por	LDCA	LDCA		



ocurra el contacto entre las fases líquida y vapor: destilación fraccionada por etapas, que es la más comúnmente usada y destilación fraccionada diferencial.

Los procesos de fraccionamiento convencionalmente se llevan a cabo en columnas o torres. Las que utilizan dispositivos de equilibrio por etapa para obtener el contacto entre el líquido y el vapor se denominan columnas de etapas de equilibrio, un ejemplo de una hoja de datos de proceso, para una columna de platos o etapas es la mostrada en la figura 1.1.

Las que presentan un contacto diferencial entre las fases, sobre la superficie de un empaque generalmente, se designan columnas diferenciales. Un ejemplo de está, se muestran en la figura 1.2.



**FIG. 1.2 TORRE EMPACADA**

Las columnas de equilibrio por etapas producen un cambio en la concentración del vapor y del líquido sobre los platos. Cada etapa representa idealmente un equilibrio líquido-vapor. Aunque existe transferencia de masa entre los platos y en la espuma formada en las bajantes y sobre el plato, la principal transferencia de masa ocurre al estar en contacto las fases sobre el plato.

La destilación fraccionada puede considerarse como un proceso en el cual una serie de etapas de vaporización flash están arregladas en serie, de tal forma que los productos de cada etapa son la alimentación de las etapas adyacentes. El vapor producido en una etapa dada es conducido a la etapa superior y el líquido a la inferior. En este arreglo, la concentración del componente más ligero (el de menor punto de ebullición) se incrementa en el vapor de cada etapa y decrece en el líquido.

Las columnas de contacto diferencial hacen posible la transferencia de masa entre fases sobre incrementos de altura a lo largo de la altura total de la columna. Aunque esto ocurre normalmente sobre empaque colocado en el interior de la torre para dar una gran área de contacto, también puede ocurrir en columnas de pseudoetapa efectuándose entonces el contacto líquido-vapor sobre el plato y en el espacio existente entre los platos.

La principal diferencia entre la columna diferencial y la de platos o etapas es que en la primera el vapor y el líquido deben pasar en contracorriente a través de los mismos pasajes a lo largo de la columna diferencial, mientras que en la segunda las dos fases tienen trayectorias completamente separadas, excepto cuando ellas están en contacto sobre el plato. Además, la columna de etapas está provista de una bajante para conducir el líquido del plato superior al inferior. Por lo anterior, una columna en la cual el líquido y el vapor tengan que pasar por los mismos caminos y no cuente con bajantes debe ser considerada como diferencial, aún si se usan platos perforados ó de cualquier otro tipo como medios de contacto entre el vapor y el líquido. Estas columnas son consideradas como una variedad de columnas empacadas y están sujetas a las mismas consideraciones.

Una vez que se tienen las especificaciones de los productos se deben definir las condiciones de operación de la columna mediante un balance técnico-económico.

### **1.3 PRESIÓN DE OPERACIÓN.**

Las columnas de destilación comerciales trabajan en un rango muy amplio de presiones. En la Industria petrolera, por ejemplo, las presiones varían en un rango de 1 a 400 psia.

Los principales factores que fijan la presión de operación son la volatilidad relativa de los componentes a separar y la temperatura de los medios de enfriamiento y calentamiento disponibles en la planta, generalmente agua y vapor; otros factores importantes son la estabilidad térmica de los productos y sus temperaturas críticas. En general puede decirse que la presión de operación de la columna dependerá del medio de enfriamiento utilizado para la condensación. Se utilizan acercamientos, entre la temperatura de entrada del medio de enfriamiento y la temperatura de salida

del condensador, del siguiente orden: 10 a 20 °F con refrigerantes como Propano ó Propileno, 10 a 35°F, cuando se emplea agua de enfriamiento y de 35 a 90°F cuando se utiliza aire.

Para un condensador total a la presión de burbuja del destilado, calculada a la temperatura de salida del condensador, se le adiciona la caída de presión correspondiente a las líneas del condensador al domo de la torre y la del mismo condensador, ésta es la presión de operación de la columna. Para un condensador parcial el cálculo es similar pero evaluando la presión de rocío del destilado. La temperatura del domo se obtiene calculando la temperatura de rocío de la corriente que llega al condensador.

Para la mayoría de las destilaciones la presión de operación se fijará tan cercana a la atmosférica como sea posible, mientras se permita condensar (al menos en parte) la corriente de domos de la columna y vaporizar parcialmente los fondos empleando los medios de enfriamiento y calentamiento disponibles en la planta. Cuando ambas condiciones no puedan alcanzarse simultáneamente se recomienda emplear un refrigerante para condensar los domos de la columna ó un horno en vez de un rehervidor para suministrar la carga térmica necesaria para la destilación.

Trabajar a presiones altas incrementa las temperaturas del domo y fondo, permitiendo condensar materiales volátiles empleando únicamente agua como medio de enfriamiento. Por otra parte, será necesario incrementar el espesor de los materiales de construcción de la columna, del condensador y del rehervidor, aumentará la carga térmica de este último y disminuirá la eficiencia de la separación haciendo necesario emplear más reflujo o incrementar el número de etapas de equilibrio para alcanzar la separación requerida. Si la presión estuviera limitada por la sensibilidad térmica de los productos o por su temperatura crítica, deberá emplearse un refrigerante en caso de requerirse la condensación de los domos de la columna.

A bajas presiones la volatilidad relativa de las sustancias se incrementa haciendo más sencilla la destilación a temperaturas también bajas. Esto es ventajoso cuando se manejan sustancias sensibles al calor que pudieran descomponerse o polimerizar si se excede una temperatura máxima permisible la cual fijará la presión de operación máxima; en estos casos es común operar a presiones inferiores a la atmosférica, esto es a vacío, y emplear refrigerantes para condensar la corriente de domos de la columna. El trabajar la columna a vacío presenta varias desventajas importantes como son el alto costo de los sistemas de refrigeración y para hacer el vacío que se requieran, además a bajas presiones la vaporización en el interior de la columna será muy alta y esto disminuirá su capacidad haciendo necesario el empleo de torres de gran diámetro para poder trabajar adecuadamente.

#### **1.4 NUMERO DE PLATOS TEÓRICOS Y REALES.**

Una vez fijadas las condiciones de operación de la columna ha de estimarse la combinación apropiada de platos teóricos y reflujo; las técnicas de cálculo para ello han mejorado en los últimos años y hoy se dispone de programas de cómputo que permiten realizar los balances de materia y energía de la columna con intercambios de calor y/o extracciones laterales en algunos platos.

FIG. 1.3

OPCION 10000  
 CORRIENTE N1 = 2  
 CORRIENTE N2 = 0  
 CORRIENTE N3 = 6  
 CORRIENTE N4 = 71  
 CORRIENTE N5 = 0  
 CORRIENTE N6 = 0  
 CORRIENTE N7 = 0  
 NUMERO DE PLATOS TEORICOS = 14  
 PRESION DE OPERACION = 239.700 PSIA  
 RELACION DE REFLUJO = 1.0300  
 CAIDA DE PRESION DEL CONDENSADOR = 10.0000  
 CAIDA DE PRESION POR PLATO = .2500  
 ALIMENTACION CORR. 2 16641.947 LBMOL/H EN EL PLATO 4  
 DEST. LIQUI. CORR. 0 .000 LBMOL/H EN EL PLATO 0  
 DEST. VAPOR. CORR. 6 7688.000 LBMOL/H EN EL PLATO 0  
 PROD. FONDOS CORR. 7 8953.947 LBMOL/H EN EL PLATO 15  
 FRACCION MOLAR VAP. EN REHERVIDOR = .3000  
 TEMPERATURA EFLUENTE REHERVIDOR = 187.78  
 FLUJO ALIMENTACION REHERVIDOR LBMOL/H = 37771.077  
 CARGA TERMICA DEL CONDENSADOR = -40835875.50 BTU/HR  
 CARGA TERMICA DEL REHERVIDOR = 85146338.00 BTU/HR

PLATO No	TEMP. GF	L. LB-MOL/H	V. LB-MOL/H	GPM	CFS	DL. LB/FT3	DV. LB/FT3	PM L	PM V	PSIA
0	11.577	7916.64	7688	1154.647	37.4699	27.3023	1.7286	31.9313	30.3287	229.7
1	25.04	7415.728	15606.64	1130.329	74.7248	27.645	1.8067	33.7977	31.1419	239.7
2	37.169	6813.525	15103.728	1083.807	74.5443	28.1693	1.8028	35.9399	32.0321	239.85
3	50.239	5926.861	14501.525	891.603	73.0387	28.7743	1.796	38.6134	32.9655	240.2
4	70.775	19540.864	13614.861	3600.65	73.4467	30.3075	1.7474	44.8673	33.9357	240.45
5	74.775	19613.076	10586.917	3652.557	57.3845	30.2478	1.768	45.1819	34.4638	240.7
6	80.357	19663.868	10659.129	3710.409	58.1838	30.2078	1.7867	45.7185	35.1094	240.85
7	88.657	19794.398	10709.921	3808.312	59.1464	30.1356	1.8178	46.4795	36.1393	241.2
8	99.415	20081.179	10840.451	3954.454	60.6658	29.9997	1.8685	47.3842	37.6429	241.45
9	111.062	20500.646	11127.232	4142.048	62.9663	29.8161	1.9392	48.2979	39.5044	241.7
10	121.767	20996.104	11555.699	4338.844	65.8395	29.6215	2.0194	49.0931	41.4212	241.85
11	130.359	21434.736	12014.156	4512.133	68.8388	29.4538	2.0942	49.7308	43.09	242.2
12	137.001	21724.932	12490.789	4642.971	71.4574	29.3343	2.1541	50.2944	44.3981	242.45
13	143.057	21755.935	12770.984	4723.13	73.3745	29.2767	2.198	50.9792	45.4632	242.7
14	151.874	21160.754	12801.987	4716.615	74.4050	29.3341	2.2299	52.4435	46.6573	242.85
15	173.739	8953.947	12206.807	2139.401	73.8266	29.8238	2.2499	57.1559	48.9859	243.2

La información que resulta de este estudio inicial es: temperaturas, presiones y pureza de las corrientes, número de platos teóricos, relación de reflujo y la localización del plato de alimentación.

Con los datos anteriores se puede usar otros programas (PRO II, HYSYS, ASPEN) ya establecidos que proporcionan resultados más detallados como: perfil de presiones y temperaturas plato por plato de toda la columna; para el condensador y el rehedidor además de los datos anteriores reporta las cargas térmicas que manejan ambos y las composiciones de los productos; un ejemplo de los resultados obtenidos con esta valiosa herramienta de cálculo se muestra en la figura 1.3.

Determinado el número de etapas teóricas a emplear, se estima el número de platos reales o la altura de empaque necesarios mediante un factor denominado eficiencia. La eficiencia en la transferencia de masa de un dispositivo de contacto líquido-vapor es muy importante. Una alta eficiencia permite reducir la altura de la columna, con los consecuentes ahorros en dispositivos de contacto, material del recipiente, estructuras y bombeo de los fluidos. Dispositivos con elevadas eficiencias son los preferidos comúnmente, aunque otros menos eficientes pueden ser igualmente satisfactorios cuando éstos son más económicos y se tienen pocas etapas teóricas. Los factores que afectan la eficiencia de un dispositivo son: a) las propiedades físicas del sistema, b) los flujos de vapor y líquido y c) el tipo y geometría del dispositivo empleado.

## **1.5 SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE CONTACTO**

El siguiente paso es la selección del dispositivo de contacto más adecuado para el proceso, esto es, definir si se utilizan platos ó empaque.

No es posible fijar criterios definitivos para decidir cuando es más conveniente el uso de una torre empacada sobre una de platos, son muchos los factores que deben considerarse al hacer la decisión; sin embargo, conviene seguir como una guía las siguientes recomendaciones:

1.- cuando se tratan líquidos y vapores corrosivos, usualmente la torre empacada resulta más económica que la de platos.

2.- Para servicios de Destilación a vacío, se pueden tener caídas de presión menores en torres empacadas que en torres de platos.

3.- Cuando se tiene un flujo de líquido pequeño, en las torres empacadas aumenta el problema de la distribución, lo que no ocurre en las torres de platos.

4.- Cuando para el servicio de transferencia de masa se requiera una torre de platos de un diámetro de dos o menos pies, hay que considerar la alternativa de utilizar una torre empacada.

5.- El costo de capital de una torre empacada para diámetros grandes es generalmente mayor a su equivalente en platos. Para diámetros pequeños generalmente se invierte el resultado.

6.- Para servicios con presión superior a la atmosférica, la eficiencia de los platos es mayor que la del empaque.

7.- Los empaques, con la carga presentan grandes variaciones en su eficiencia, esto es su flexibilidad es menor.

8.- Para sistemas espumantes, las torres empacadas presentan la ventaja de romper la espuma forzada.

9.- Para sistemas con lodos ó sólidos, las columnas de platos son la mejor selección.

10.- Si los componentes del sistema tienen puntos de ebullición cercanos, conviene usar columnas empacadas.

11.- Si el sistema es viscoso o sensible a la temperatura, las columnas empacadas aventajan a las de platos.

12.- Para sistemas que involucran altos calores de solución ó reacción, son preferibles los platos al empaque.

13.- El peso de un sistema empacado es generalmente mayor que el de una columna de platos, para el mismo servicio.

14.- Cuando se requiere la extracción de productos, como en columnas de destilación primaria del petróleo crudo, se prefieren las columnas de platos.

Los factores anteriormente citados son contradictorios en ocasiones, pero debe considerarse que uno o dos de ellos generalmente dictan la selección final del dispositivo de transferencia de masa. Es una buena práctica seleccionar para un servicio determinado el mismo dispositivo de contacto que empleen otras compañías diseñadoras, sobre todo si se sabe que operan adecuadamente a escala industrial.

ORDEN DE PREFERENCIA PARA LA SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE CONTACTO EN COLUMNAS.		
Factor:	Selección	Excepciones
Diámetro de la columna. Menor que 3 pies Mayor que 3 pies	Columnas empacadas Platos con bajantes	
Servicios sucios	1. Platos perforados y platos s/bajantes. 2. Platos "JET" 3. Platos valvulados 4. Platos de cachuchas	Si se emplea limpieza química, cualquier tipo puede ser adecuado.
Alta flexibilidad	1. Platos valvulados 2. Platos de cachuchas 3. Platos perforados	Las cachuchas son más seguras si los platos no están nivelados.

Servicio a Vacío	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. "GLITSCH-GRID"</li> <li>2. Columnas empacadas</li> <li>3. Platos valvulados</li> <li>4. Platos perforados</li> <li>5. Platos de cachuchas</li> </ol>	
Altas cargas de líquido	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Platos "JET"</li> <li>2. Platos valvulados</li> <li>3. Platos perforados</li> <li>4. Platos de cachuchas (rectangulares)</li> </ol>	Factor despreciable en columnas pequeñas.
Dos fases Líquidas	Platos sin bajantes y columnas empacadas	

## **CAPITULO 2.**

# **TORRES DE PLATOS Y SUS** **INTERNOS**

## CAPITULO 2. TORRES DE PLATOS Y SUS INTERNOS.

Las torres ó columnas son cilindros verticales fabricados con diferentes materiales, según las condiciones de operación y la corrosión del sistema a manejar. Para su construcción se utilizan principalmente metales y en ocasiones vidrio o plásticos <sup>(1)</sup>.

### 2.1 PLATOS

Los platos generalmente están hechos de placas metálicas y si es necesario, de aleaciones especiales; su espesor dependerá de la corrosión prevista y el tipo de material empleado. Así, para acero al carbón se utiliza comúnmente el calibre 10 y para aceros no ferrosos y aleaciones se recomienda el calibre 14.

Los platos deberán instalarse en forma nivelada dentro de los rangos recomendados para favorecer una buena distribución del líquido. Para columnas menores de 3 pies de diámetro  $\pm 1/8$  pulg., para columnas entre 3 y 5 pies  $\pm 3/16$  pulg,  $\pm 1/4$  pulg. Para torres entre 5 y 10 pies y  $3/8$  pulg., para las de mayor diámetro.

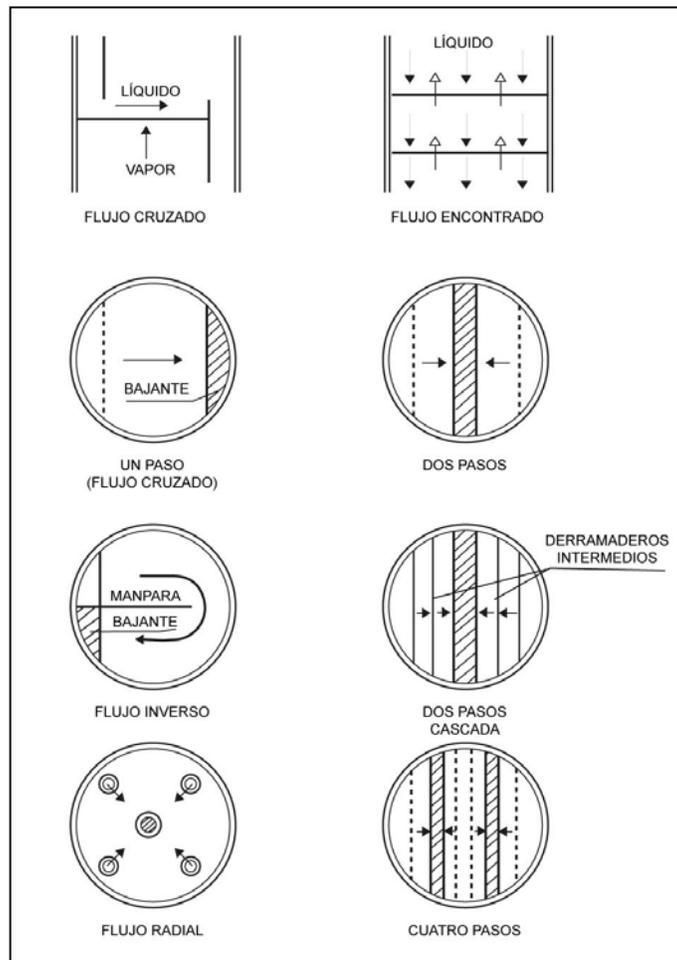


FIG. 2.1 TIPOS DE FLUJO

El diámetro del plato no es exactamente el de la columna pues debe tener en cuenta imperfecciones en la redondez de la torre ó del aro soporte. Se acostumbra dejar un claro de  $\frac{3}{4}$  de pulg. entre la orilla del plato y la coraza de la torre para anillos de 1  $\frac{1}{2}$  y 2 pulg. de ancho, de 1 pulg. para aros de 2  $\frac{1}{2}$  pulg. Y de 1  $\frac{1}{2}$  pulg. para anillos de 3 pulg. y mayores.

Los platos pueden clasificarse de acuerdo a la forma en que el flujo de líquido fluye a lo largo de la columna <sup>(2)</sup>.

- a) Platos de flujo cruzado
- b) Platos de flujo encontrado

Los platos de flujo cruzado utilizan una bajante para el descenso del líquido hacia el plato inferior y se emplean mas comúnmente que los de flujo encontrado ya que brindan una más eficiente transferencia de masa y un mayor rango de operación.

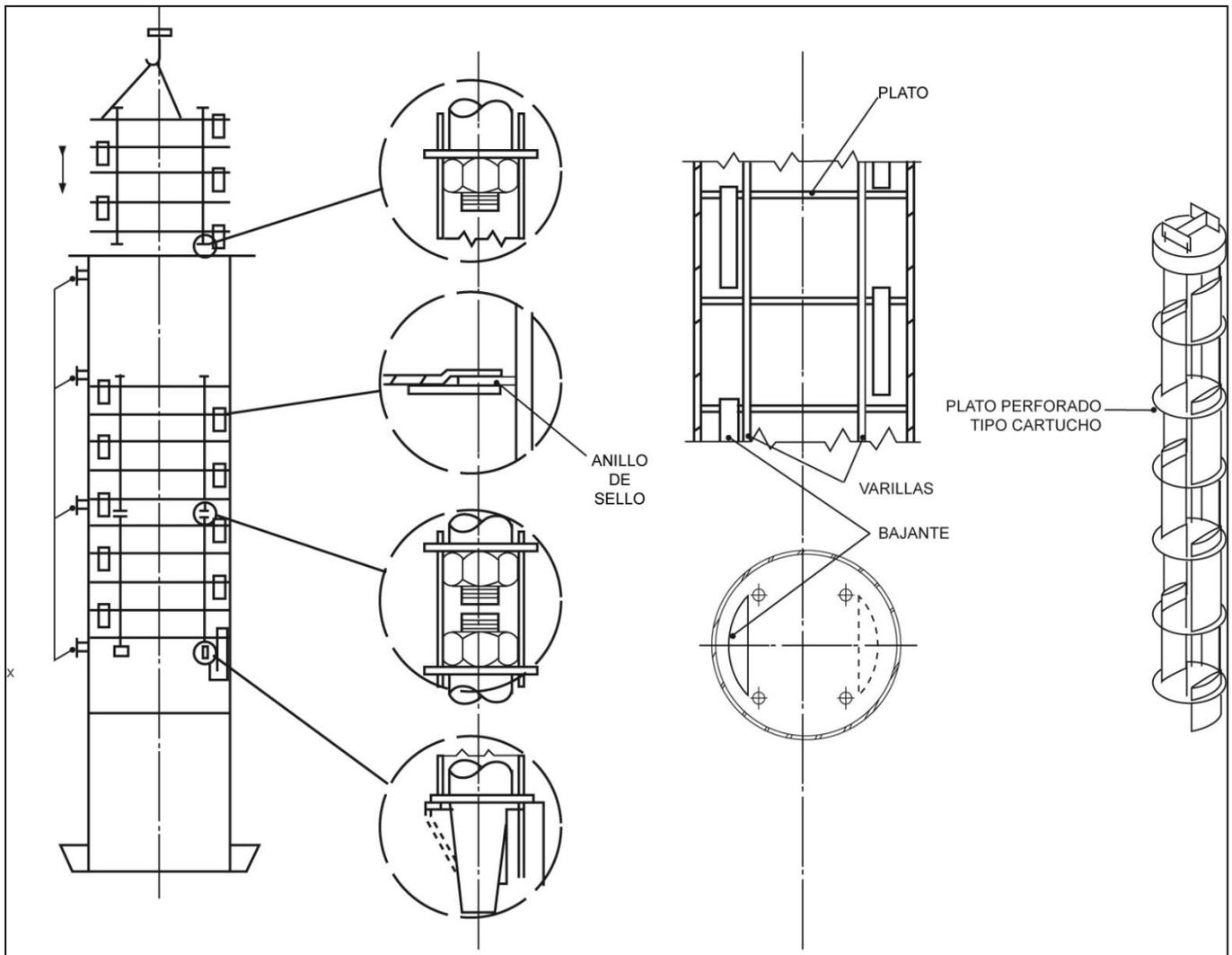
Dentro de los platos de flujo cruzado existe una amplia variedad de tipos, entre los principales se pueden citar los perforados, los de cachuchas de burbujeo, los de múltiple bajante y los de válvulas.

En los platos de flujo encontrado, el líquido y el vapor utilizan el mismo espacio para fluir a lo largo de éste, es que se establece el contacto entre las fases. Este tipo de platos no requiere bajantes para su funcionamiento, ejemplos de platos de este tipo son los platos “dual”, los platos “Kittel” y los Turbogrid.

De entre los platos de flujo cruzado, el arreglo más simple, considerando los detalles mecánicos y funcionales es el de paso sencillo, sin embargo cuando el flujo de líquido es muy pequeño con respecto al flujo de vapor, un plato de flujo invertido quizá sea más recomendable, para el caso contrario en que la carga de líquido es alta comparada con la de vapor, se sugiere el empleo de un plato de doble paso que proporciona una mayor capacidad para el líquido. Para cargas de líquido muy altas deberán emplearse platos con más pasos y platos con trayectorias de flujo en cascada. Los dos últimos tipos de plato solo pueden emplearse en columnas de gran diámetro. Fig. 2.1.

En columnas pequeñas, de 3  $\frac{1}{2}$  pies y menores, generalmente se recomienda el empleo de empaque, sin embargo cuando se desea obtener una alta flexibilidad operacional, se manejan varias extracciones y/o alimentaciones, cuando se esté probando una planta a escala piloto o simplemente porque así lo solicita el cliente deberán emplearse platos de diámetro pequeño conocidos como cartuchos.

Estos platos pueden ser de cualquier tipo, perforados, de cachuchas, de válvulas fijas o móviles, etc. y los fabricantes los surten preensamblados en paquetes de 5 a 7 platos, generalmente y con una longitud aproximada de 12 pies/paquete.



**FIG. 2.2 PLATOS TIPOS CARTUCHO**

Las partes componentes de los platos cartucho son iguales a las de un plato común, excepto por algunas características diferentes como son que emplean bajantes encerrados por la superficie del plato en lugar de las bajantes comunes limitadas por la coraza de la torre. Estos platos de pequeño diámetro (1 a 3 ½ pies) no requieren aro-soporte, para su instalación se utilizan varillas atiesadoras y un anillo de sello el cual además impide al líquido fluir a través del espacio comprendido entre el plato y la pared de la columna. Para el ensamble de los diferentes paquetes en el interior de la columna, ésta debe contar con registros de mano (hand holes) en diferentes puntos de la columna.

Columnas con este tipo de platos pueden incluir cualquiera de los accesorios de una columna de diámetro grande como son platos chimenea, extracciones parciales, mallas separadoras, etc.

Algunas características de los platos cartucho se muestran en la figura 2.2.

## 2.2 BAJANTES <sup>(3) (5)</sup>.

Los platos de equilibrio por etapas tienen ciertas características que los distinguen de los dispositivos de contacto de fraccionamiento diferencial tales como las columnas empacadas. Una de las principales diferencias es que, para conducir el líquido de un plato a otro se hace uso de conductos que restringen casi totalmente el contacto entre el líquido y el vapor al que ocurre sobre la superficie del plato, dichos conductos reciben el nombre de bajantes.

Las bajantes son diseñadas para proporcionar una adecuada capacidad de manejo de líquido para la columna de destilación y, al mismo tiempo, ocupar un mínimo del área transversal del plato, a fin de que el área activa del plato sea máxima.

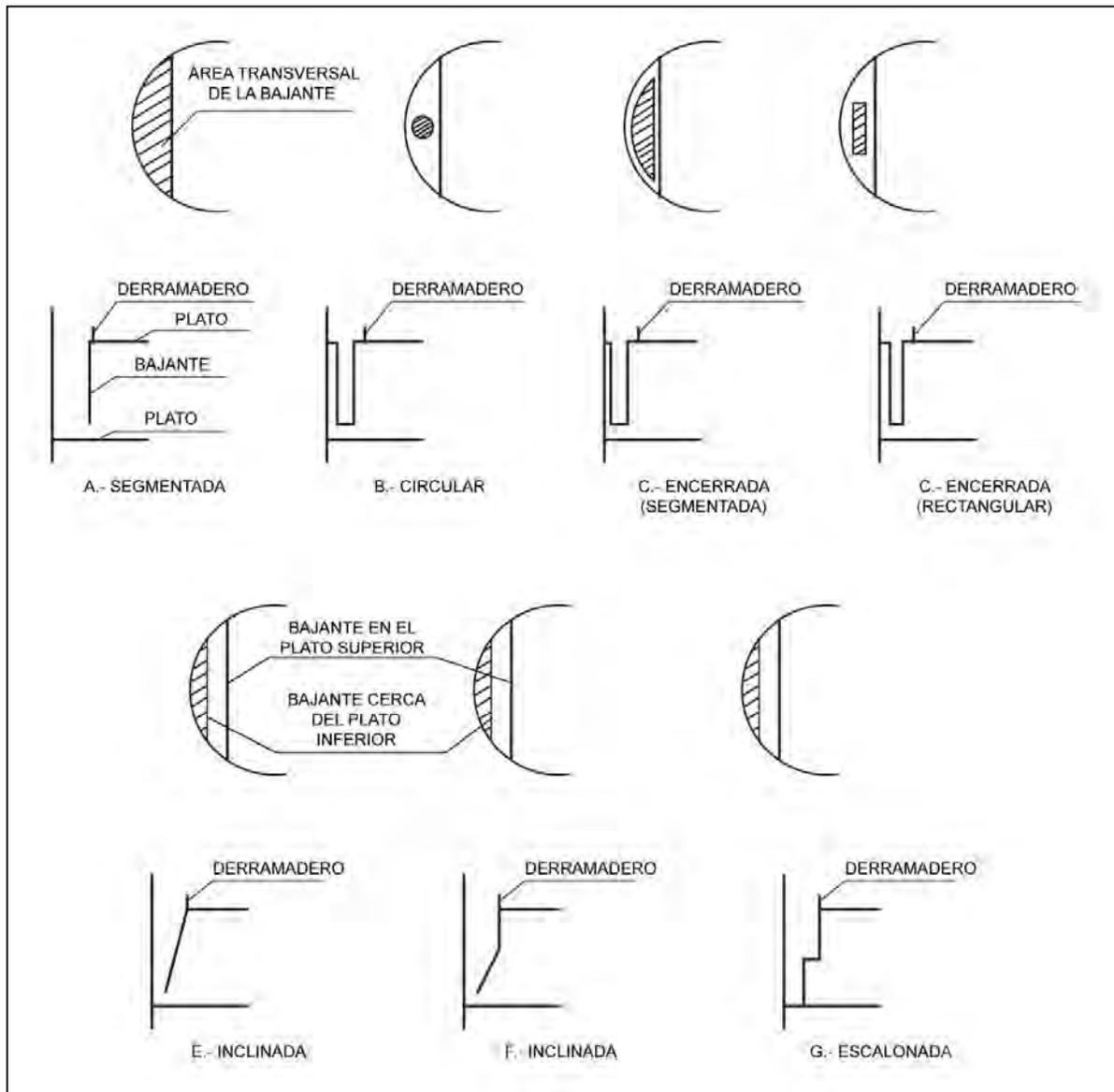


FIG. 2.3 TIPOS DE BAJANTES

Los vertederos o bajantes pueden ser circulares, segmentados ó rectangulares; diferentes modelos de ellos se muestran en la figura 2.3.

Las principales diferencias son las áreas de la sección transversal y la inclinación ó pendiente de la parte recta de la bajante (faldón de la bajante) que se extiende hacia abajo para el descenso del líquido.

La figura 2.3.a muestra una bajante vertical segmentada, la cual es el tipo más comúnmente usado en columnas de destilación, es el modelo más simple y económico; en este tipo de bajante la coraza de la torre forma una de las paredes de la bajante y el líquido fluye hacia abajo a través del área existente entre el extremo de un segmento de círculo y la pared de la columna.

La figura 2.3.b muestra una bajante circular. Su principal aplicación es en el caso de flujos de líquido extremadamente pequeños. Por esta razón son empleados sólo en columnas chicas a escala de planta piloto cuando las bajantes segmentadas no son apropiadas.

Las Figuras 2.3.c y 2.3.d ilustran tipos de bajantes envueltas, las cuales son empleadas principalmente en platos tipo cartucho pues permiten la colocación del anillo que sella el espacio entre la pared de columna y el plato. En general este tipo de bajante no se emplea para otro servicio.

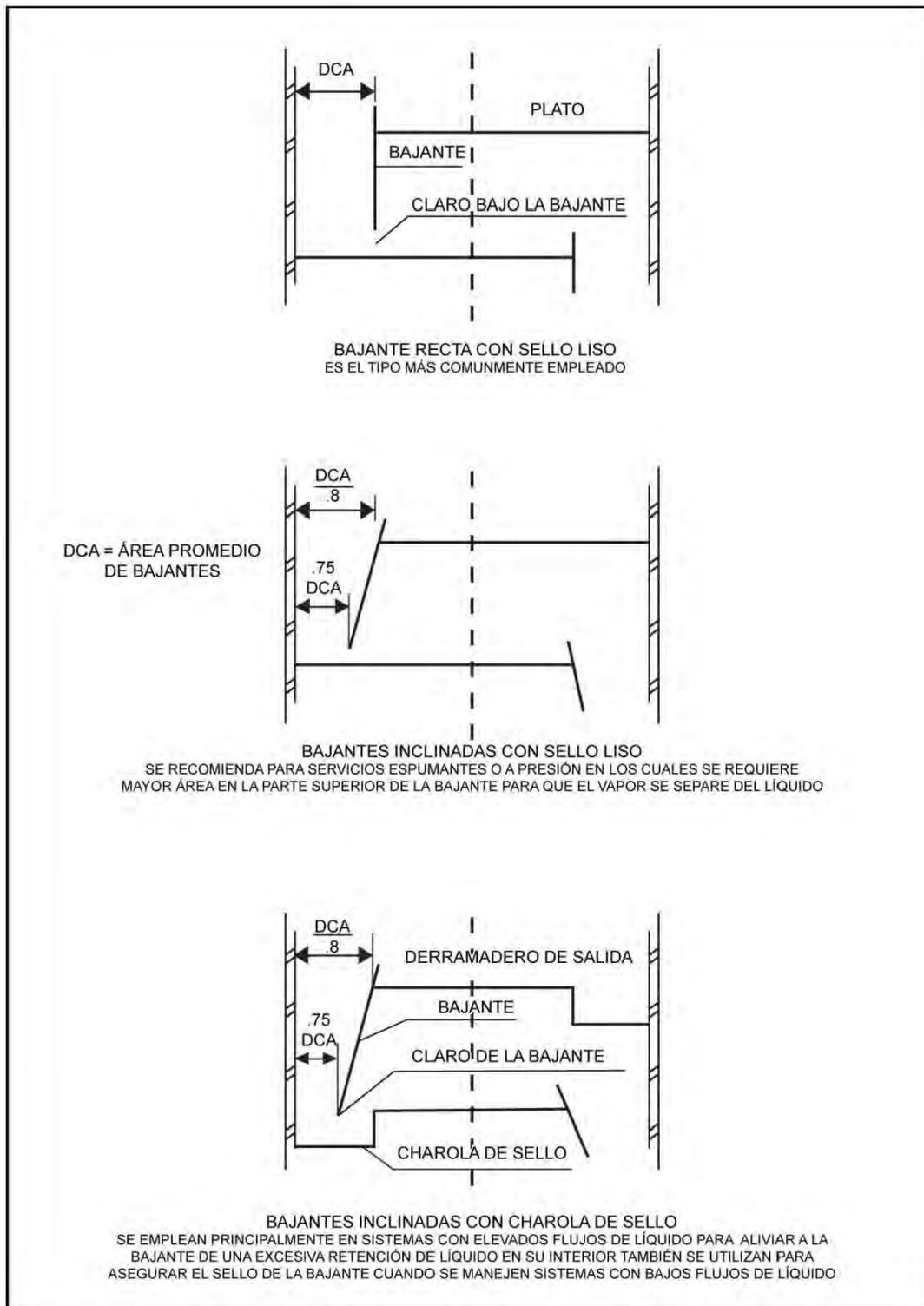
Las figuras 2.3.e y 2.3.f muestran arreglos de bajantes inclinadas. Este tipo de vertederos proporciona el volumen suficiente para separar el líquido y el vapor en su parte superior sin desperdiciar el área activa del plato inferior; además se emplean también cuando se desea disponer de una mayor superficie para la colocación de válvulas ó perforaciones. Estas bajantes son particularmente útiles cuando la separación del líquido y del vapor es difícil (sistemas espumantes, servicios a elevadas presiones) y cuando las bajantes ocupan una porción significativa en el área del plato (servicios con elevados flujos de líquido). Algunos fabricantes de platos recomiendan su empleo en todos los casos excepto para espaciamentos pequeños, en los cuales presentan problemas de construcción.

Otro tipo de bajantes son las escalonadas, las cuales se muestran en la figura 2.3.g, presentan características similares a las inclinadas.

La capacidad de la bajante deber ser diseñada para la máxima carga de líquido, además debe proporcionarse en la bajante, el tiempo de residencia suficiente para llevar a cabo la total separación entre el vapor y el líquido a fin de que éste libre de vapor cuando entre al plato inferior pues esto disminuye la eficiencia del fraccionamiento, además una inadecuada eliminación del vapor en el vertedero podría ocasionar el inundamiento de la bajante al aumentar excesivamente la altura de la espuma en su interior.

Para el dimensionamiento de las bajantes pueden emplearse los criterios: koch-Glitsch siguen el criterio de velocidad máxima permisible en la parte superior (a la entrada) de la bajante, así que al emplear bajantes inclinadas se restringe su parte inferior sin que por ello se afecte la capacidad del vertedero. La limitación que tiene lo anterior es que el área en la parte inferior de la bajante no debe ser menor al 50% de la existente en la parte superior. Sulzer basa su dimensionamiento en el tiempo de

residencia del líquido en la bajante y para dimensionar bajantes inclinadas deberán seguirse los criterios mostrados en la figura 2.4.



**FIG. 2.4 TIPOS DE BAJANTES**

Para mayor información de los criterios usados por estos fabricantes, referirse al capítulo 5 del presente trabajo.

Las bajantes se construyen generalmente del mismo material y calibre que el empleado para los platos.

Se recomienda dimensionar las bajantes dentro de los rangos indicados en la siguiente tabla:

AREAS MAXIMAS Y MINIMAS PARA UNA BAJANTE LATERAL. PORCENTAJE DEL AREA DE LA COLUMNA.						
NUMERO DE PASOS	BAJANTE RECTA		BAJANTE INCLINADA			
			ARRIBA		ABAJO	
	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
1	7	40	13	45	7	24
2	6	20	10	24	6	12
3	5	12	8	15	5	8
4	4	8	7	11	4	6

### 2.3 CLARO BAJO LA BAJANTE

El borde inferior de la bajante deberá mantenerse a una determinada distancia sobre la superficie del plato para permitir la salida del líquido y formar un sello que impida el acceso al vapor hacia el interior de la bajante y obligue a éste a pasar únicamente a través del área activa del plato. Esta distancia es a lo que se denomina como claro bajo la bajante.

Los principales factores 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 algunas aplicaciones (particularmente con elevados flujos de líquido) el claro bajo la bajante puede ser mayor que la altura del derramadero, porque la caída de presión del plato hará que se retenga suficiente líquido en la bajante para salvar la diferencia entre la altura del derramadero y el claro. Si el claro bajo la bajante es muy pequeño se puede incrementar substancialmente la retención del líquido en la bajante y consecuentemente se reducirá su capacidad. Si el servicio es incrustante, impurezas y polímeros pueden acumularse bajo la bajante y restringir el área de flujo causando una excesiva retención del líquido e inundamiento prematuro. Ahora, si el servicio es corrosivo, el área bajo la bajante se ampliará durante el servicio y puede evitar la formación del sello hidráulico.

Las consideraciones más importantes para fijar la altura del claro bajo la bajante son el nivel del líquido retenido en ésta y el mantener su sello estático. Se recomienda fijar el claro a media pulgada menos que la altura del derramadero, pero deberá ser siempre mayor a media pulgada; o bien para que la caída de presión en el área bajo la bajante no exceda a 1.5 pulgadas de líquido caliente y que preferentemente esté comprendida entre 0.4 y 0.7 pulg. de líquido caliente. Cualquiera de estos criterios aplica pero siempre deberá checarsé la altura del líquido en la bajante, si ésta rebasa los

límites recomendados deberá incrementarse el claro y si fuera necesario añadir una charola de sello al plato para conservar el sello de la bajante.

El claro bajo la bajante se instalará con una tolerancia de  $\pm 1/8$  de pulgada.

#### **2.4 DERRAMADEROS DE ENTRADA**

Los derramaderos de entrada garantizan el sello de la bajante en cualquier condición de operación y además brindan una buena distribución del líquido que entra al plato, sin embargo no se recomienda su empleo pues presentan las siguientes desventajas: Ocupa espacio disponible para área activa, el derramadero es una barrera que encuentra el líquido el cual a causa de la inercia salta y golpea las válvulas impidiendo su adecuado funcionamiento en las primeras filas del plato, si el servicio es sucio se tendrá una reducción en el área de flujo para el líquido que sale de la bajante cuando se forman sedimentos lo cual ocasionará que se incremente la altura del líquido retenido en la bajante pudiendo ésto provocar inundamiento.

Cuando se requiera usar un derramadero de entrada deberá evitarse que éste tenga una altura excesiva, ya que puede limitar la capacidad de la bajante. La distancia entre la bajante y el derramadero no debe ser menor que el claro bajo la bajante y deberán colocarse agujeros de drene en la zona encerrada por el mismo. Si el servicio es muy sucio convendrá colocar al menos dos ranuras de  $\frac{3}{4}$  x 1 pulgada en el derramadero y a nivel con el piso del plato, para ayudar a disminuir la acumulación de sedimentos.

#### **2.5 CHAROLAS DE RETENCION Ó SELLO**

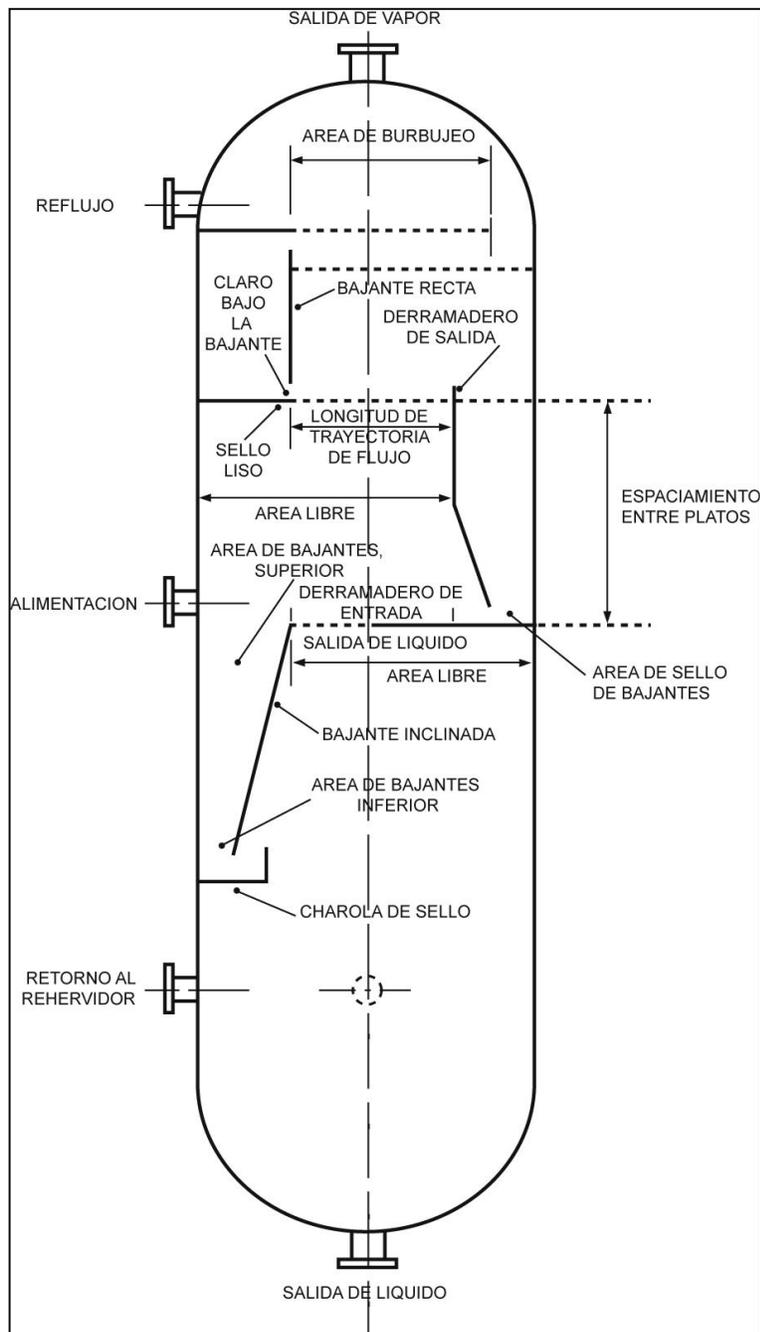
Una charola de sello es esencialmente un recipiente dentro del cual la bajante se extiende y desde donde el líquido fluye hacia la superficie del plato <sup>(3)</sup>.

Las charolas de sello proporcionan un sello positivo a la bajante en todas las condiciones de operación, distribuyen el líquido que entra al plato igual que lo haría un derramadero de entrada pero hacen que éste tome un movimiento vertical ascendente que favorece la aereación del líquido contrariamente a lo que ocurre con los derramaderos de entrada, además disminuyen la altura del líquido retenido en la bajante, incrementan la capacidad del vertedero y permiten el empleo de menores espaciamientos entre los platos.

La principal desventaja de las charolas de retención es que contienen áreas en las cuales se pueden acumular sedimentos y son un poco más costosas que el empleo de áreas de sello lisas; sin embargo los beneficios que se obtienen casi siempre justifican el incremento en el costo del plato. No se recomiendan para servicios muy sucios, pero si fuera inevitable su empleo el claro bajo la bajante sería de 2 pulgadas mínimo.

Se sugiere que cuando se empleen charolas de sello se sigan las siguientes recomendaciones:

- 1) El faldón de la bajante deberá extenderse una o dos pulgadas por debajo del nivel del plato para garantizar el sello de líquido; 2) el área del claro que cruza el líquido en su trayectoria ascendente hacia el plato deberá ser mayor o igual que el área del claro bajo la bajante para evitar restricciones al flujo del líquido; 3) deberán colocarse agujeros de drene en el fondo de las charolas; 4) La profundidad normal de las charolas es de 4 pulgadas, pero para aplicaciones en las que se manejen altos flujos de líquido se emplearán 6 pulgadas. La profundidad de las charolas no deben ser mayor al 25% del espaciamiento entre platos.



**FIG. 2.5 TORRE DE PLATOS**

La bajante del plato de fondos o de un plato en el que se vaya a tener un cambio en el número de pasos también debe mantener un sello de líquido en la bajante que impida que el vapor penetre en su interior. Para ello es indispensable el empleo de las charolas de sello, las mismas consideraciones que aplicaron para las charolas de retención empleadas a la entrada de los platos se usarán en este caso, considerándose factores adicionales como son: el claro entre el fondo de la bajante y el piso de la charola deberá diseñarse de tal forma que se tenga una mínima restricción al flujo de líquido y una muy baja caída de presión. Este claro será mayor que el claro normal bajo las bajantes de los otros platos y será de dos pulgadas como mínimo debido a que la charola de sello del plato de fondos es una de las áreas más sensibles a la acumulación de sólidos. En algunas ocasiones la profundidad de la charola del plato de fondos deberá ser mayor que la de las otras para tratar de satisfacer lo señalado anteriormente. Fig. 2.5.

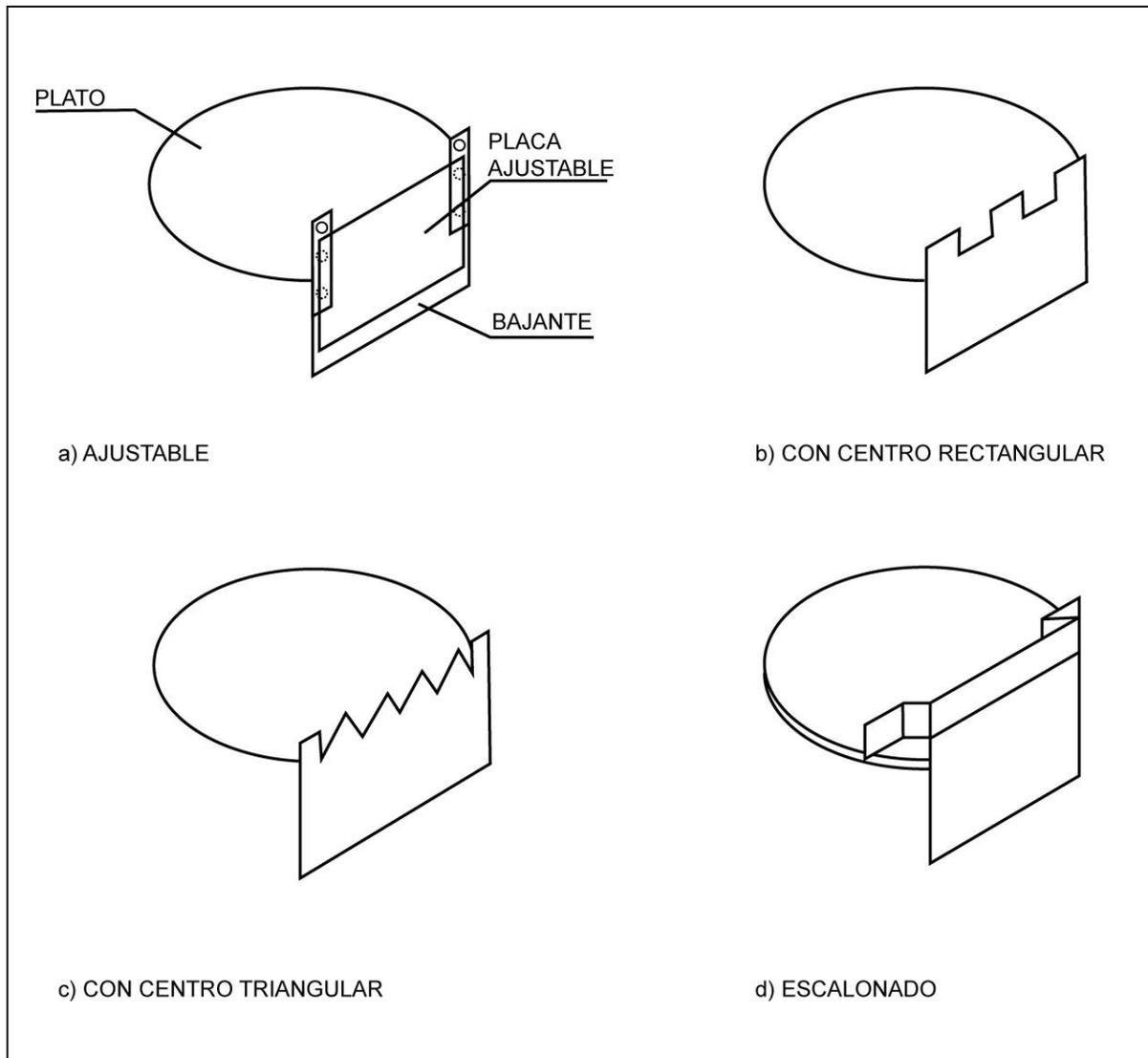
## **2.6 DERRAMADEROS DE SALIDA.**

Los derramaderos de salida son barreras metálicas que se emplean para mantener una determinada altura o nivel de líquido sobre el plato, lo que permite que el vapor proveniente del plato inferior burbujee a través de una capa de líquido y exista un contacto entre las fases cuya duración será función principalmente de la profundidad de la carga de líquido sobre el plato. Los derramaderos son usualmente una extensión de la bajante. En ocasiones se emplean derramaderos ajustables, los cuales permiten variar la altura del derramadero sin que haya necesidad de mover la bajante; cuando estos se usen debe tenerse cuidado en su instalación pues si quedaran desnivelados ocasionarán una mala distribución del líquido sobre el plato. La tolerancia para la colocación de los derramaderos de salida es usualmente 1/16 a 1/8 de pulgada.

La altura del derramadero de salida está determinada generalmente por la profundidad requerida del líquido sobre el plato (a mayor profundidad, mayor eficiencia pero mayor caída de presión y mayor arrastre). Para la mayoría de los servicios a presión se recomienda una altura de 2 pulgadas y para servicios a vacío 1 pulgada es un valor común. La altura mínima recomendable es de ½. La longitud de los derramaderos varía de acuerdo al tipo de bajante en el cual vaya a colocarse. Así por ejemplo en bajantes segmentadas su longitud varía de 0.5 a 0.8 veces el diámetro de la columna y en bajantes centrales su longitud será prácticamente igual al diámetro de la torre.

Los derramaderos más comunes son rectos, sin embargo, se emplean derramaderos escalonados cuando se desee incrementar la longitud del derramadero de una bajante segmentada (para disminuir la altura del líquido que fluye sobre él y así la caída de presión del plato).

La longitud del derramadero debe diseñarse para mantener una cresta de líquido de ¼ ó ½ pulgada como mínimo para lograr una buena distribución del líquido. Cuando se tengan muy bajos flujos de líquido y no se pueda mantener la altura mínima sobre el derramadero se recomienda el empleo de derramaderos dentados con ranuras que pueden ser triangulares o rectangulares. Algunos fabricantes recomiendan que se coloquen baffles verticales de 8 ó 10 pulgadas más altos que la altura del derramadero, los que bloquearán parcialmente al derramadero disminuyendo la longitud sobre la cual fluirá el líquido y aumentando por lo tanto la altura de la cresta sobre él. Fig. 2.6.



**FIG. 2.6 ALGUNOS TIPOS DE DERRAMADEROS DE SALIDA**

## **2.7 MAMPARAS ANTISALTO**

Estas son placas metálicas suspendidas sobre el centro de las bajantes centrales e intermedias. La parte inferior de la mampara se coloca a la misma altura o un poco más abajo que el derramadero de salida. La parte superior del baffle estará entre 11 y 20 pulgadas sobre el piso del plato, su longitud será prácticamente la misma que la del derramadero de salida. Las mamparas antisalto se construyen comúnmente en tres partes siendo la central una entrada para hombre ó “manway”.

Se recomienda su empleo para evitar que el líquido de una sección del plato alcance la opuesta en lugar de dirigirse directamente hacia el interior de la bajante. Esta situación se presenta principalmente a elevados flujos de vapor y el defecto es mayor cuando se maneja mucho líquido. Cuando esto ocurre la columna podría inundarse a causa de la excesiva acumulación de líquido en el plato.

Se sugiere emplear mamparas antisalto cuando la carga de vapor por pie cuadrado de área activa exceda al valor límite. Este límite es:

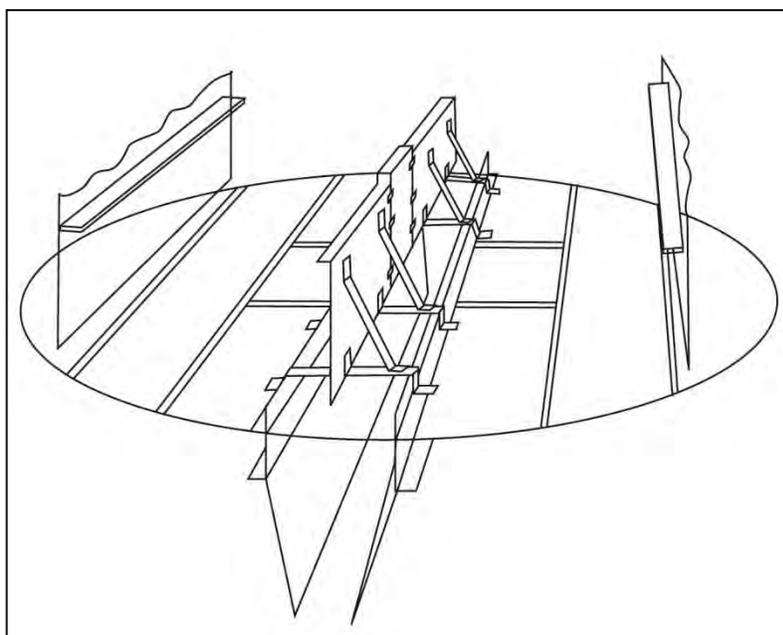
$$(V_{LOAD}/AA)_{LIM} = 0.336 - 0.0192(GPM/WFP)$$

$V_{LOAD}$  = Carga de vapor, pcs.

AA = Area Activa, pies cuadrados

GPM = Flujo de líquido

WFP = Anchura de la trayectoria de flujo, pulgadas.



**FIG. 2.7 MAMPARA ANTISALTO**

Otro criterio más conservador, sugiere el uso de mamparas antisalto cuando el salto de líquido sobre el derramadero es mayor al 60% de la anchura de la bajante. Fig. 2.7.

## **2.8 MAMPARAS ANTIESPUMA.**

Cuando se manejan sistemas espumantes se dificulta la separación entre las fases líquida y vapor y esto disminuye la capacidad de la bajante; para evitar este problema se recomienda usar una mampara antiespuma. Esta es una placa metálica que se extiende a lo largo del derramadero de salida

y se coloca de 2 a 3 pulgadas sobre éste para bloquear el movimiento de la espuma hacia el bajante y hacer que únicamente líquido claro sea lo que entre en su interior.

La desventaja que presenta el empleo de estas mamparas es que reducen el área libre y por lo tanto se incrementa el arrastre en el plato lo cual disminuirá la capacidad de la columna.

## **2.9 REGISTROS DE HOMBRE (manholes)**

La entrada al interior de una torre de destilación se hace a través de los registros de hombre. Ordinariamente éstos se encuentran colocados cada 10 ó 20 platos. Cuando se prevea un servicio de limpieza frecuente, o si los platos son grandes y el proceso de removerlos a través del registro de hombre es lento, deberá usarse el menor número. El diámetro del registro es importante pues de eso depende el número de partes de que constará el plato pues las secciones de éste pasarán a través del registro para armar el plato dentro de la columna. El registro para el domo de la columna comúnmente es mayor que los registros para los puntos intermedios.

Frecuentemente, el espaciamiento de los platos debe incrementarse localmente para ser mayor que el diámetro del registro de hombre, un registro de 18-20 pulgadas requerirá un espaciamiento entre platos mínimo de 24 pulgadas, por eso se recomienda instalar los registros en el espacio que se encuentra sobre los platos de alimentación pues aquí el espaciamiento entre los platos generalmente es mayor que en el resto de la columna. Si se hace lo anterior, deberá tenerse cuidado para que las boquillas de alimentación y los distribuidores no impidan la entrada del personal a la columna. Cuando sea posible todos los registros de hombre deben estar orientados en la misma dirección.

Para minimizar un posible daño a los internos de las columnas debe tenerse cuidado en no localizar al registro de hombre en el área de sello de la bajante.

Generalmente se coloca un registro en donde se tenga tubería interna, para dar mantenimiento a los internos.

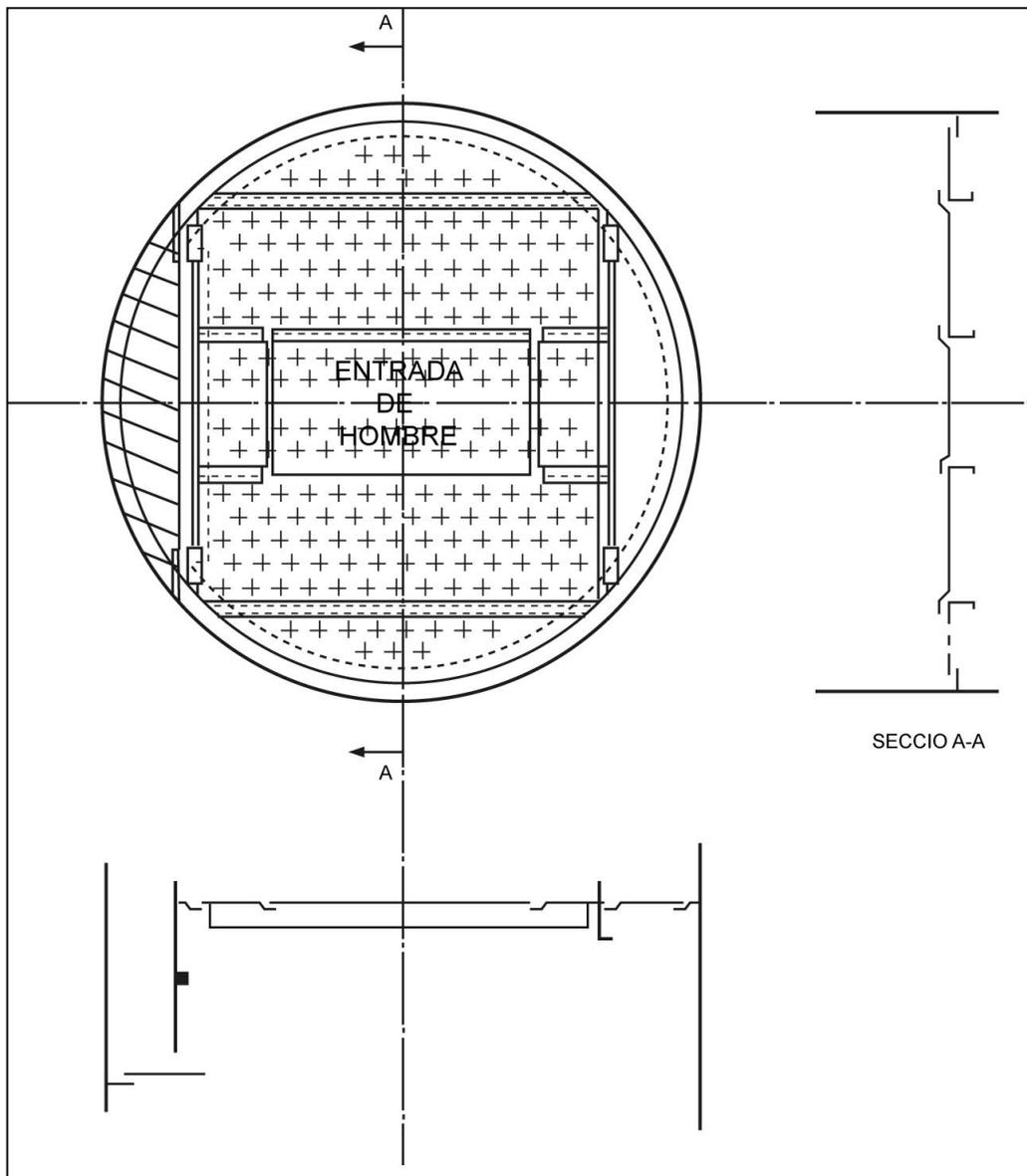
El número de registros de hombre en la columna puede minimizarse si para dar mantenimiento a los platos no es necesario sacarlos de la torre.

## **2.10 ENTRADAS DE HOMBRE (manways)**

Las entradas de hombre permiten a los trabajadores pasar de un plato a otro en el interior de la columna. Estas entradas son secciones del plato removibles tanto por arriba como por su parte inferior, las cuales deben ser de un tamaño adecuado, pues si fueran muy pequeños no permitirían el paso al personal con herramientas y si fueran excesivamente grandes pesarían demasiado haciendo muy laboriosa su remoción e instalación ó quizá no pasarían a través de los registros<sup>(4)</sup>.

Las entradas de hombre son generalmente rectangulares con un tamaño mínimo de 12 x 16 pulgadas y con un peso máximo de 65 libras. Para torres grandes es común una entrada de 24 x 24 pulgadas. Se recomienda que la longitud máxima de las entradas de hombre sean 43 pulgadas.

En platos de varios pasos deberá colocarse una entrada de hombre en cada una de las trayectorias de flujo pues las bajantes impiden el acceso a lo largo del plato. Igual ocurre en los platos de gran diámetro que requieran vigas soporte y deberá colocarse una entrada de hombre en ambos lados de cada viga.



**FIG. 2.8 ENTRADA DE HOMBRE**

Cuando se vaya a tener mantenimiento continuo del interior de la columna convendrá colocar los conductos semialineados para permitir que el personal pueda permanecer de pie y que pueda pasar fácilmente con luces, herramientas, etc. Fig. 2.8.

## 2.11 ARO SOPORTE

El aro soporte es un anillo metálico que se suelda a la coraza y que se utiliza para soportar el plato. Este aro deberá ser instalado por los fabricantes de la coraza y formarán parte integral de la misma. El arillo no deberá extenderse dentro del área efectiva de la bajante pues puede disminuir la capacidad de ésta; además deberá evitarse perforar el plato en la zona que quedará sobre el aro soporte pues esto reducirá la efectividad del sostén, particularmente en servicios corrosivos; las válvulas deberán colocarse dejando una separación de 1 ¼ pulgadas desde el centro de la válvula hasta el aro soporte como mínimo. Se recomienda las siguientes dimensiones para el aro soporte en función del diámetro de la columna.

Diámetro de la torre	Acero al carbón	aleación
5' y menores	1 ½" x ¼"	1 ½" x ¼"
5' 6" – 7' 6"	2" x ¼"	2" x ¼"
8' 0"- 10' 0"	2 ½" x ¼"	2 ½" x ¼"
10' 6" – 11' 6"	2 ½" x 3/8"	2 ½" x ¼"
12' 0" -15' 0"	3" x 3/8"	3" x ¼"
15' 6" – 20' 0"	3 ½" x 3/8"	3 ½" x ¼"

## 2.12 CANALES Y VIGAS SOPORTE

Los canales y las vigas de soporte se emplean para soportar el plato junto con el aro soporte. Se recomienda colocar las canales paralelamente al flujo de líquido en columnas menores a los 12 pies de diámetro, sin embargo esto no es una regla y pueden colocarse también transversalmente.

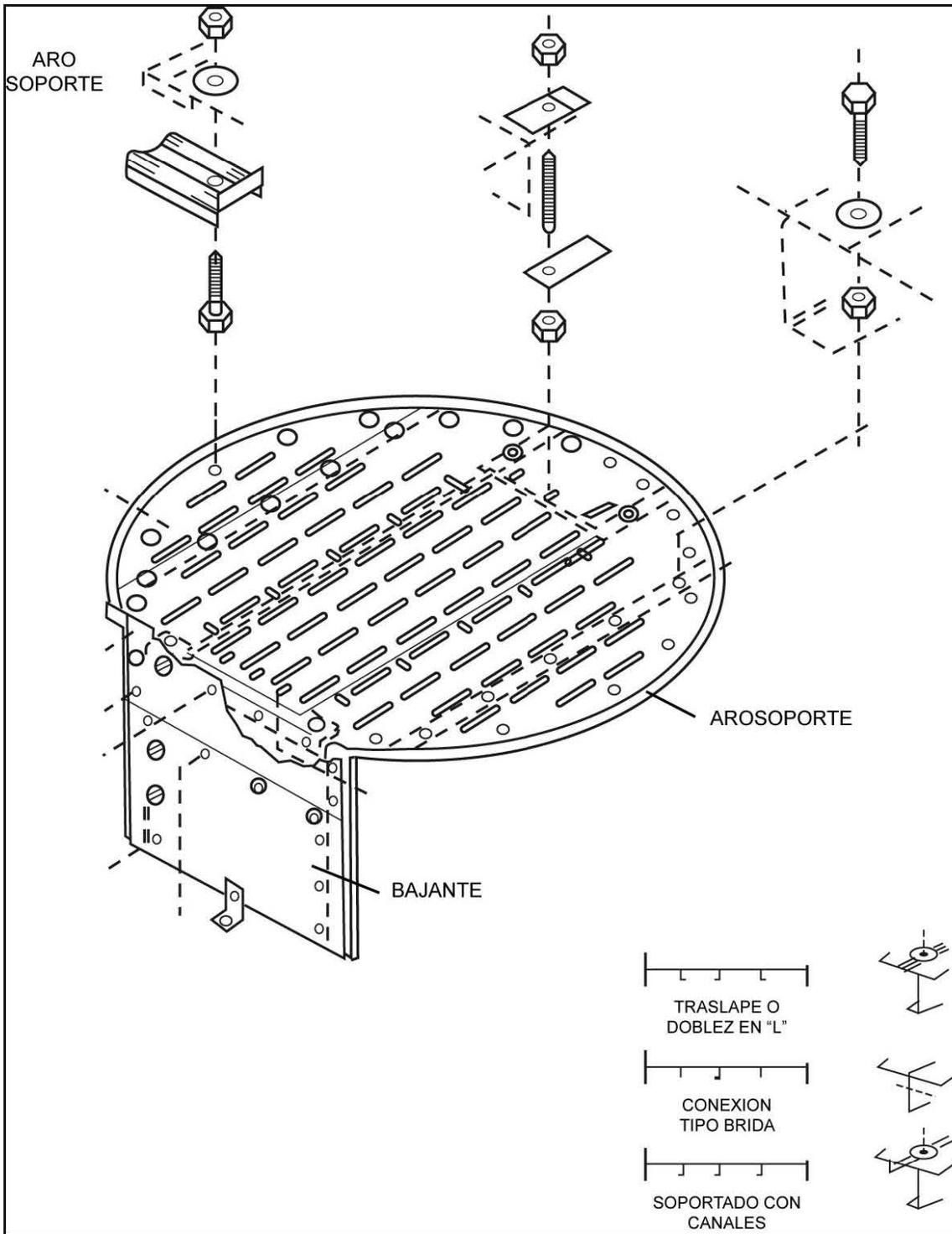
En torres de un diámetro mayor deberá emplearse además una o varias vigas soporte, en este caso la viga se sujetará a la pared de la columna y se colocará paralela al flujo de líquido mientras que las canales lo harán perpendicularmente. Se recomienda emplear 2 vigas soporte cuando el diámetro del plato sea mayor a 18 pies.

Las canales y vigas de soporte deberán diseñarse para que la deflexión del plato no exceda los límites permitidos  $\pm 1/8$  pulg. para columnas menores que 8 pies de diámetro y para columnas mayores  $\pm \frac{\text{diám. (pulg)}}{720}$ .

Las canales son fabricadas para soportar sobre el plato no sólo cargas dinámicas sino que resistirán una carga localizada de 200 a 300  $\text{lb}/\text{pie}^2$  sobre cualquier punto del plato sin exceder sus límites de resistencia.

Las canales de soporte se construyen en acero al carbón calibre 10 ó en aleaciones resistentes a la corrosión de calibre 12. Las vigas de soporte se fabrican en acero al carbón de calibre 7.

En los platos que se fabrican actualmente, las canales son parte integral de las placas que constituyen el plato al dar a uno de los extremos un doblez en forma de "L" que le proporciona una gran fuerza estructural para soporte.



**FIG. 2.9 DETALLES MECANICOS**

El aro, las canales y las vigas de soporte ocupan área que podría emplearse para colocar unidades de contacto, esta superficie desperdiciada es de un 10 a un 25% del área activa del plato también considerando que entre las válvulas y las vigas ó canales habrá que mantener una cierta distancia límite

por cuestiones mecánicas (la separación entre los centros de dos válvulas redondas continuas a lo largo de un canal de soporte es de 3 ½ a 4 ¼ pulg.). El efecto que sobre la eficiencia del plato causan estas restricciones no es muy grande ya que la espuma existente sobre el plato en su trayectoria hacia la bajante impide que se formen canalizaciones o zonas muertas en las cuales el contacto entre las fases no se efectuaría. Por el contrario sobre la caída de presión sí tiene cierta influencia ya que se tendrán menos unidades de contacto sobre el plato y entonces menos área de flujo para el paso del vapor con el consecuente incremento en la caída de presión; pero suponiendo que la caída de presión se elevase hasta un valor que rebasara lo permisible, esto podría corregirse modificando el arreglo de las válvulas para que se tengan más unidades por  $pie^2$  de área activa y por lo tanto más válvulas sobre el plato con lo cual disminuirá la caída de presión o bien usando unidades de un calibre (peso) menor. Fig. 2.9.

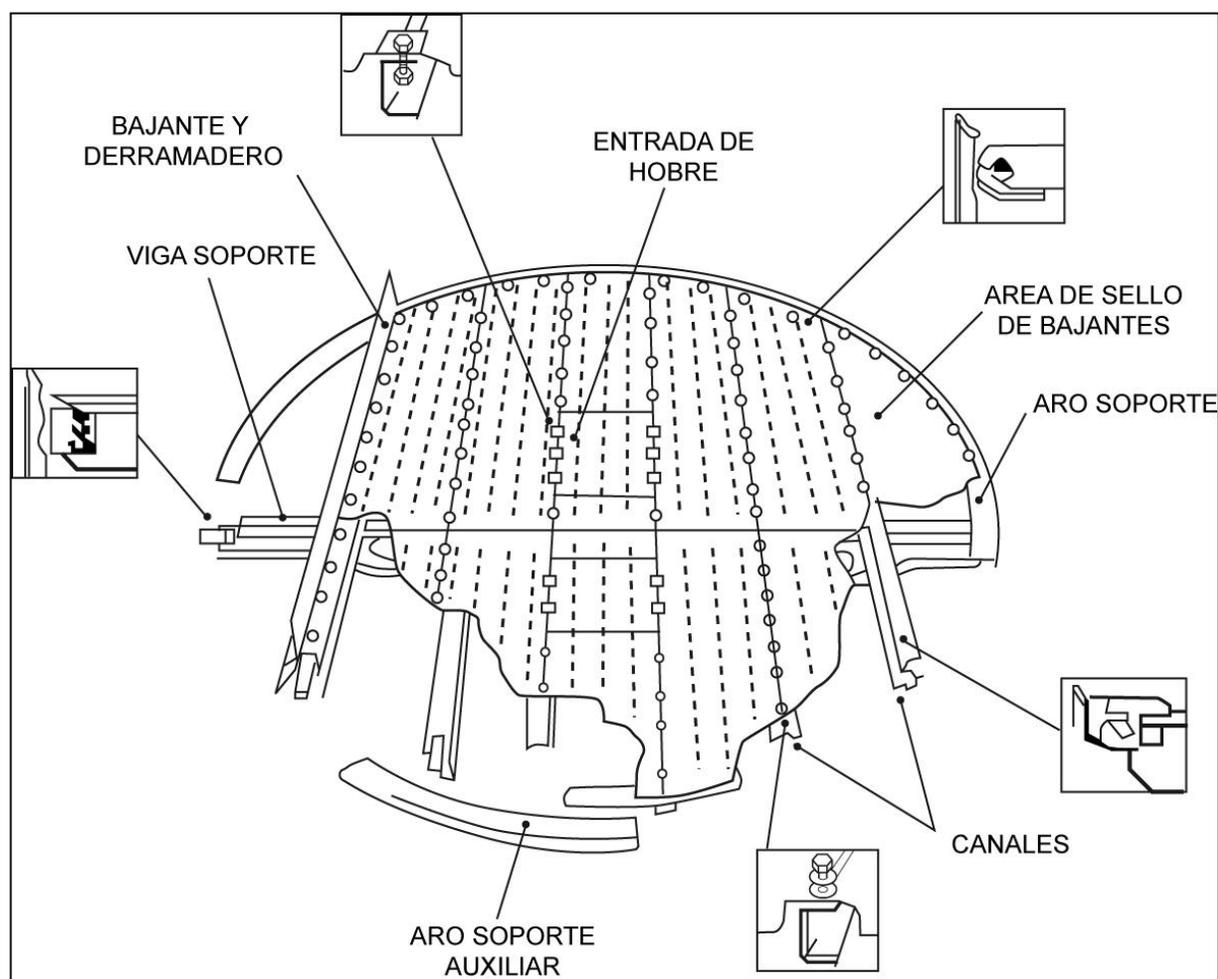


FIG. 2.9

### 2.13 TRANSICIONES Y CAMBIOS DE SECCION.

Frecuentemente el diseño no es el mismo para todos los platos de una columna. El número de pasos puede modificarse a fin de poder manejar las variaciones en el flujo de líquido que se tienen principalmente en donde entran alimentaciones y/o reflujos.

Para llevar a cabo estas transacciones se debe hacer que el líquido del plato superior se dirija hacia el área de sello para la bajante del plato inferior, la conducción del líquido hacia dichas áreas puede efectuarse por medio de tuberías o de charolas de transición, esta última es la forma más común y recomendable.

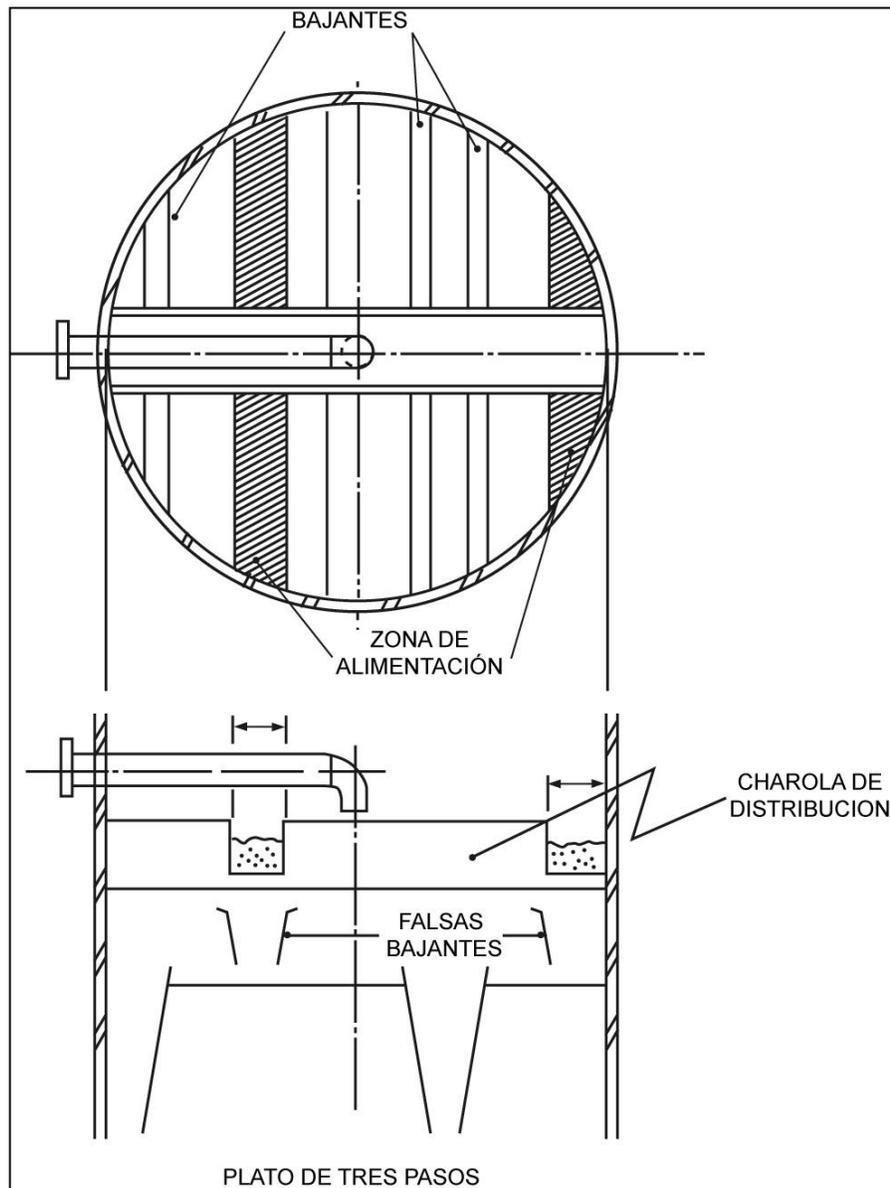
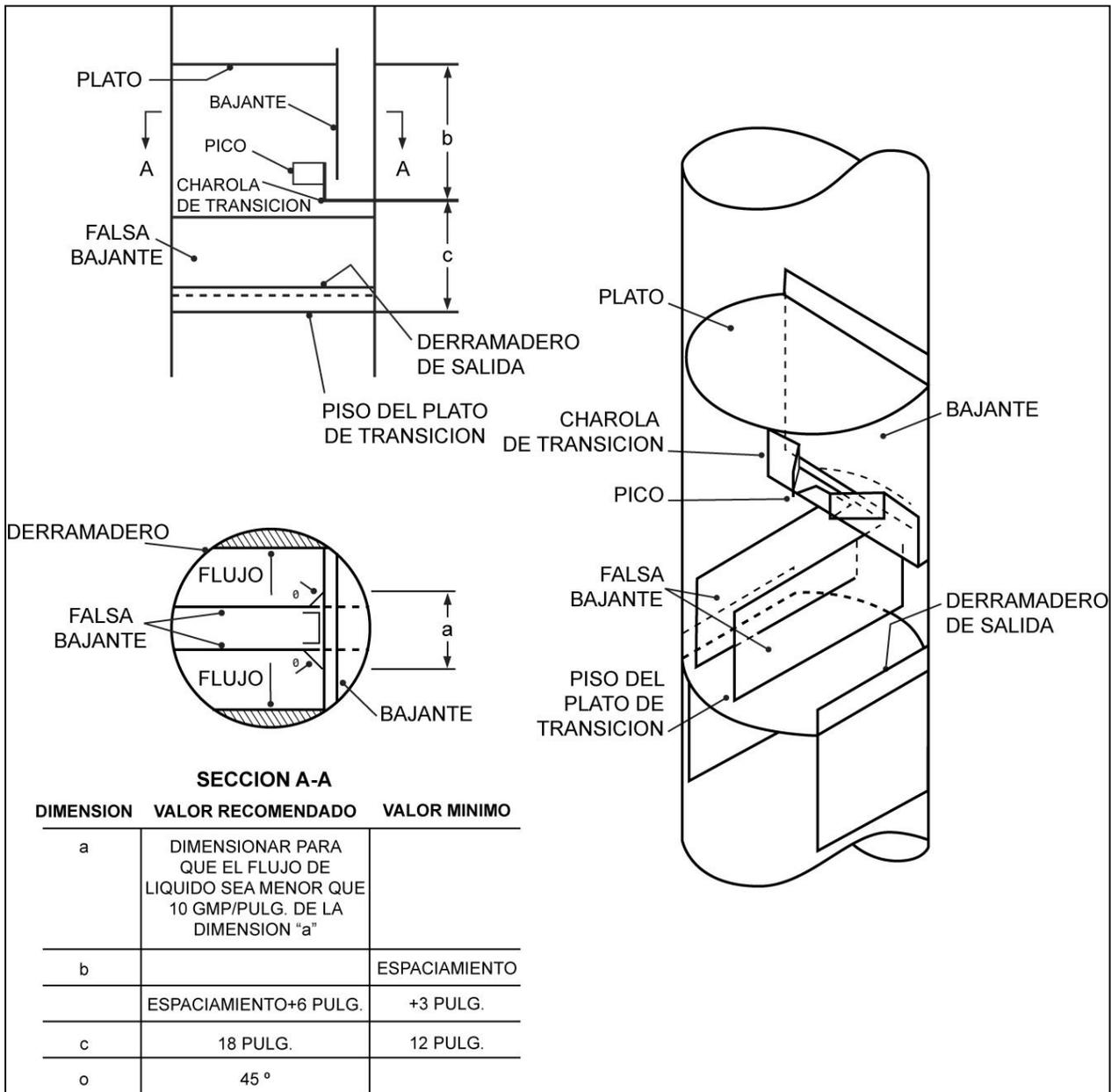
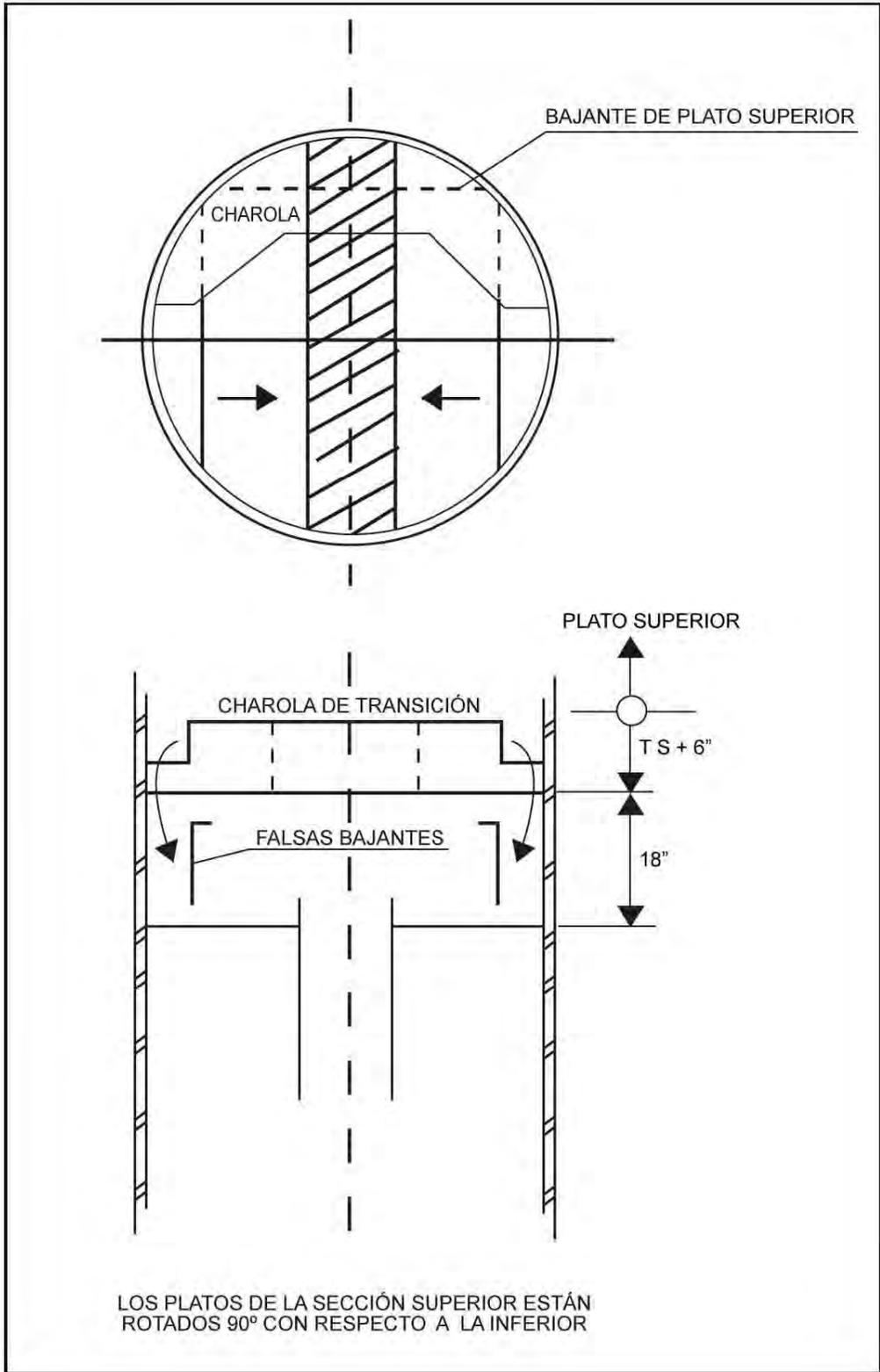


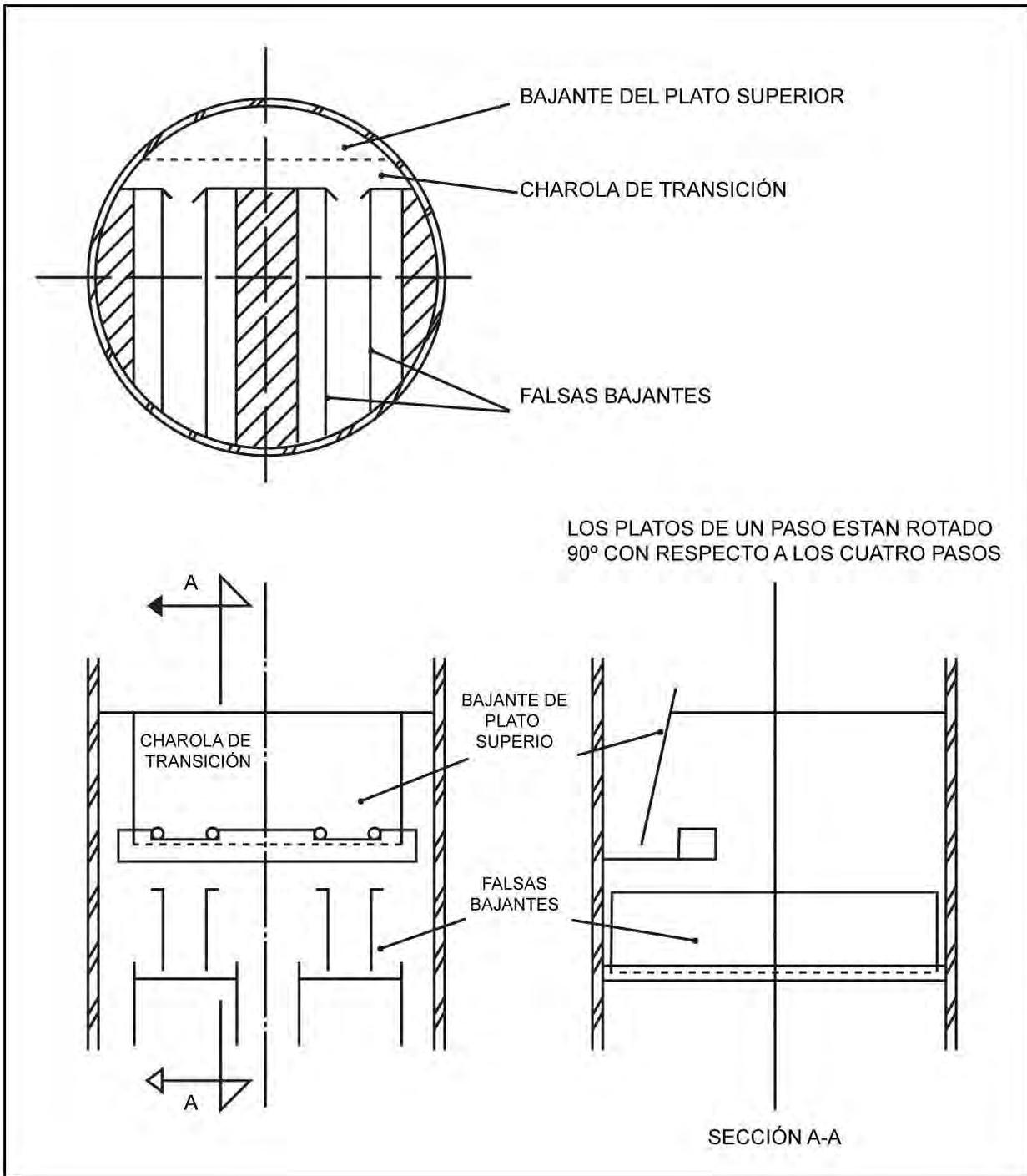
FIG. 2.10 ALIMENTACIÓN A PLATOS DE VARIOS PASOS (CUANDO SE REQUIERA UNA DISTRIBUCIÓN DESIGUAL)



**FIG. 2.10 CAMBIO DE 1 A 2 PASOS**



**FIG. 2.10 CAMBIO DE UNO A DOS PASOS**



**FIG. 2.10 CAMBIO EN EL NÚMERO DE PASOS (CAMBIO DE UNO A CUATRO PASOS)**

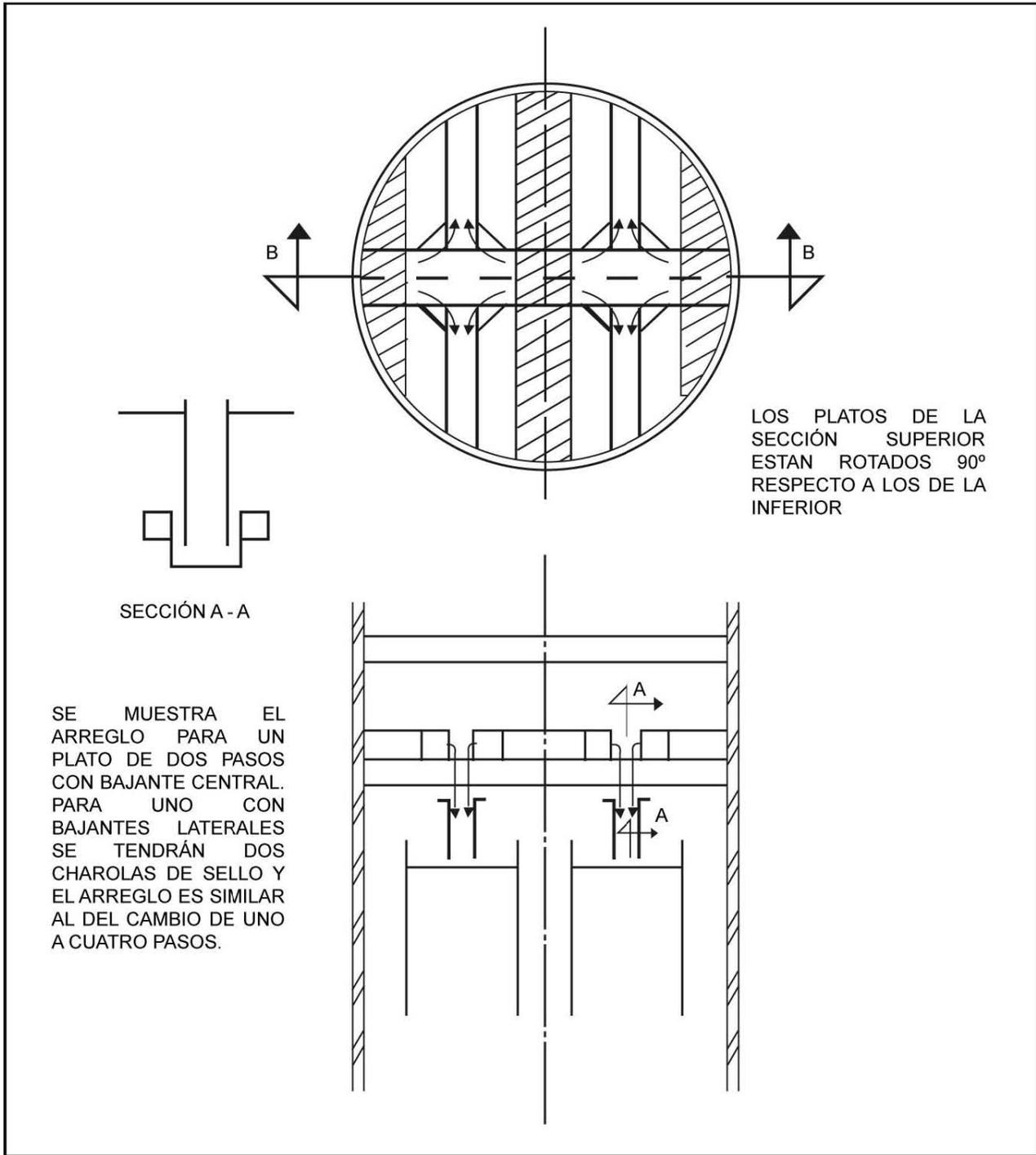
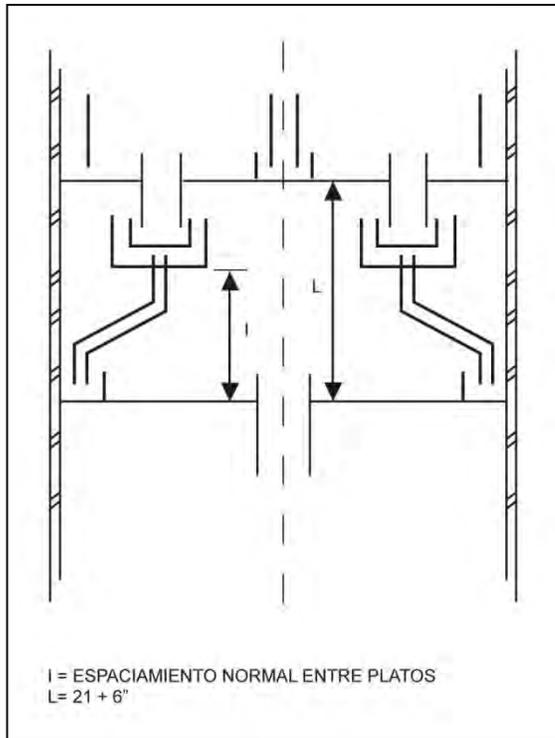
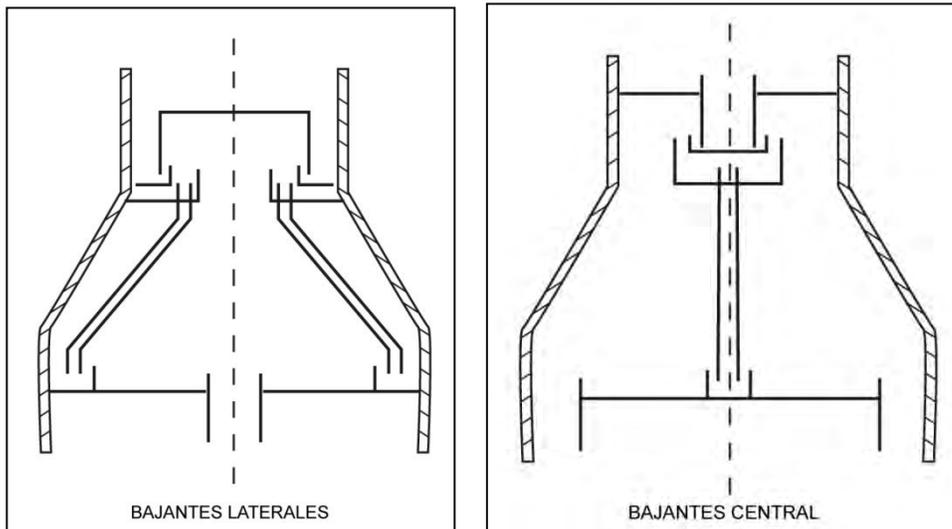


FIG. 2.10 TRANSICIÓN DE DOS A CUATRO PASOS

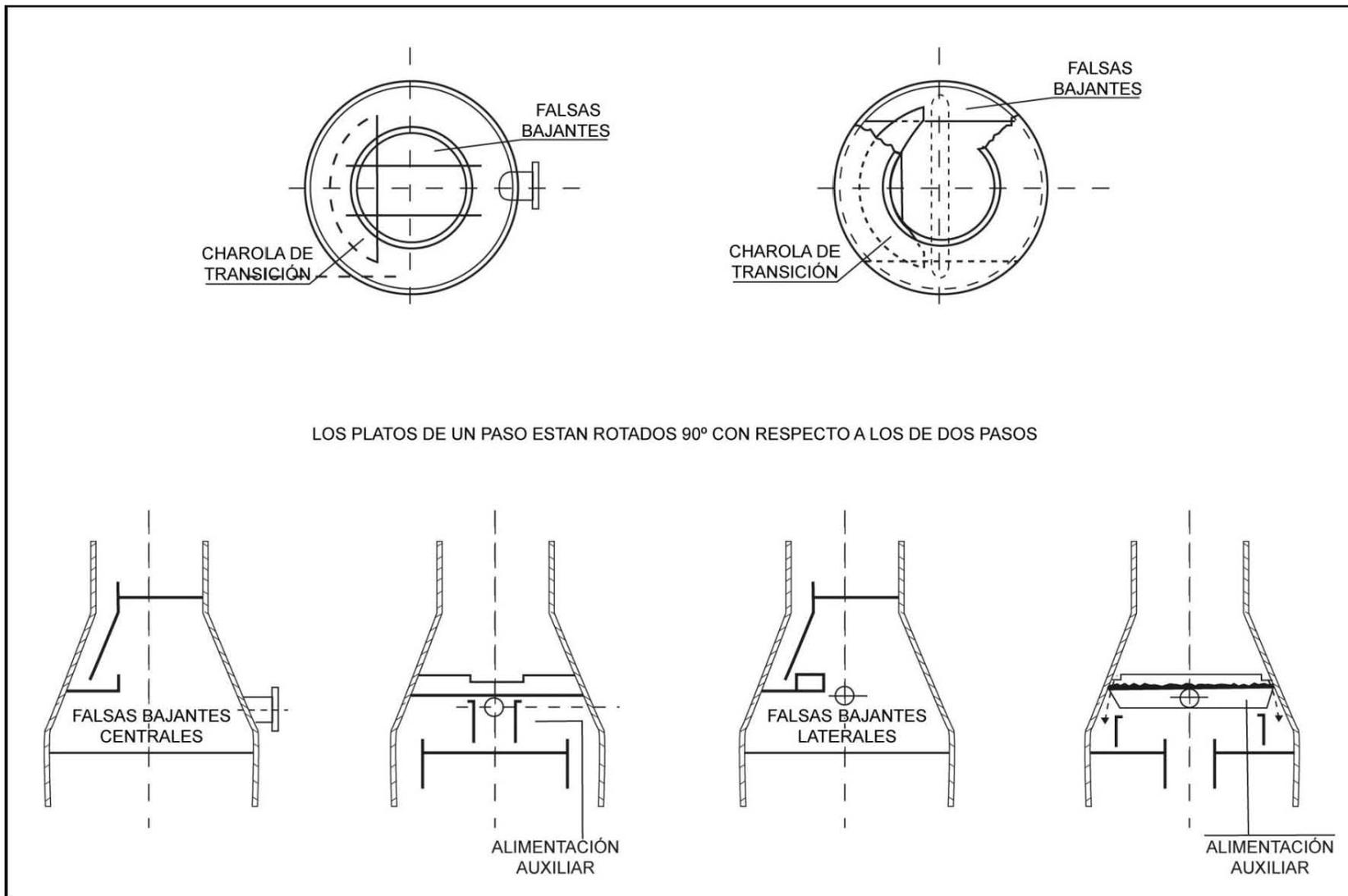


**FIG. 2.10 CAMBIO EN EL NÚMERO DE PASOS, DE CUATRO A DOS**



**FIG. 2.10 TORRES CON CAMBIO DE SECCIÓN**

FIG. 2.10



Las charolas de transición son charolas de sello a las cuales se les ha modificado parcialmente mediante cortes y dobleces para que tengan un pico ó ranura por medio del cual el líquido se derrama sobre uno o varios puntos determinados (las áreas de sello del plato inferior). Estos picos ó ranuras se diseñarán para manejar al líquido con una velocidad máxima de 10 GPM/pulgada de ranura.

En este arreglo los platos de arriba estarán rotados 90° con respecto a los de la sección inferior. El espaciamiento entre platos en una transición se recomienda sea de 3 ½ a 4 pies.

Cuando por arreglo de tubería ó por alguna otra razón no se puedan girar los platos, se recomienda usar tubería interna, además ésta deberá emplearse cuando la distancia desde la cual el líquido cae al plato inferior es mayor que 10 pies. La tubería deberá diseñarse para conducir el líquido a una velocidad de 2 a 3 pies por segundo. Para este caso también hay arreglos de charolas de transición, si se opta por ellas deberá cuidarse que no se restrinja demasiado el área para el paso del vapor.

Si los flujos que maneja una columna son muy diferentes de una sección a otra quizá convendrá el empleo de dos ó más diámetros y habrá que proporcionar una adecuada distribución a los flujos para no afectar el funcionamiento de la columna. Diferentes arreglos pueden emplearse según las necesidades, se muestran en la Figura 2.10.

Cuando se tenga un cambio en el número de pasos junto con el cambio de sección, aplicarán los criterios señalados anteriormente para cambios en el número de trayectorias en torres de sección uniforme. Si sólo varía el diámetro de la columna deberá emplearse tubería interna dejando la transición cónica lo más despejada posible.

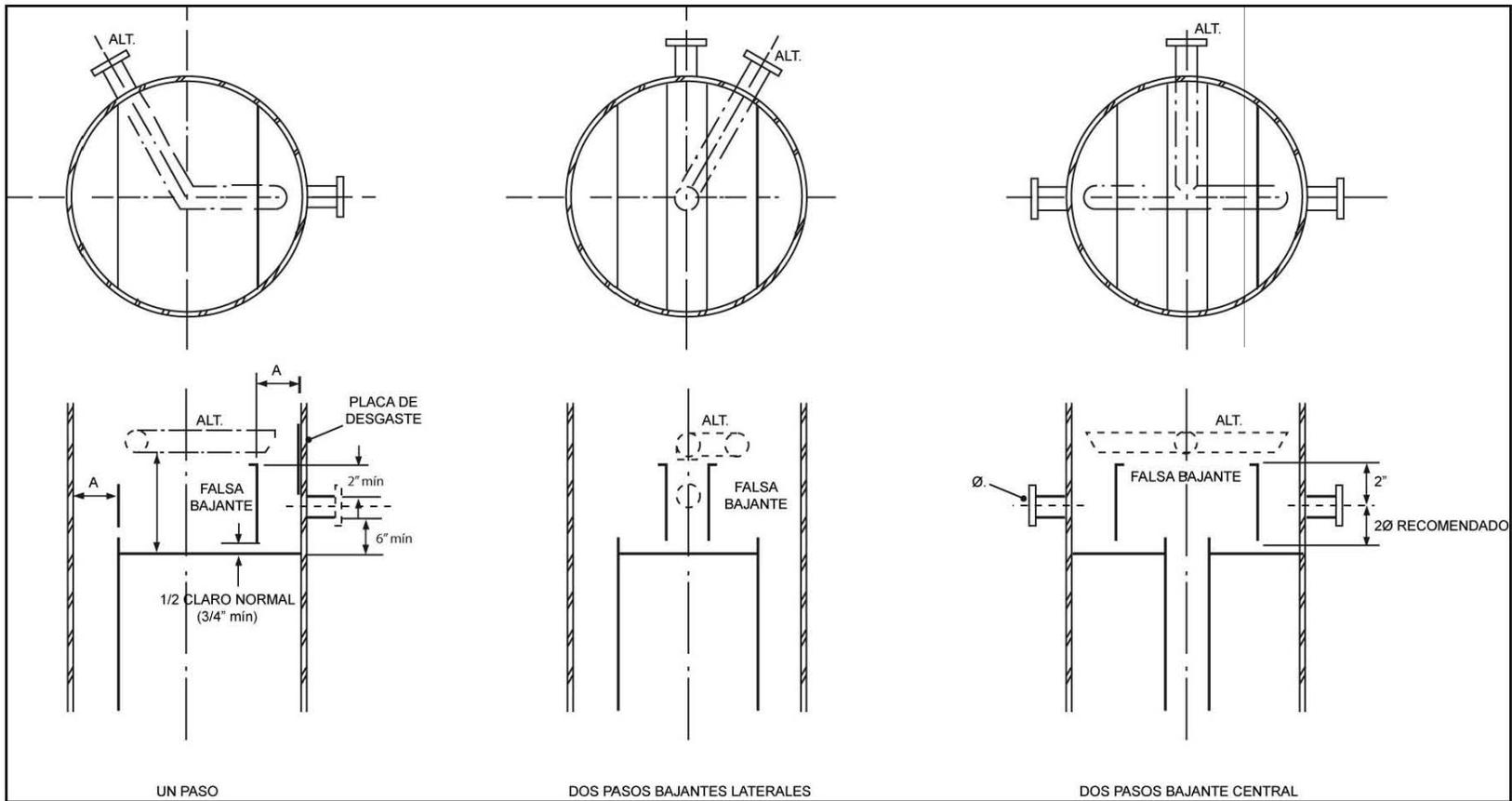
En la actualidad existe la tendencia a minimizar el uso de tubería interna, por ello debe evitarse siempre que sea posible, cuando sea inevitable su uso deberán emplearse arreglos sencillos.

#### **2.14 ARREGLOS PARA ENTRADA DE REFLUJO Y ALIMENTACION AL PLATO DE DOMOS.**

Para distribuir corrientes de reflujo ó una alimentación en fase líquida en el plato de domos, la forma más recomendada para columnas de diámetro inferior a 6 pies es colocar una falsa bajante contra la cual chocará el líquido en su entrada al plato tal como se muestra en la figura 2.11. Se recomienda para columnas de diámetro mayor a 6 pies emplear distribuidores de alimentación. La boquilla deberá dimensionarse para que la velocidad del fluido sea de 4 a 6 PIES/SEG(PPS) y una  $\Delta P_{100}$  menor a 1 psi.

Si lo que entra al plato de domos es una corriente en dos fases las líneas de alimentación y las boquillas deberán diseñarse para que no se presente el patrón de flujo conocido como bala y que se tenga una caída de presión menor a 1 psi/100 pies. Para estas corrientes se muestran arreglos típicos en la figura 2.12.

FIG. 2.11 ALIMENTACIÓN AL PLATO DE DOMOS



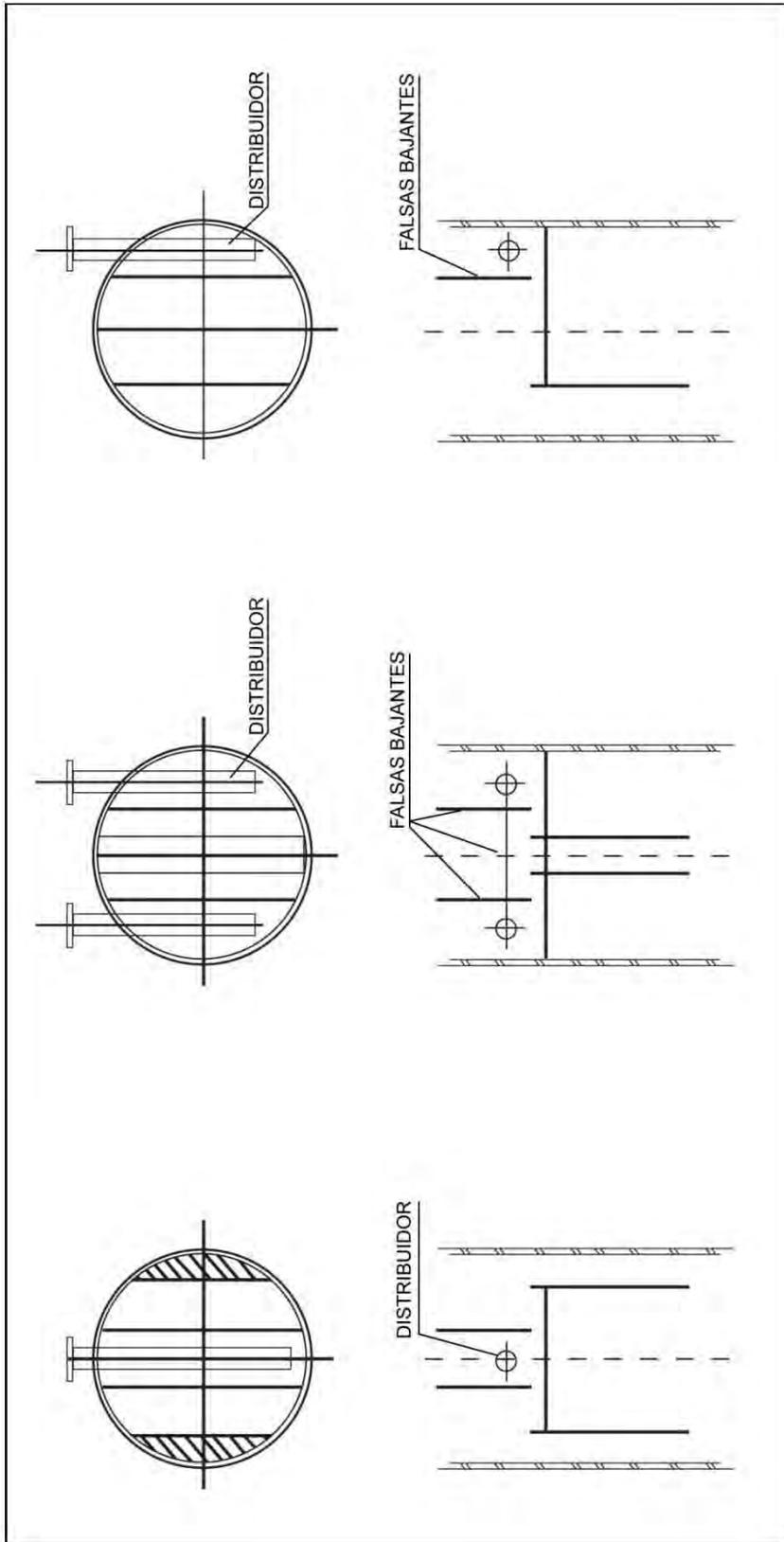


FIG. 2.11 ALIMENTACIÓN AL PLATO DE DOMOS

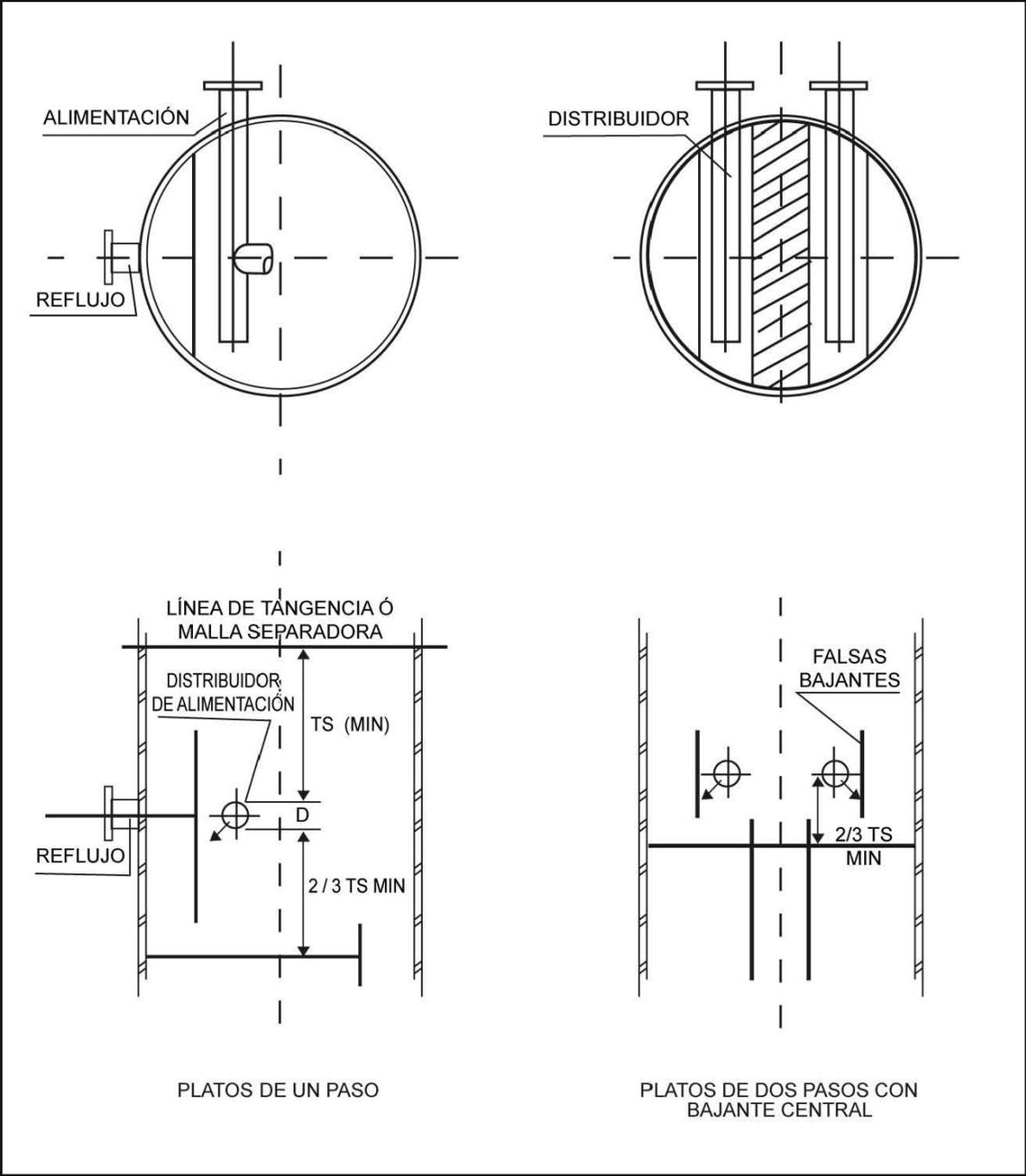


FIG. 2.12 ALIMENTACIÓN EN DOS FASES AL PLATO DE DOMOS

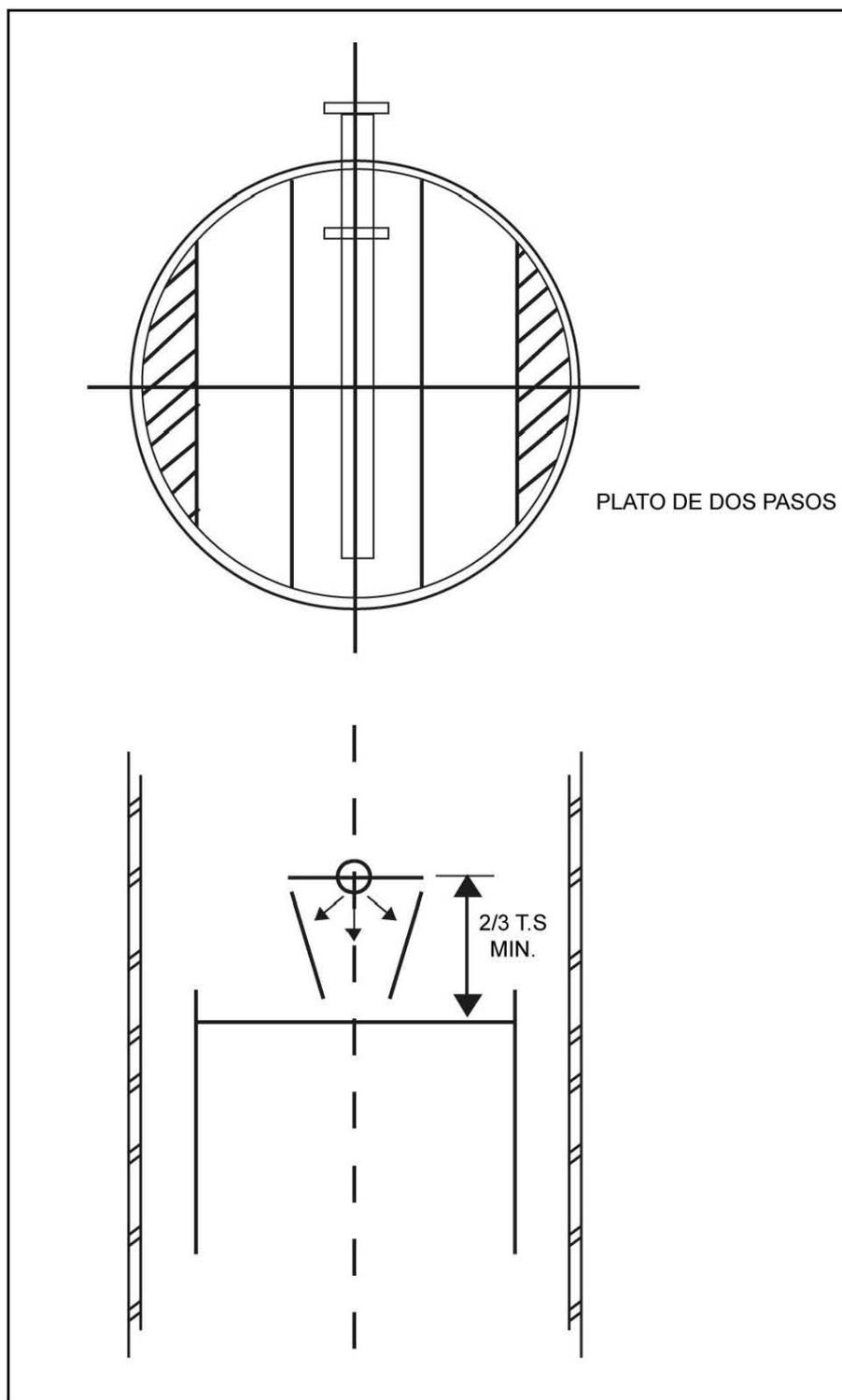


FIG. 2.12 ALIMENTACIÓN EN DOS FASES AL PLATO DE DOMOS

## 2.15 ARREGLOS PARA ALIMENTACIONES INTERMEDIAS <sup>(14)</sup>.

Deberá tenerse mucho cuidado para seleccionar el arreglo interno a emplear en las columnas para distribuir una corriente en un punto intermedio de la columna. Alimentaciones que vengan en fase líquida frecuentemente llegarán a la torre en dos fases como resultado de cambios de presión ó de temperatura que producirán vaporización de la alimentación. Si la corriente contiene vapor ó si es líquido pero viene a una temperatura muy diferente a la del plato de alimentación, deberá evitarse el alimentar directamente en la bajante del plato pues podría ocurrir vaporización en la bajante y esto limitará la capacidad del plato principalmente en servicios espumantes ó a presión en los cuales la separación entre las fases en la bajante es difícil. Los arreglos más recomendados para alimentaciones líquidas o en dos fases en platos intermedios son los que se muestran en la figura 2.13.

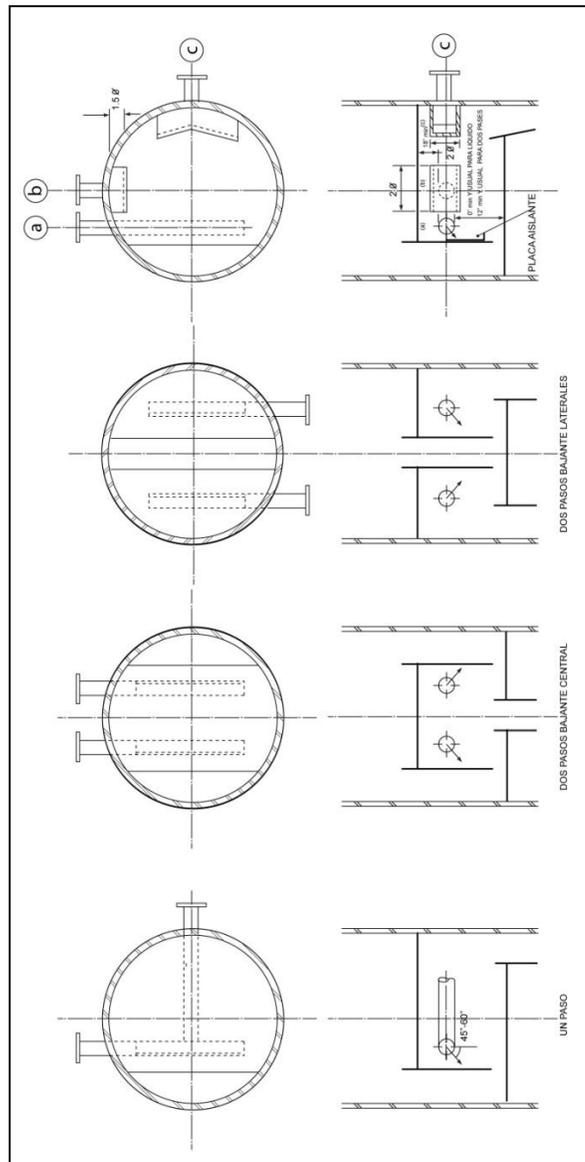


FIG. 2.13 ALIMENTACIONES INTERMEDIAS

La orientación mostrada en la figura 2.13.a es la más recomendable y puede emplearse para alimentaciones en fase líquida, en dos fases ó como vapor pero se recomienda más pára las dos primeras. Si el plato de alimentación tiene un derramadero de salida con una longitud mayor a 5 pies deberá emplearse un distribuidor como el que se muestra en la figura 2.13, si es menor bastará colocar una tubería abierta en su extremo final que dirija la alimentación hacia el faldón de la bajante del plato superior. Se recomienda colocar una placa de desgaste como aislante cuando la alimentación venga a una temperatura mayor que la del líquido en el interior de la bajante del plato superior, pues éste podría vaporizarse, si es alta la velocidad del líquido de la alimentación, sería conveniente colocar una placa que prevenga el choque del líquido contra la corriente que sale de la bajante.

Las orientaciones b y c se recomiendan principalmente para manejar alimentaciones en las cuales sea significativa la cantidad de vapor que contenga, pero también pueden emplearse para corrientes líquidas. La orientación “c” se utilizará en alimentaciones a elevadas velocidades.

El espaciamiento entre los platos en la zona en la cual se tendrá una entrada de alimentación deberá ser mayor que el normal, sobre todo si se tiene que colocar tubería interna y si la alimentación contiene vapor. Un espaciamiento de 6 a 12 pulgadas mayor que el espaciamiento normal ó bien 1.5 veces éste es común.

La tubería interna que se emplee deberá ser removible y si es muy grande se recomienda colocarle bajo las canales de soporte del plato superior al de alimentación.

Las consideraciones para las alimentaciones al plato de domos igualmente aplican aquí en lo referente al dimensionamiento de las boquillas.

Para alimentaciones ó retornos de agotadores en fase vapor, las boquillas se dimensionan de acuerdo a:

$$V_{REC} = \frac{35.57}{D_V^{0.3264}} \text{ y } V_{MAX} = \frac{59.12}{D_V^{0.3264}}; \Delta P_{100_{REC}} = 0.01P^{0.55}(PSIA)$$

## 2.16 ARREGLOS PARA EL FONDO DE COLUMNAS <sup>(3) (4) (14)</sup>.

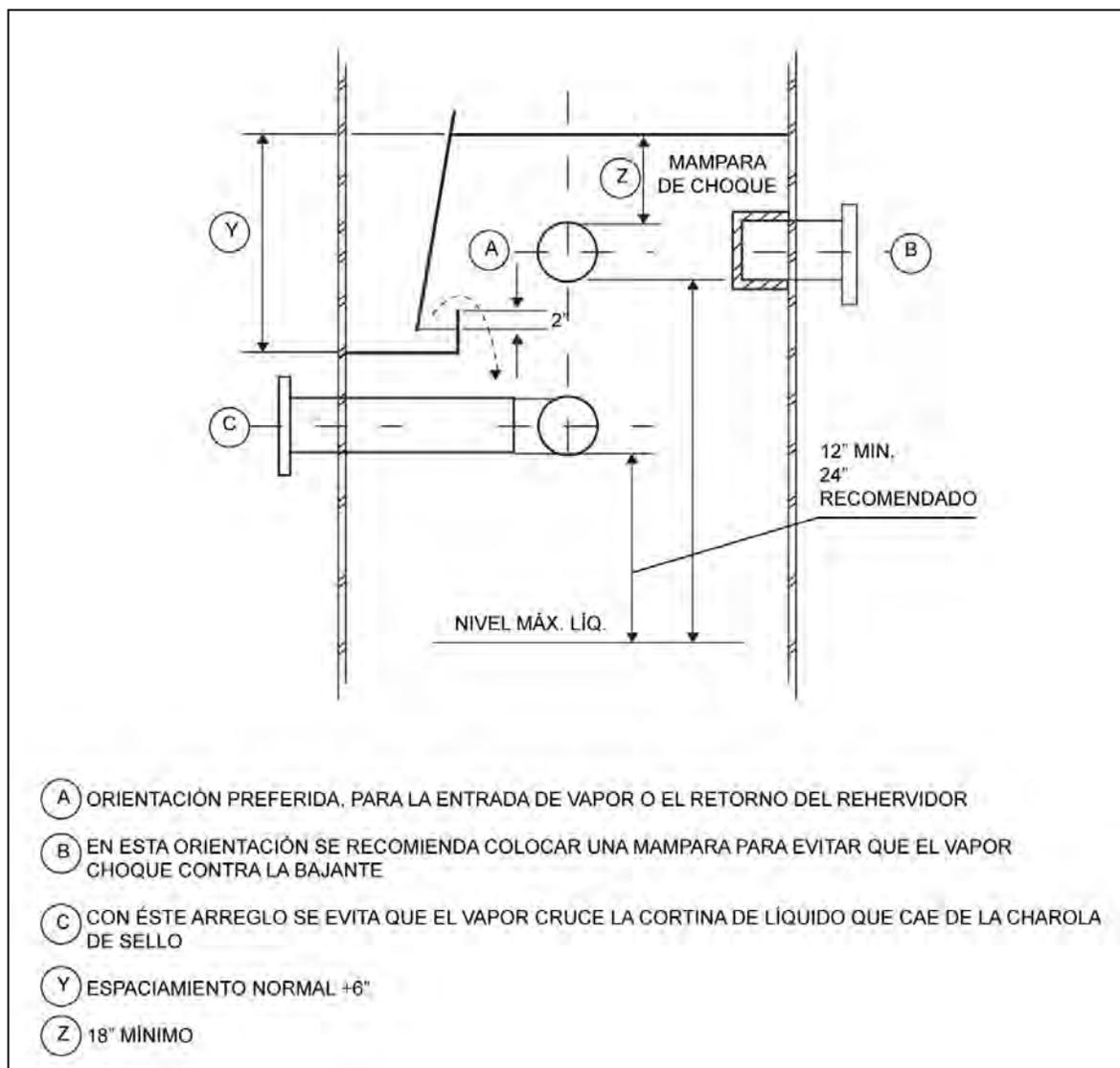
Deberán tenerse presentes las siguientes consideraciones para el arreglo de los fondos de una columna.

Las boquillas de alimentación ó las de retorno del rehervidor deben colocarse a una distancia mínima de 12 pulgadas sobre el nivel máximo de líquido y deberá evitarse que las corrientes de alimentación ó de retorno del rehervidor choquen directamente contra el líquido del fondo de la columna, de lo contrario se producirá en el líquido un movimiento turbulento que dificultará el control de nivel del fondo de la torre y promoverá el arrastre de líquido en el vapor ascendente.

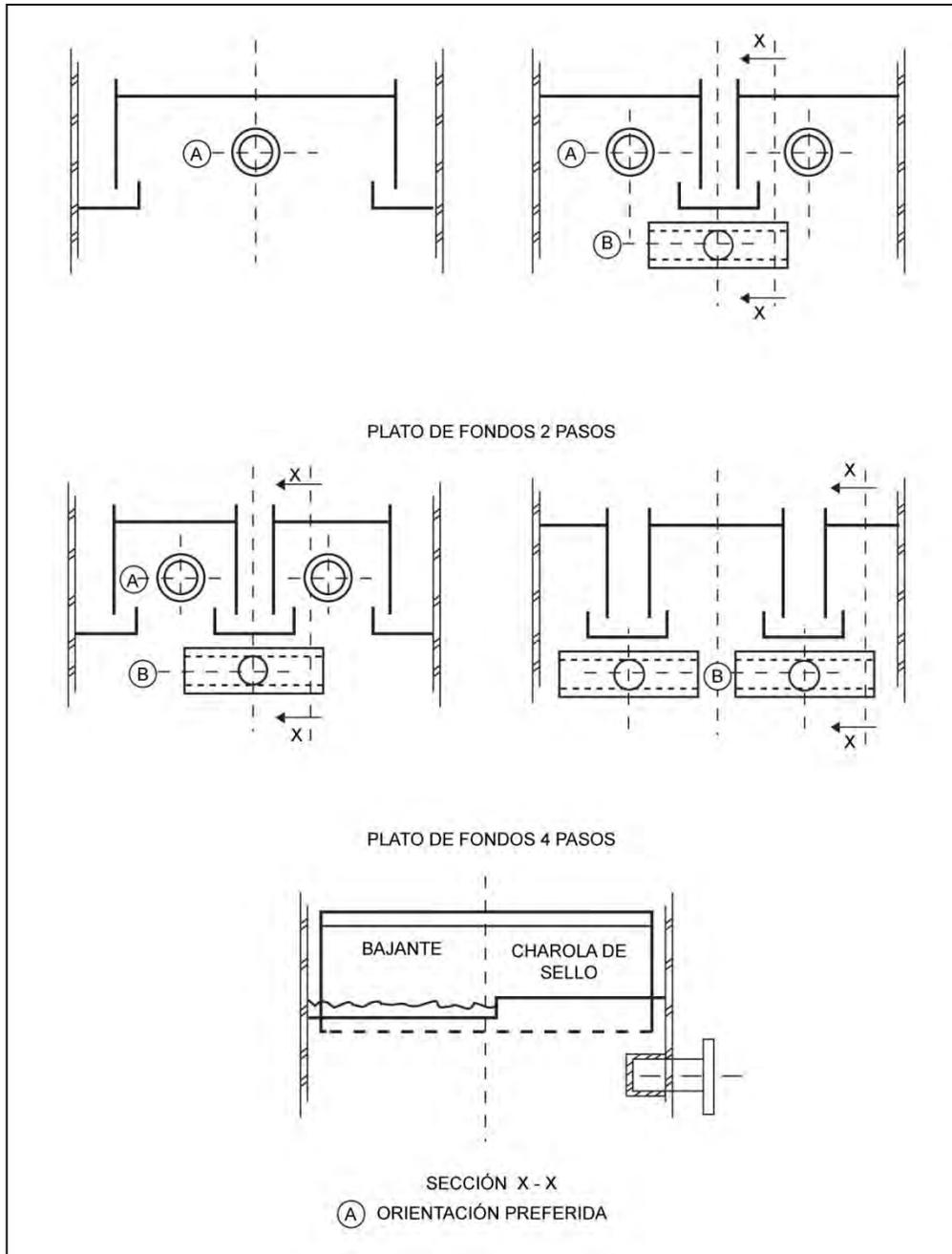
Las boquillas de alimentación ó de retorno del rehervidor no deberán pegar directamente contra la charola del plato de fondos, el líquido que sale de ésta ó la bajante del último plato pues de lo

contrario si el vapor choca contra la bajante puede provocar la vaporización del líquido en su interior y esto disminuirá su capacidad ó si se pone en contacto con el líquido que cae de la charola, se incrementará el arrastre al plato de fondos. El arreglo más recomendado es introducir la alimentación ó el retorno del rehervidor en forma paralela al borde de la charola de sello, si esto no puede hacerse se prolongará la boquilla con tubería interna y se colocará en su extremo final una "te" que distribuya al vapor paralelamente a la charola de sello.

Si la alimentación ó el retorno del rehervidor estuvieran orientadas en forma tal que chocasen contra la bajante del plato de fondos, se recomienda colocar una mampara para impedirlo tal como se muestra en la figura 2.14.



**FIG. 2.14 PLATO DE FONDOS UN PASO**



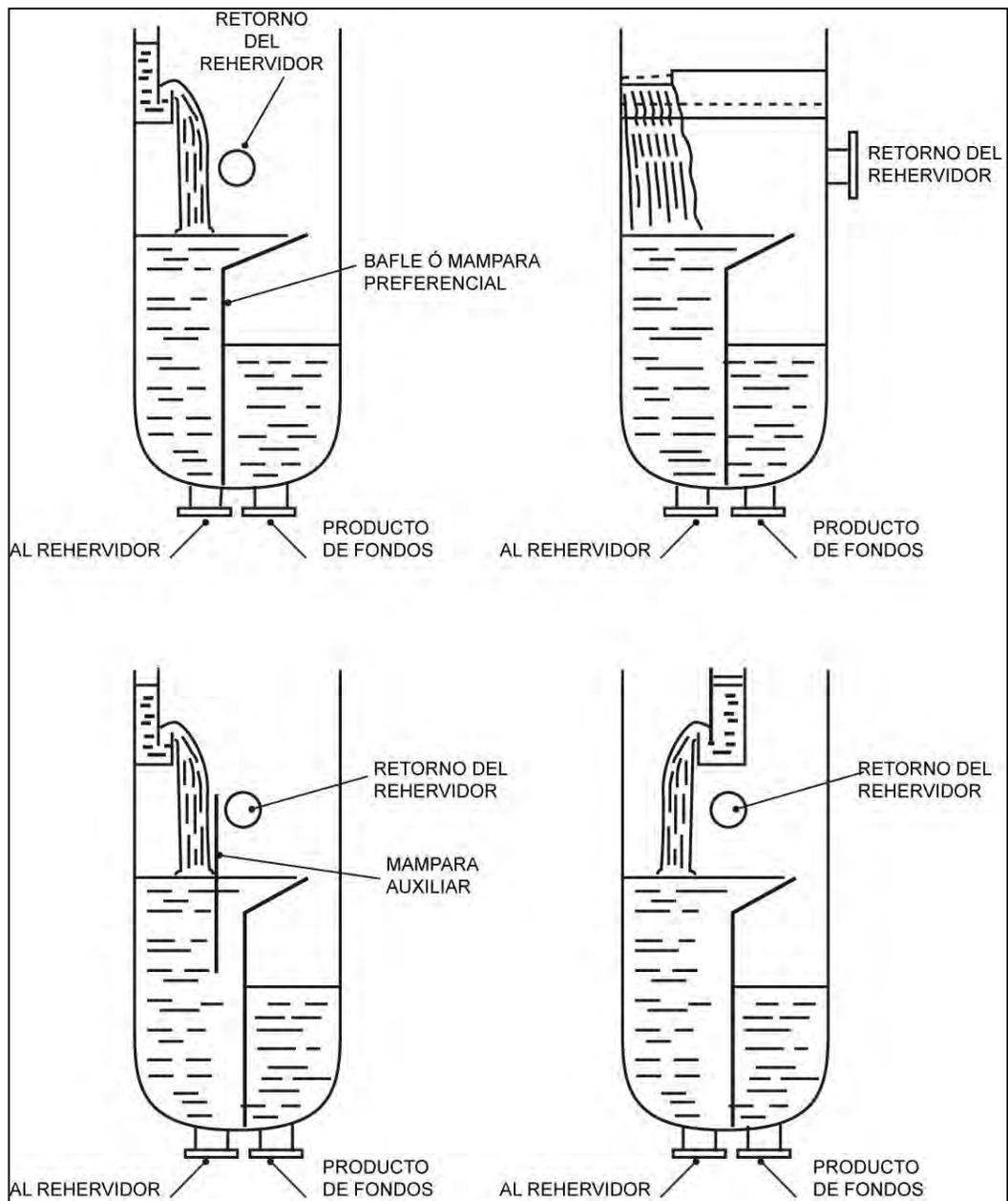
**FIG. 2.15 PLATO DE FONDOS**

Para platos con varios pasos en los cuales se requiere una adecuada distribución del vapor en cada paso para alcanzar buenas eficiencias, las boquillas de retorno del rehervidor se colocaran como se muestra en la figura 2.15. Cuando se requiera la orientación "B" para el retorno del rehervidor deberá colocarse un baffle o una "te" y la charola de sello se renurará sólo parcialmente, como se

aprecia en la misma figura, para evitar que el vapor choque con la cortina de líquido y se presente arrastre.

Se recomienda hacer el espaciamiento del plato de fondos 6 pulgadas más que el espaciamiento normal entre platos para prevenir el inundamiento de la columna en el caso de un incremento temporal en el nivel máximo del líquido.

La boquilla de retorno del rehervidor se dimensionará para una velocidad menor a 70 pps y una caída de presión menor que 0.2 psi/100pies.



**FIG. 2.16 MAMPARA PREFERENCIAL**

En ocasiones se dividen los fondos de la columna por medio de un bafle preferencial en dos secciones, una de las cuales alimentará al rehervidor y de la otra se extraerá el producto de fondos. Estas mamparas se recomiendan principalmente para cuando se tengan rehervidores tipo termosifón, tienen la ventaja de que brindan una carga constante para el circuito del rehervidor simplificado el funcionamiento del sistema de circulación natural.

Cada una de las secciones deberá poder drenarse adecuadamente, para ello se recomienda colocar un orificio en la parte inferior del bafle, para que ambas secciones se comuniquen y puedan drenarse empleando una sola boquilla.

Las boquillas de retorno del rehervidor se colocarán a una altura mínima de 12 pulgadas sobre el punto en que el líquido derrama sobre el bafle preferencial hacia la sección acumuladora del producto de fondos.

Arreglos recomendados para platos de uno y dos pasos se muestran en la figura 2.16.

Para platos con un número de pasos mayor a 2 no se recomienda el empleo de baffles de este tipo pues se requeriría un arreglo muy sofisticado y complicado en el fondo de la columna.

## **2.17 EXTRACCIONES INTERMEDIAS** <sup>(14) (15) (16) (17)</sup>.

En ocasiones se precisa extraer en un punto intermedio de la columna una corriente del líquido que maneja el plato, esta extracción puede ser parcial o total.

Ejemplo de extracciones parciales son las que se tienen en las torres primarias de crudo en las cuales se extraen los productos del petróleo en diferentes puntos de la columna y también lo son las corrientes a las cuales únicamente se les extrae calor y se retornan a la torre con el propósito de hacer las veces de un reflujo intermedio que al disminuir los flujos de vapor a la zona superior de la columna alivie los requerimientos que de un mayor diámetro se tendrían de no hacerlo y con la ventaja adicional de poder aprovechar el calor removido calentando otra corriente.

Extracciones totales se presentan por ejemplo cuando para alimentar a un rehervidor sale la corriente directamente del último plato en vez del fondo de la columna, con el propósito de dar al circuito rehervidor-torre suficiente carga hidrostática para su adecuado funcionamiento, ó para ganar un plato teórico en el caso de rehervidor del tipo termosifón ó un calentador a fuego directo en los cuales el retorno a la columna es en dos fases y el vapor que va al último plato estará en equilibrio con el producto de fondos.

Cuando se va a efectuar una extracción total, se recomienda emplear una doble charola de retención para evitar que se pierda el sello de líquido de la bajante. Esto aplica también en el caso de las extracciones parciales cuando además de la extracción se tenga un cambio en el número de pasos.

Cuando la extracción parcial sea una porción muy significativa de líquido que maneja el plato, se recomienda hacer una extracción total y retornar a control de flujo la corriente que manejará el plato inferior al de la extracción. Esto es para evitar que este plato quede “seco” cuando por variaciones operacionales disminuya el flujo que maneja el plato de la extracción.

Para el caso más común de las extracciones parciales en el cual el flujo extraído no es mucho con respecto al total que maneja el plato, bastará con hacer la extracción directamente de una charola de sello sencilla, teniendo presentes las siguientes consideraciones:

La profundidad de la charola será de 1.5 a 2 veces el diámetro de la boquilla de extracción y además se dimensionará para un tiempo de residencia de 30 segundos mínimo.

La distancia entre el fondo de la charola y el siguiente plato inferior será mínimo 2/3 y preferentemente el 75% de la separación entre platos, de ser necesario el espaciamiento deberá incrementarse en ese punto para cumplir con lo anterior.

Dimensionar la boquilla de extracción para una velocidad máxima de 3 pps, aunque 0.5-1.5 pps es un valor más conservador y asegura que no habrá arrastre de vapor en el líquido. Se recomienda emplear la figura 2.17. para dimensionar las boquillas de acuerdo a este criterio.

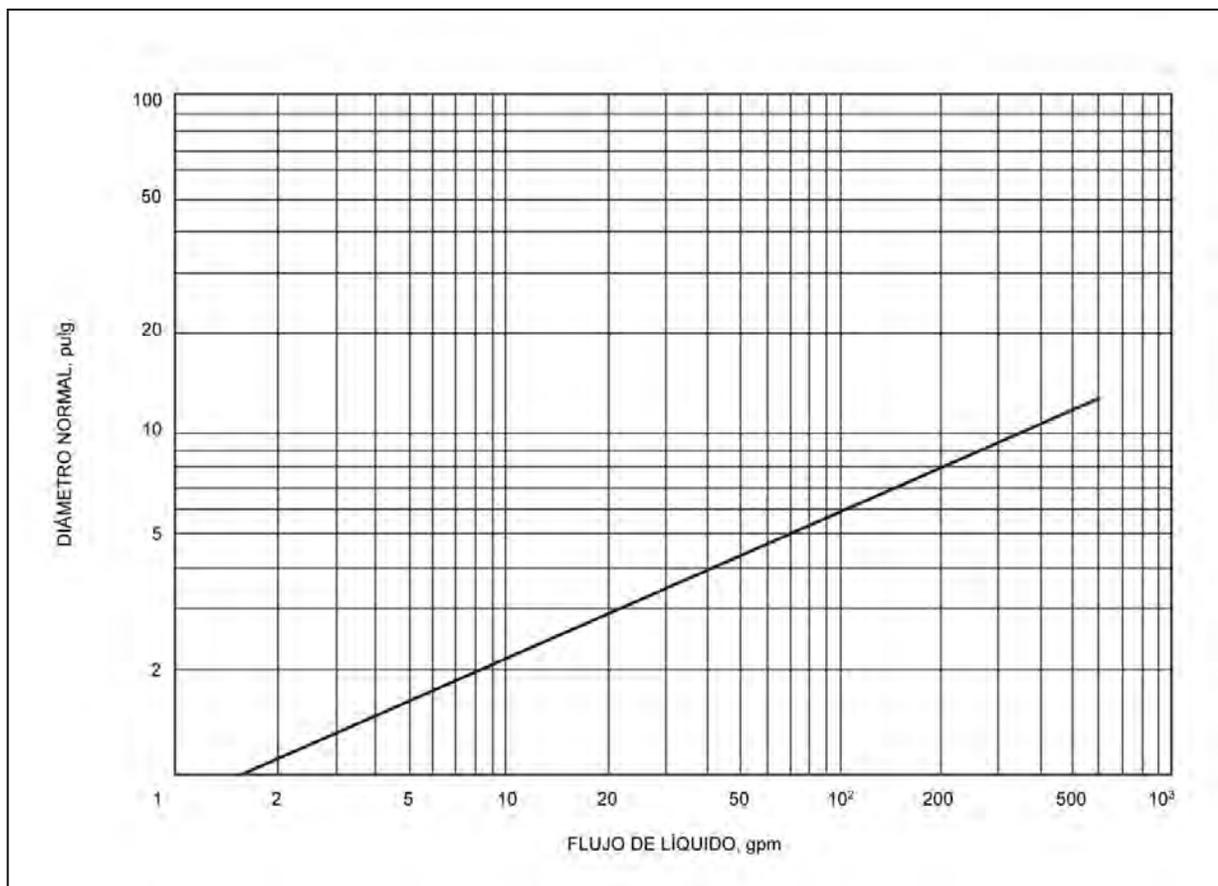


FIG. 2.17

Si la corriente extraída va a bomba, colocar un eliminador de remolinos. Se recomienda emplear bajantes inclinados para minimizar la presencia de espuma en la charola de extracción.

La anchura del sumidero deberá ser la misma que la de la bajante, en ese punto con el objeto de mantener la misma área activa para el plato con extracción, que para los otros platos de la sección. Si se requiriese una anchura mayor emplear un arreglo como el mostrado en la figura 2.19.

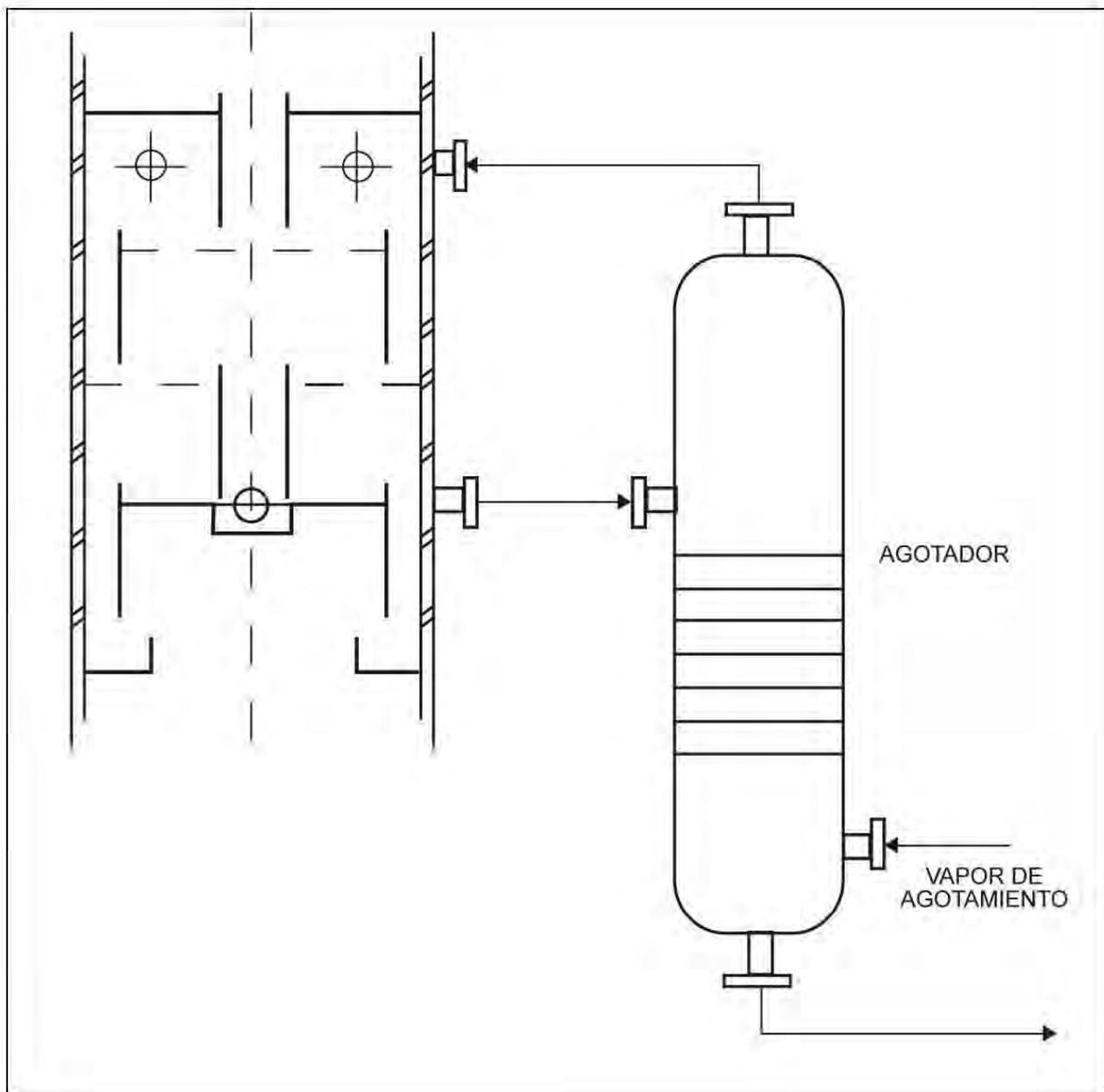


FIG. 2.18 EXTRACCIÓN PARCIAL

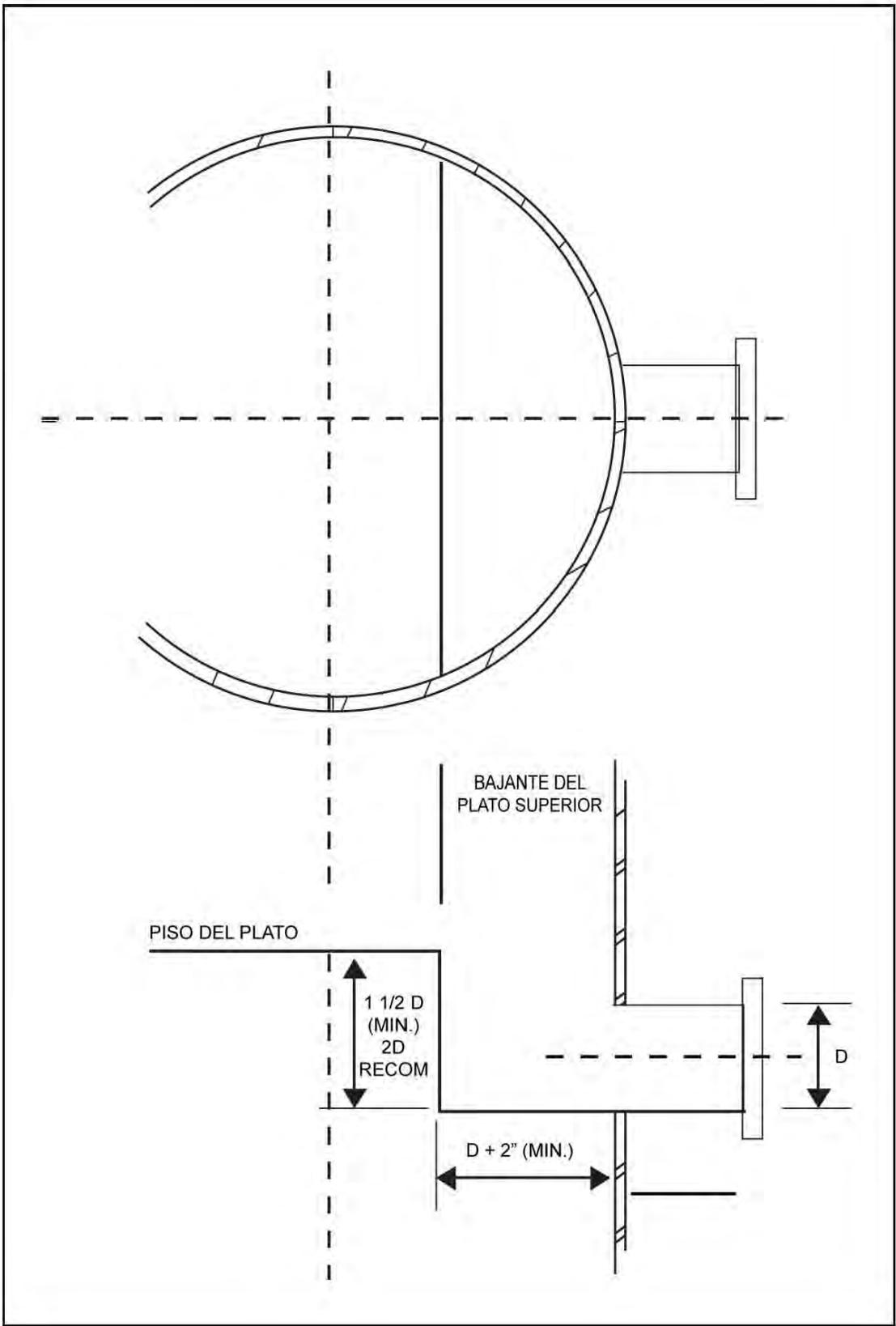
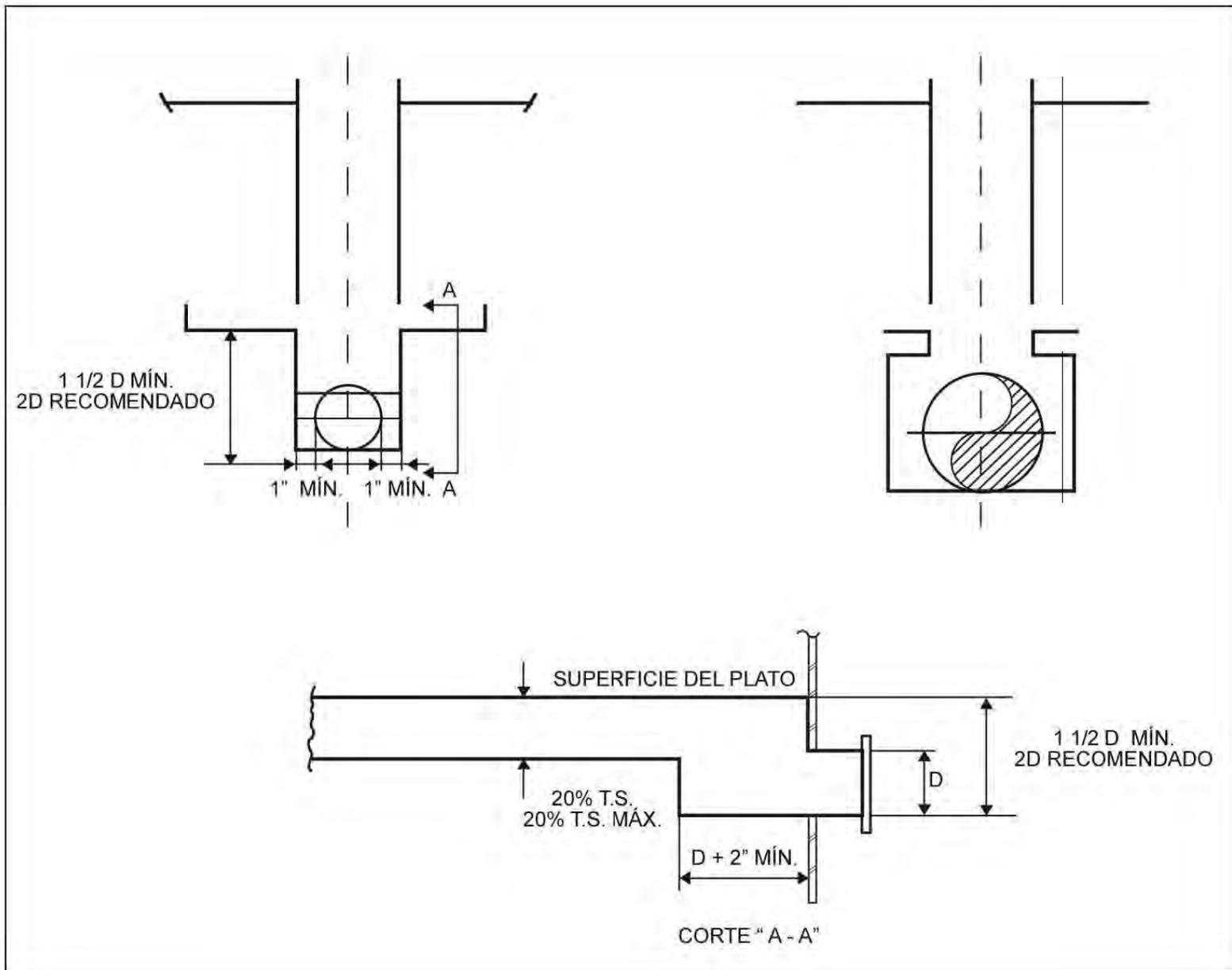


FIG. 2.19 EXTRACCIÓN PARCIAL LATERAL

FIG. 2.19 EXTRACCIÓN PARCIAL CENTRAL



En la figura 2.18 se muestra el caso específico de la extracción parcial de un producto de una torre primaria de crudo, (kerosina, diesel, turbosina, gasóleo, etc.) el cual pasa a un agotador para eliminarle los ligeros, con vapor de agotamiento, antes de salir como producto. La extracción se hace de un plato de dos pasos con bajante central <sup>(3)(14)</sup>.

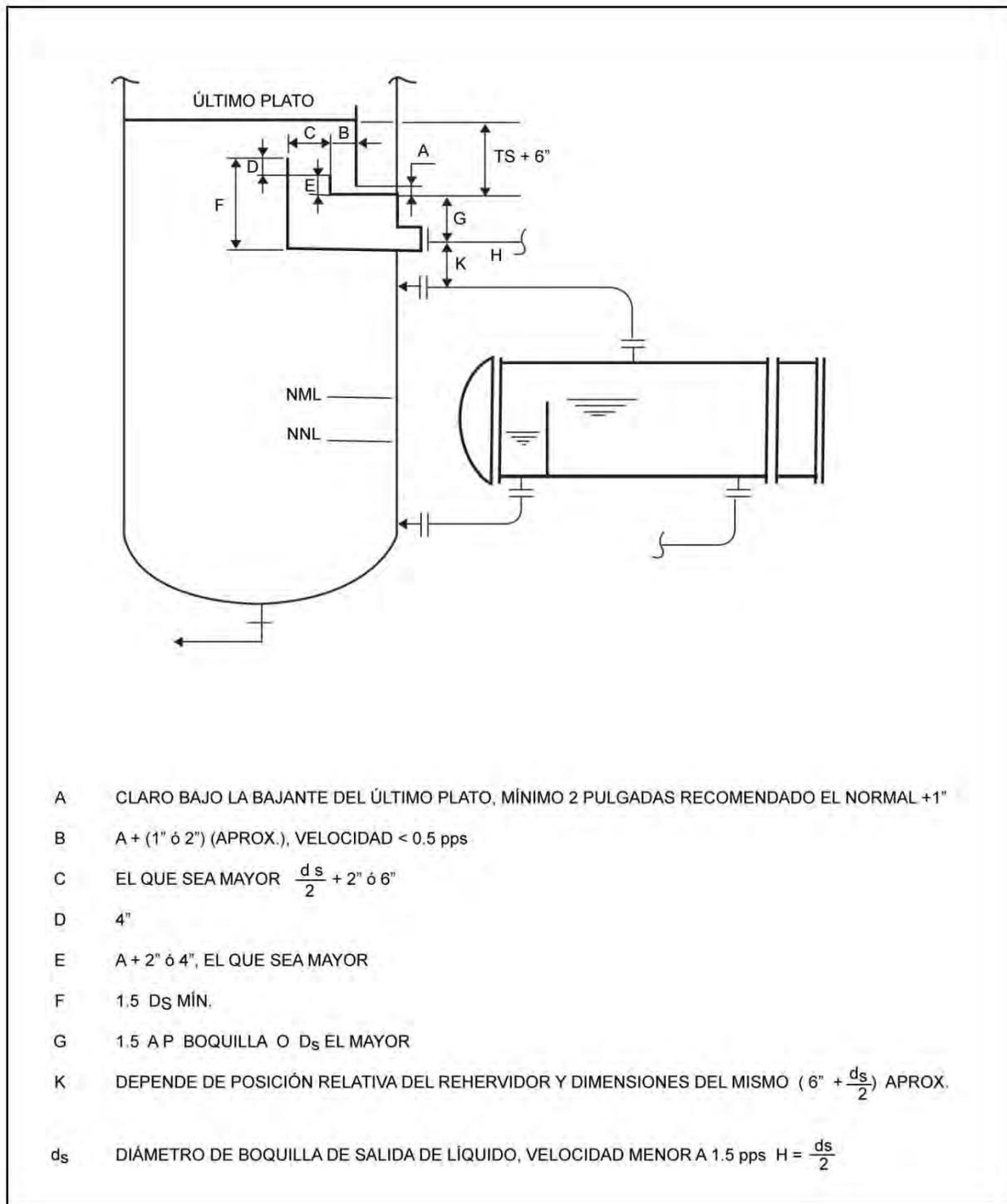
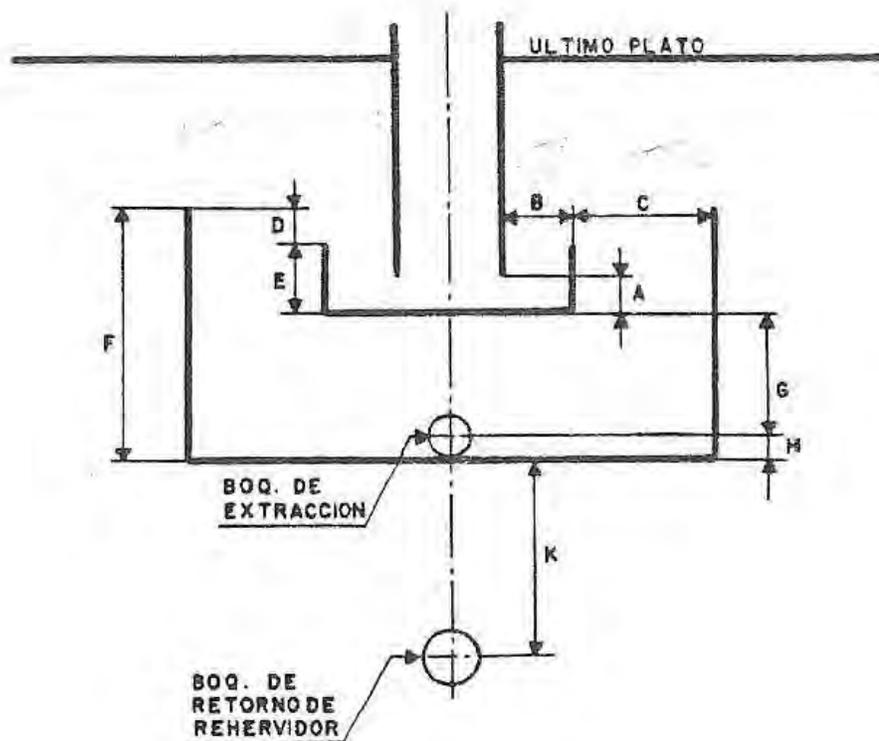


FIG. 2.20 EXTRACCIONES A REHERVIDORES TIPO CALDERETA



- A CLARO BAJO LA BAJANTE DEL ULTIMO PLATO, MINIMO 2 PULG., RECOMENDADO EL NORMAL + 1"
- B  $A + (1 \frac{1}{2} \text{ a } 2 \text{ ")}$  (APROX), VELOCIDAD  $< 0.5$  pps.
- C EL QUE SEA MAYOR  $\frac{d_s}{2} + 2 \text{ a } 6 \text{ "}$
- D 4"
- E  $A + 2 \text{ a } 4 \text{ "}$ , EL QUE SEA MAYOR
- F  $1.5 D_B$  mín.
- G  $1.5 \Delta P$  BOQUILLA O  $D_B$  EL MAYOR
- K DEPENDE DE POSICION RELATIVA DEL REHERVADOR Y DIMENSIONES DEL MISMO  $(6 \text{ a } \frac{d_s}{2})$  APROX.
- $d_s$  DIAMETRO DE BOQUILLA DE SALIDA DE LIQUIDO, VELOCIDAD MENOR A 1.5 pps.
- $$H = \frac{d_s}{2}$$

FIG. 2.21 EXTRACCIONES A REHERVADORES TIPO CALDERETA

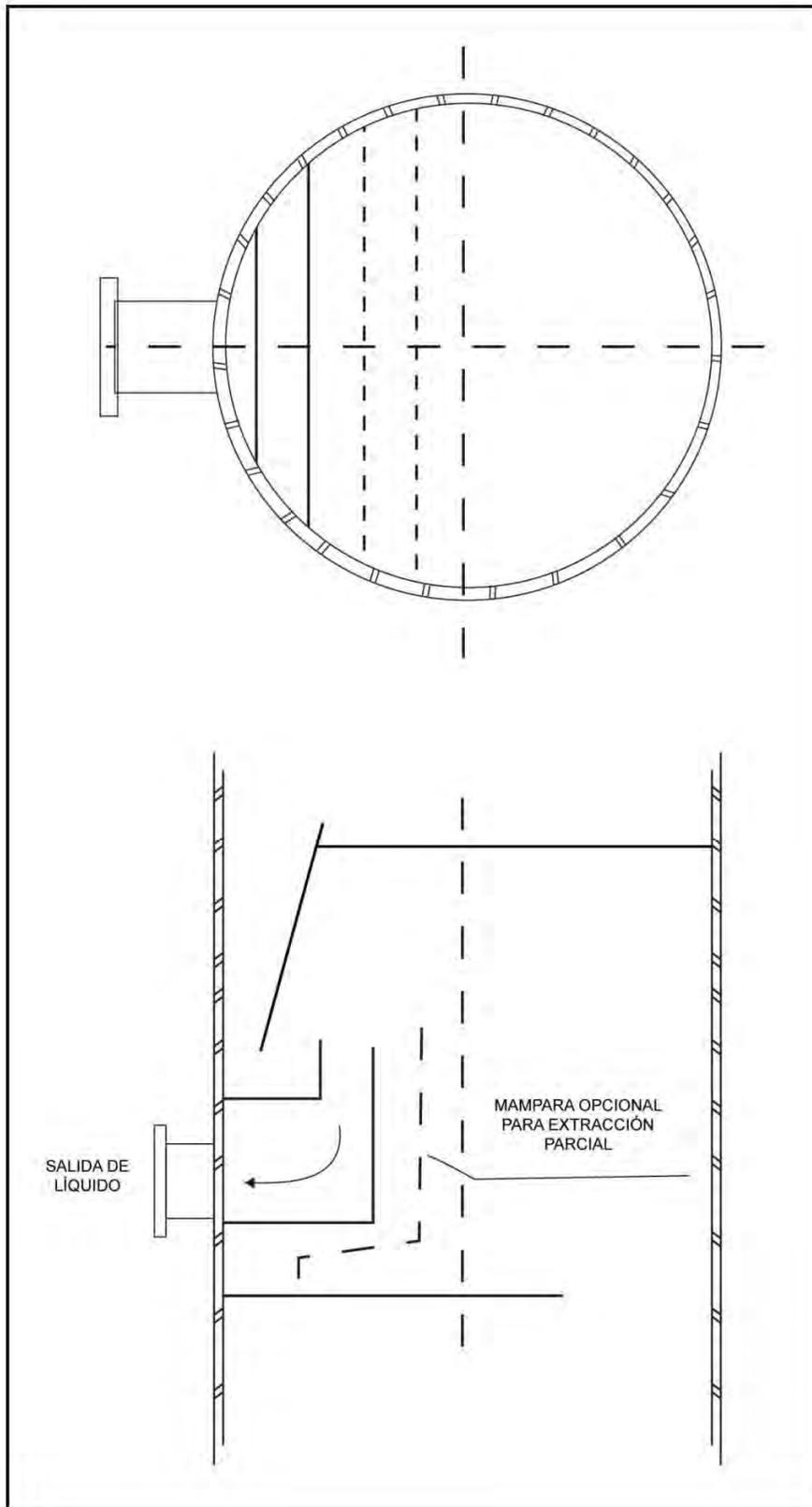


FIG. 2.22 EXTRACCIÓN TOTAL CON TINA O CHAROLA

Es frecuente el empleo de charolas cuando se va a hacer una extracción total que será la alimentación a un rehervidor, los criterios señalados en las figuras 2.20 y 2.21 aplican en general para cualquier extracción total en la cual se vayan a emplear charolas. Conviene señalar que el plato de fondos deberá tener válvulas que minimicen el goteo a flujos de vapor muy bajos para asegurar que el líquido llegue a la charola de extracción durante el arranque o cuando disminuya la capacidad de operación, de no ser así se deberá usar un plato chimenea para tener una buena operación.

En el caso de que la extracción vaya a bomba deberá colocarse un eliminador de remolinos y la línea deberá ser tan corta y directa como sea posible.

Si se espera que la extracción total en un momento determinado de la operación de la columna actúe como extracción parcial, deberá colocarse una mampara como la que se indica en la figura 2.22 a fin de dirigir al líquido en forma adecuada hacia el plato inferior.

Las extracciones totales deberán tener un sello de soldadura para asegurar que no se tendrán fugas de líquido bajo ninguna condición de operación. Si el servicio es corrosivo, y más aún si se tienen altas temperaturas, deberá especificarse para las charolas un material de construcción resistente a la corrosión o uno común pero de grueso calibre. Como tales charolas deberán soportar una carga elevada a causa del líquido retenido podrán requerir de vigas de soporte para sostener su estructura.

En el caso de que se desee dar tiempo de residencia a la corriente que va a extraerse, deberá emplearse un plato chimenea.

## **2.18 PLATOS CHIMENEA.**

Los platos chimenea permiten coleccionar y acumular líquido en el interior de la columna sin que los vapores entren en contacto con él. Este tipo de colector puede emplearse para extracciones parciales ó totales y presenta las siguientes ventajas: A) Incrementa el tiempo de residencia del líquido, lo que mejora la separación entre las fases líquido y vapor y permite alimentar directamente equipos sensibles a la falta de flujo, como sería el caso de un calentador a fuego directo; B) Proporciona la suficiente presión estática para extraer el líquido a través de una boquilla; C) Elimina los problemas de goteo que pudieran presentarse si se emplean charolas de extracción a bajos flujos de vapor ó durante el arranque; D) Permiten la separación de dos líquidos inmiscibles (hidrocarburos-agua) en el interior de la columna.

El número de elevadores que tendrá el plato chimenea deberá ser el adecuado para dar una buena distribución al vapor, y tendrá como limitantes la caída de presión (si se emplean pocos) y el volumen disponible para acumular líquido (si se emplean demasiados). La altura de los elevadores deberá ser la suficiente para dar el tiempo de residencia requerido por el servicio aunque es común que esté fijada, por la carga requerida para permitir la extracción del líquido a través de la boquilla.

Sobre éstos deberá colocarse una tapa o cachucha para impedir que el líquido del plato superior caiga dentro de los elevadores y escape del plato chimenea.

Se recomienda que estas tapas ó cachuchas se extiendan 1 pulgada más que el perímetro del elevador y que sus extremos estén inclinados hacia abajo en un ángulo de 15 grados para prevenir la entrada de líquido a los elevadores. La distancia mínima entre la cachucha y el plato superior es de 18 pulgadas.

Los elevadores pueden ser rectangulares ó redondos, en torres grandes el diseño rectangular es el más común; para torres pequeñas deberán considerarse los diámetros de la tubería comercial para dimensionar los elevadores.

Para calcular el área de los elevadores se sigue un criterio de caída de presión máxima permitida, se recomienda usar 0.18 psi ó de 1 a 1.5 pulgadas de líquido.

La expresión para calcular la caída de presión es:

$$\Delta P_{psi} = 2.7 \times 10^{-4} Dv \left[ \frac{PCS_{VAP}}{A_E} \right]^2$$

$$\Delta P_{Pulg.de\ líq.} = 0.46 \left[ \frac{PCS_{VAP}^2}{A_E^2} \right] \frac{Dv}{D_L}$$

Donde:

$PCS_{VAP}$  = flujo de vapor, pcs.

$Dv$  = densidad del vapor,  $\frac{lb}{pie^3}$

$D_L$  = densidad del líquido,  $\frac{lb}{pie^3}$

$A_E$  = área de elevadores,  $pies^2$

El área de los elevadores es comúnmente el 15% - 25% del área de la columna.

El área anular entre el borde superior del elevador y la tapa ó cachucha deberá ser igual o mayor a 1.25 veces el área del elevador.

Se recomienda colocar la boquilla de extracción en una parte que esté más abajo que el resto del plato, en una charola de extracción. Esto reducirá la altura del líquido en el plato chimenea en una cantidad igual a la profundidad de la charola y disminuirá la carga de líquido que debe soportar el plato. Figura 2.23.

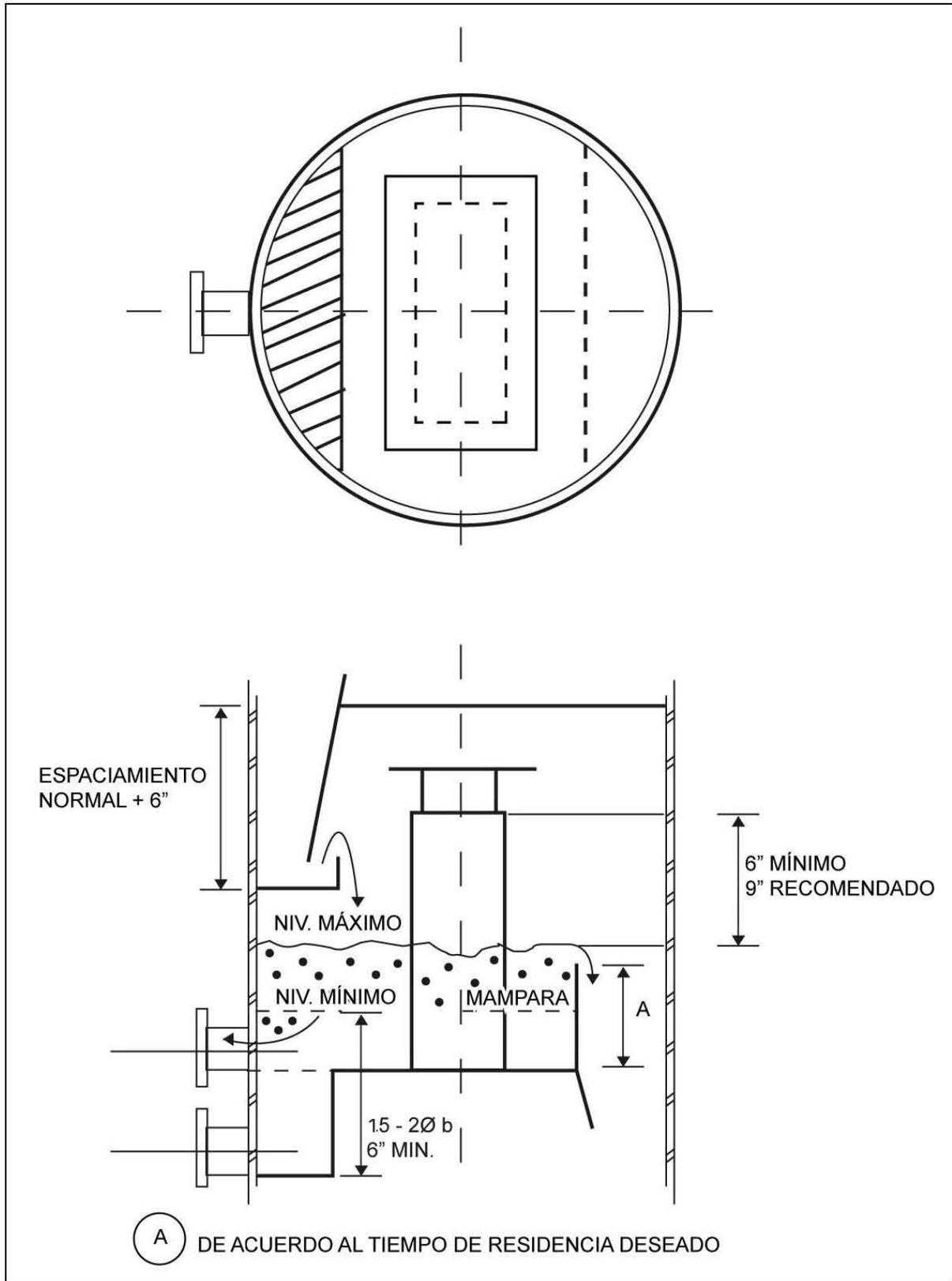


FIG. 2.23 EXTRACCIÓN PARCIAL CON PLATO CHIMENEA

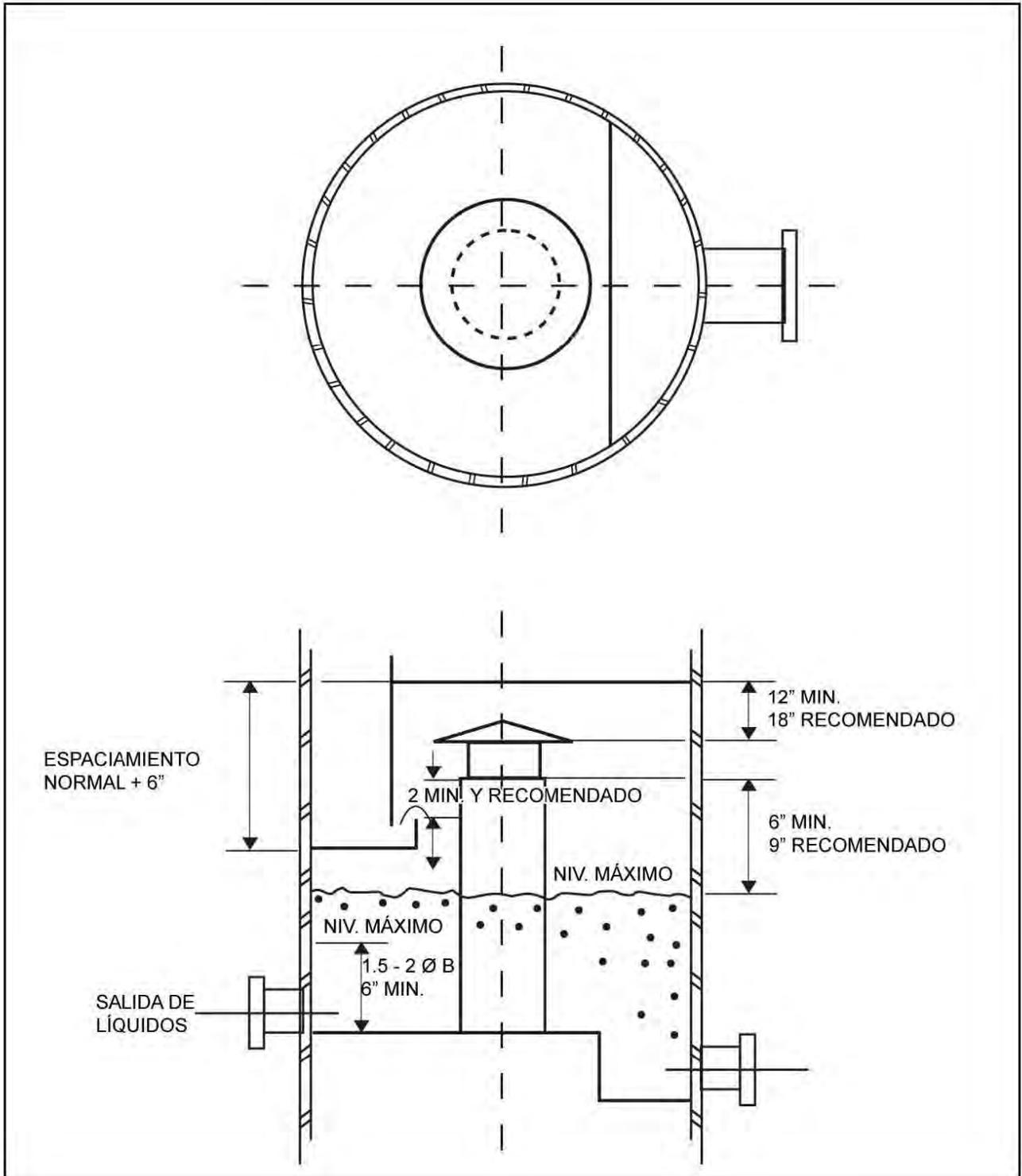


FIG. 2.23 EXTRACCIÓN TOTAL CON PLATO CHIMENEA

En algunos casos se recomienda sellar la bajante con el líquido acumulado en el plato chimenea a fin de facilitar el funcionamiento del controlador de nivel, pero una falla en el controlador puede provocar que esta práctica ocasione inundamiento si no se cuenta en la bajante con espacio adicional para absorber esta variación de nivel. Esto es porque el líquido en la bajante está aereado, tiene una menor densidad que la del acumulado en el plato chimenea, y tendrá que aumentar más su volumen para igualar la carga hidrostática adicional que representaría un aumento en el nivel del líquido acumulado. Por esto se sugiere emplear una charola de sello en la bajante y colocarla a una distancia adecuada sobre el nivel del líquido acumulado para no ocasionar dificultades al funcionamiento del control de nivel.

Para fijar la altura del líquido acumulado en el plato chimenea se recomiendan los siguientes criterios.

El nivel mínimo estará a una altura tal que asegure una carga hidrostática de al menos 1.5 veces el diámetro de la boquilla de extracción y será como mínimo 6 pulgadas.

SERVICIO	Tiempo de residencia entre niveles máximo y mínimo
El líquido se extrae por control de nivel y alimentará otra columna directamente por presión.	2 minutos
El líquido se extrae a control de nivel y se bombea a otra unidad. La bomba de relevo arranca manualmente.	3 minutos
Igual que el anterior pero la bomba arranca automáticamente.	1 minuto
La extracción se efectúa por medio de un control de flujo.	3 a 5 minutos
El líquido se extrae a control de nivel y alimenta a un equipo lejano y/o que tiene sus instrumentos en otro panel de control.	5-7 minutos

En general se recomienda un tiempo de residencia de 2 minutos.

En el caso de extracciones parciales estos criterios fijarán la altura de la mampara que regulará la cantidad de líquido acumulado en el plato chimenea.

Las boquillas se dimensionan con los mismos criterios que las boquillas de extracción para charolas de sello. (velocidad menor a 1.5 pps).

Los platos chimenea incluyendo todas sus partes (elevadores, cachuchas, etc.) se construyen comúnmente en acero al carbón de calibre 10 ó con acero inoxidable calibre 14.

## 2.19 DISTRIBUIDORES

Un distribuidor consta de uno ó mas tubos, con una serie de igualmente espaciadas ranuras o perforaciones, el cual se recomienda emplear para repartir adecuada y uniformemente una corriente de reflujo o alimentación a lo largo del plato, en columnas de diámetro mayor a 6 pies. La corriente a distribuir puede ser líquida, o una mezcla de líquido y vapor.

Se recomienda seguir los siguientes lineamientos cuando se empleen distribuidores.

En platos con varios pasos, es importante dividir y distribuir uniformemente la corriente de entrada, de lo contrario se tendrán diferentes flujos en cada uno de los pasos y ésto puede ocasionar la disminución de la capacidad y eficiencia de los platos localizados bajo el de alimentación.

Las perforaciones o ranuras tienden a deteriorarse por el uso, particularmente si se manejan fluidos corrosivos. Por ello es importante hacer una selección adecuada del material para fabricar el distribuidor.

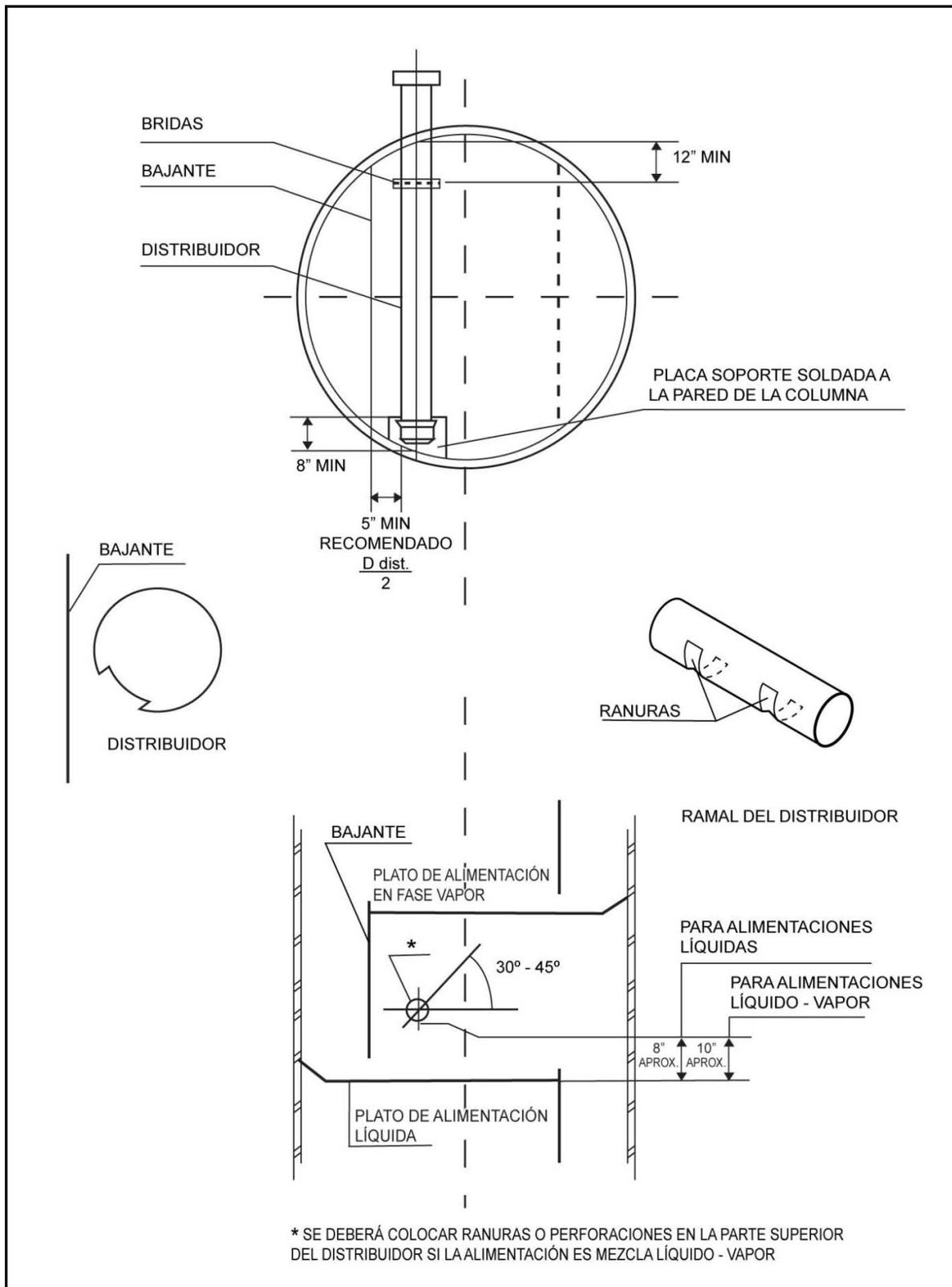
La dimensión mínima para las ranuras o perforaciones en el distribuidor será de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

No se recomienda emplear ranuras colocadas en forma paralela a la longitud del distribuidor, pues cuando éstas se bloquean o corroen aunque sea parcialmente, mostrarán una mayor tendencia a maldistribuir la corriente de alimentación.

El diseño del distribuidor debe ser lo más simple que sea posible, pues mientras más sencillo, más económico resulta y además será menos probable que cause problemas en operación. Los distribuidores deben ser removibles en su totalidad y deberán estar soportados en forma adecuada, particularmente si la alimentación contiene vapor. Como medio de soporte comúnmente se emplea una pequeña placa soldada a la pared de la columna.

Los distribuidores de alimentaciones en fase líquida deberán localizarse a 8 pulgadas como mínimo, sobre el nivel del plato; para corrientes en dos fases esa distancia será de 12 pulgadas. Figura 2.24.

Para dimensionar un distribuidor se recomienda que la longitud del material cortado no sea mayor que la del no cortado. El área total de las perforaciones será de 1 a 3 veces el área transversal de la boquilla de entrada, si esto no puede conseguirse con un valor de  $\Delta P$  típico, modificar éste por algún otro valor. Se recomienda hacer el área de flujo del distribuidor aproximadamente igual a la mitad del área total de las perforaciones y mayor o igual al área de la boquilla de entrada.



**FIG. 2.24 DISTRIBUIDORES**

Para un distribuidor de líquido

$$A = \frac{Q}{22.8} \left[ \frac{SG}{\Delta P} \right]^{1/2}$$

A = área total de las perforaciones o ranuras en el distribuidor, *pulg.*<sup>2</sup>.

Q = Flujo de líquido a P y T, GPM.

$\Delta P$  = Caída de presión, psi (típico 0.25 psi)

SG = gravedad específica

$$N = \frac{A}{a}$$

N = número total de ranuras ó perforaciones.

a = área de cada perforación ó ranura, *pulg.*<sup>2</sup>

$$\text{Espaciamiento entre ranuras ó perforaciones} = \frac{\text{longitud no cortada, } \textit{pulg.}}{N + 1}$$

Para mezclas líquido-vapor.

$$A = 2.5 V_m \left( \frac{D_m}{\Delta P} \right)^{1/2}$$

V<sub>m</sub> = flujo volumétrico de la mezcla, PCS a P y T

D<sub>m</sub> = densidad de la mezcla líquido-vapor,  $\frac{lb}{pie^3}$

A = área total de las perforaciones ó ranuras en el distribuidor, *pulg.*<sup>2</sup>.

$\Delta P$  = caída de presión, psi (típico 0.25 psi)

En el caso de mezclas el distribuidor tendrá perforaciones tanto en su parte superior como en la inferior.

## 2.20 BOQUILLAS PARA INSTRUMENTOS

La información proporcionada por los instrumentos de control es muy importante para el adecuado funcionamiento de la columna.

Es común que una columna tenga la siguiente instrumentación básica:

- a) Un indicador de presión para el domo y el fondo de la columna.

- b) Indicadores de temperatura en domo, fondo y bajo el plato de alimentación. Otros puntos podrán requerirse de acuerdo al perfil de temperaturas y al sistema de control de la columna.
- c) Indicador de nivel en el fondo de la columna.
- d) Indicador de presión diferencial a lo largo de la torre.

En cuanto a su localización, es importante señalar que, para los indicadores de presión y de nivel deberá evitarse que el flujo choque contra sus elementos de medición, pues esto provocará mediciones erróneas.

Los termopozos no deben colocarse directamente sobre o bajo un “MANWAY” pues resultarían peligrosos para el personal trabajando dentro de la columna.

Todos los instrumentos deberán colocarse en forma accesible y a una altura razonable, principalmente los indicadores locales.

## 2.21 SALIDAS DE LÍQUIDO <sup>(4) (14)</sup>.

El producto de fondos de la columna puede salir como producto o como alimentación a otro equipo, en forma parcial o total, de acuerdo a la secuencia de flujo del proceso.

Es frecuente emplear los fondos de la columna para dar tiempo de residencia al producto y que éste pueda acumularse en el caso de que falle algún equipo que reciba su alimentación directamente de la torre ó para dar la carga hidrostática requerida para el funcionamiento del circuito rehervidor-columna. Es común un tiempo de 5 a 10 minutos para cuando se desee acumular algún producto pero deberá seleccionarse un valor adecuado de acuerdo a las necesidades particulares del proceso.

Los niveles del líquido acumulado pueden fijarse de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

Nivel mínimo = N MÍN = 6 pulgadas sobre la tangente inferior de la columna.

Nivel máximo = N MÍN + h

$$\text{altura entre niveles} = h = \frac{PCM_{LIQ} \Theta_R}{A}$$

donde:

$PCM_{LIQ}$  = flujo de líquido a P y T.

$\Theta_R$  = tiempo de residencia, minutos.

A = área de la columna, pies<sup>2</sup>.

Nivel Normal = NN = N mín + 0.6 (N máx – N mín)

Alarma de alto nivel = AAN = N mín + 0.8 (N máx – N mín)

Alarma de bajo nivel = ABN = N mín + 0.25 (N máx – N mín)

Todos los niveles sobre la tangente inferior de la columna.

La boquilla de los fondos de la columna se diseñará para una velocidad de 4 a 6 PPS y una  $\Delta P_{100}$  menor a 0.6 psi.

Si la corriente va a bomba deberá colocarse un eliminador de remolinos y se recomienda dimensionar la boquilla de salida de líquido de acuerdo a:

Diámetro	Velocidad, PPS	$\Delta P_{100}$ , psi.
2" o menor	0.5 – 1.5	0.05 – 0.25
3 – 8"	1.5 – 2.5	0.05 – 0.25
10 – 20"	2.5 - 3.5	0.05 – 0.50
20"	3.5 - 4	0.05 – 0.50

## 2.22 SALIDAS DE VAPOR <sup>(14)</sup>.

Las boquillas por las cuales saldrá la corriente de domos de la columna son mucho más simples que cualquiera en la que se tenga una extracción líquida. El principal detalle que debe tenerse presente es evitar la presencia de líquidos en la corriente principalmente si éste va directamente a un compresor o una turbina pues podrían dañarse sus álabes. Para ello puede colocarse una malla separadora en el espacio vapor sobre el primer plato o bien colocar un tanque de choque, a la succión del compresor. Una medida conservadora sería la colocación de ambos.

Para el caso más común en el cual la corriente de domos pasará directamente hacia un condensador bastará con una separación burda de las fases, la cual puede obtenerse sencillamente proporcionando un espacio vapor adecuado sobre el plato de domos, digamos de 3 a 4 pies hasta la línea de tangencia.

Se recomienda dimensionar la boquilla de domos de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$P \leq 10 \text{ psig} \quad \text{Vel. } 125 - 200 \text{ pps} \quad \Delta P_{100} \leq 0.1 \text{ psi.}$$

$$P > 10 \text{ psig} \quad \text{Vel. } 125 - 200 \text{ pps} \quad \Delta P_{100} \leq 0.5 \text{ psi.}$$

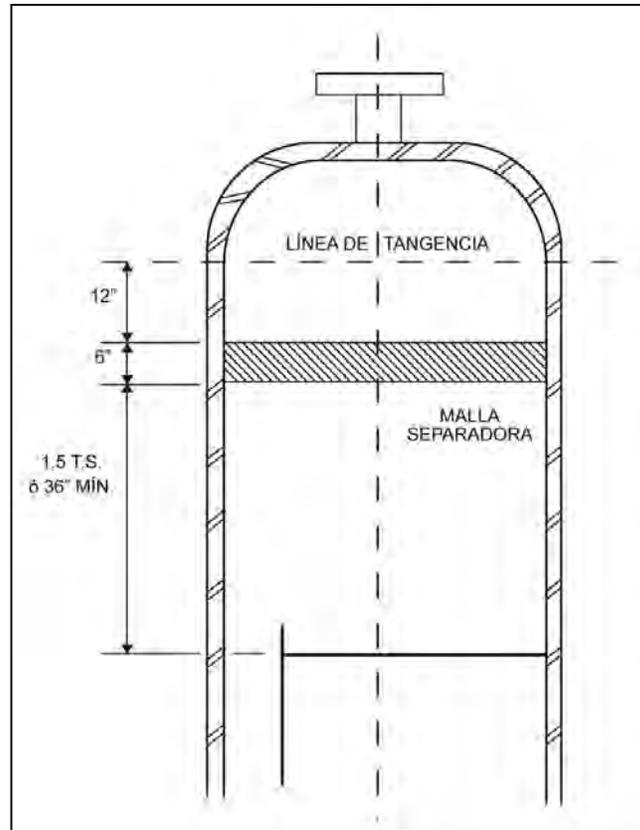


FIG. 2.25 SALIDAS DE VAPOR

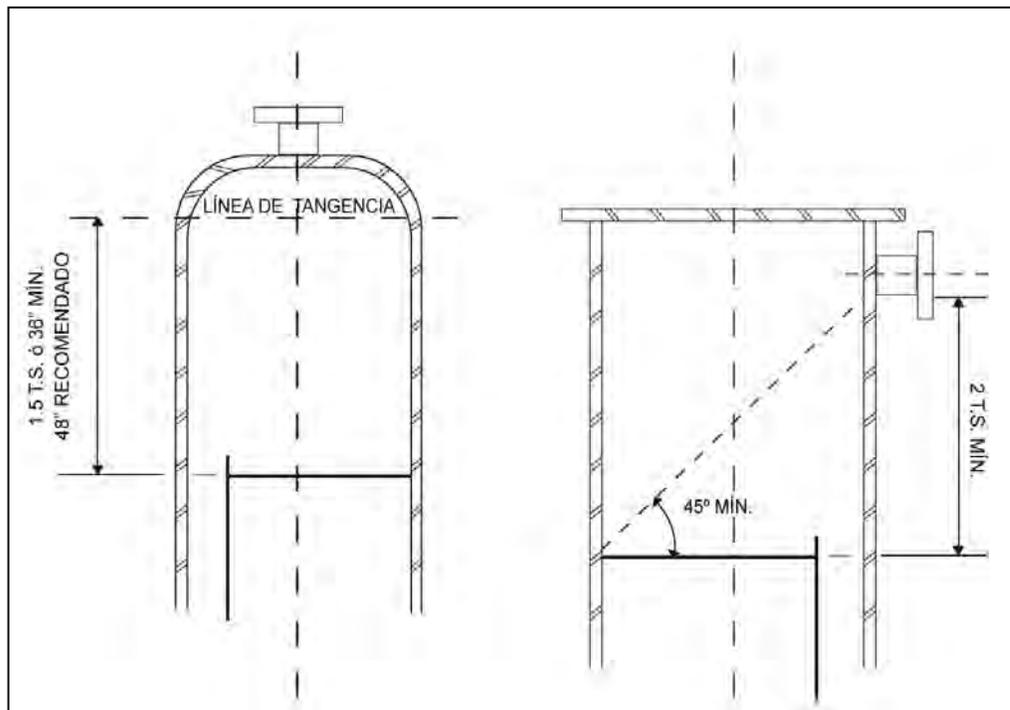


FIG. 2.25 SALIDAS DE VAPOR SIN MALLA SEPARADORA

## **CAPITULO 3.**

### **TIPOS DE PLATOS**

### **CAPITULO 3. TIPOS DE PLATOS.**

A principios de 1950 la mayoría de las columnas se equipaba con platos de cachuchas de burbujeo. Sin embargo, estos platos tienen varias desventajas, como son su elevado costo de fabricación e instalación y una menor capacidad con respecto a otros tipos de platos.

Los platos perforados incrementaron su popularidad a mediados de los 50's cuando se encontró que mantenían elevadas eficiencias dentro de rangos razonables de flujos de líquido y vapor, su construcción es muy económica y además tienen muy buena capacidad.

En 1951, casi al mismo tiempo que los platos perforados empezaron a ser atractivos para la industria, los platos de válvulas fueron introducidos por Nutter Engineering Co., de Tulsa, Oklahoma. Su primera aplicación fue en plantas de gasolina, el plato tenía agujeros rectangulares para el paso del vapor, cada uno equipado con una cubierta la cual estaba provista de guías que la retenían sobre el orificio y que se movía hacia arriba o hacía debajo de acuerdo al flujo de vapor. Cuando el vapor disminuía algunas válvulas cerraban, manteniendo la caída de presión en un valor cercano al de flujo de diseño. Esta característica hace a los platos de válvulas muy flexibles, con un rango de operación típico del 30 al 90% del inundamiento.

Los platos de válvulas, además, son del orden de 30 a 50% más económicos que los de cachuchas de burbujeo de un mismo diámetro, a causa de su construcción más simple. Presentan también capacidades 20% más altas, para el vapor, que las de los platos de cachuchas.

Otras dos compañías que se dedicaron a la producción de platos de válvulas fueron: Fritz W. Glitsch, de Dallas, Texas y Koch Engineering Co., de Wichita Kansas.

Los platos de balastra de Glitsch utilizan válvulas circulares colocadas sobre agujeros para el paso del vapor. Los platos flexitray de Koch presentan una configuración similar. Koch además hace una combinación de platos perforados y de válvulas llamada Flexiperf que permite un diseño más económico.

La trayectoria del líquido es similar en los platos de cachuchas, perforados y valvulados; pasa de la bajante del plato inferior. Otros platos, como el turbogrid y similares tienen un comportamiento diferente y permiten al líquido pasar a través de las áreas por las que se eleva el vapor. Estos platos tienen una gran capacidad pero tienen un funcionamiento inestable excepto dentro de muy limitados rangos de operación fuera de los cuales su eficiencia cae a valores muy bajos. Estos platos se utilizan únicamente para servicios especializados.

Los platos valvulados y los perforados son los más comúnmente empleados en torres de destilación, en la actualidad, sin embargo se están probando nuevos modelos como son: el plato perforado de múltiples bajantes, patentado por la Unión Carbide Co. y el plato de ángulos de IHI Co. entre muchos otros.

Actualmente la compañía Nutter Engineering fue adquirida por Sulzer Chemtech y ahora está, es la encargada del trabajo antes realizado por Nutter Engineering, así mismo las compañías que antes trabajaban por separado Koch y Glitsch, ahora son una misma compañía llamada Koch-Glitsch.

A continuación se describirán las características más importantes de los principales tipos de platos, haciendo énfasis en los platos de válvulas.

### **3.1 PLATOS DE CACHUCHAS DE BURBUJEO <sup>(6)</sup> <sup>(7)</sup> <sup>(9)</sup>.**

Aunque las cachuchas de burbujeo fueron el elemento de contacto más usado por las industrias química y petroquímica hasta mediados de los 50's en la actualidad se instalan sólo ocasionalmente.

El plato de cachuchas consiste de un plato liso con perforaciones el cual está atornillado ó soldado a las paredes de la columna; sobre los orificios se encuentran los elevadores y sobre éstos cachuchas en forma de tazas invertidas. Las cachuchas están provistas de ranuras ó perforaciones a través de las cuales pasa la mayor parte del vapor para mezclarse con el fluido fluyendo a través del plato. Cada plato está provisto de uno o más conductos llamados bajantes a través de los cuales el líquido que fluye por el plato es conducido al plato inferior. Un sello de líquido se mantiene en el plato por medio de un derramadero de salida colocado en el lado exterior del plato, cerca de la bajante.

Hay otros accesorios que pueden adicionarse al plato, en algunos casos especiales, pero básicamente el plato de burbujeo incluye sólo las partes descritas.

En general, una cachucha de burbujeo es una taza invertida la cual está provista de un soporte mecánico que la sostiene sobre el plato a cierta distancia de éste. El dispositivo de sostén es un arreglo atornillado el cual hace posible que la cachucha sea fijada al elevador el cual forma una parte necesaria del montaje de la cachucha. El elevador conduce el vapor proveniente del plato inferior hacia el interior de la cachucha donde pasa a través de las ranuras para ponerse en contacto con el líquido.

Hay una gran variedad de cachuchas que difieren en forma y tamaño. La mayoría de ellas son redondas, tipo campana, con ranuras verticales. Otro tipo muy popular son las cajas rectangulares invertidas (platos de túnel) y "tazas" invertidas sin ranuras. Se han utilizado varios tipos de ranuras: rectangulares, triangulares, cuadradas, ovales, trapezoidales y redondas las cuales están situadas en la superficie lateral de la cachucha, pero en algunos casos, cuando se tienen muy elevadas cargas de vapor, no se ranura la cachucha y todo el vapor sale por debajo del borde de ella. Las ranuras rectangulares son las más comúnmente empleadas junto con las trapezoidales y las dentadas. Los tamaños de las ranuras encontrados en cachuchas comerciales varían entre 1/8 y 3/8 de pulgada de ancho por 1/2 a 1 1/2 de largo. El número de ranuras está controlado por las dimensiones de la cachucha, el tamaño y el espaciamiento de las ranuras, y varía de 12 a 70.

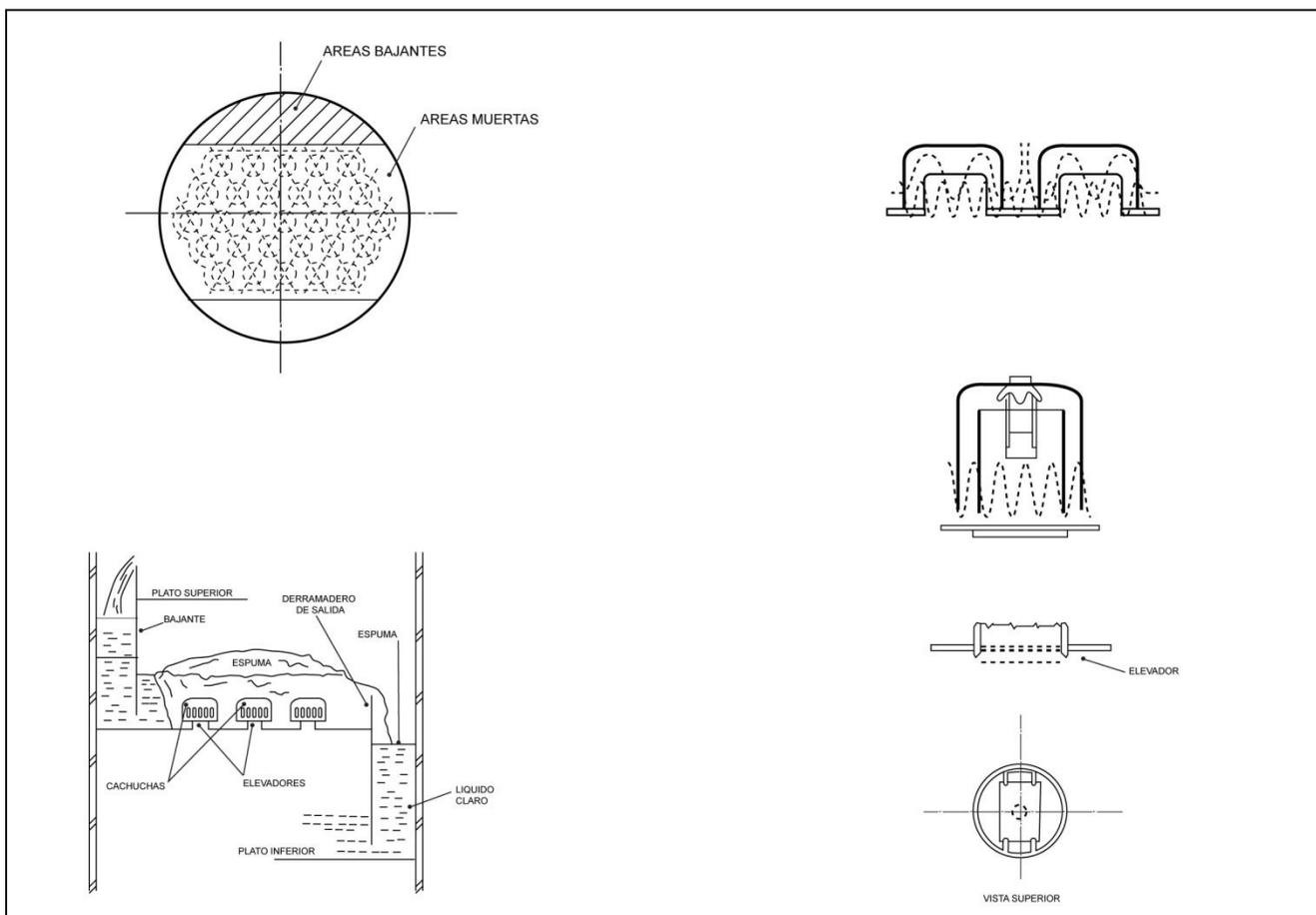
Los materiales de los cuales se construyen las cachuchas son: acero al carbón, acero inoxidable, níquel, cobre, aluminio y aleaciones especiales. En algunos casos, cachuchas de cerámica moldeada se utilizaban para servicios ácidos.

Los elevadores son tubos, usualmente de sección transversal circular, los cuales conducen el vapor proveniente del plato inferior al espacio anular de cachucha sobre las ranuras.

En la mayoría de los casos el elevador actúa como un soporte y un ancla para la cachucha para que el choque del vapor y la turbulencia del líquido no la alejen de su posición sobre el elevador.

Los elevadores pueden estar atornillados o soldados al plato.

Los elevadores se construyen de los mismos materiales que las cachuchas.



**FIG. 3.1 PLATOS DE CACHUCHAS DE BURBUJEO**

Los platos de cachuchas presentan una capacidad moderada y eficiencia tan alta como la de otros tipos de platos. Tienen buena flexibilidad, principalmente son adecuados para manejar bajos flujos de vapor y líquido. Pueden emplearse en todo tipo de servicios excepto en aquellos muy sucios o incrustantes.

La caída de presión que se tiene en estos platos es elevada a causa de la compleja trayectoria que sigue el vapor a través de la cachucha (la mínima caída de presión que se obtiene en estos platos es  $\pm 3$  mm Hg por plato).

El principal motivo por el cual no se emplean mucho en la actualidad es su elevado costo comparado con otros diseños de platos (2 ó 3 veces el de un plato perforado equivalente). Figura 3.1.

### 3.2 PLATOS PERFORADOS

Los platos perforados probablemente son los más antiguos dispositivos de transferencia de masa que se emplean en la actualidad. Su bajo costo inicial, su relativamente amplia flexibilidad y su elevada capacidad son factores que justifican su empleo en muchos servicios <sup>(9) (10) (11)</sup>.

Las partes principales de un plato perforado, son: las bajantes, los derramaderos de salida y el plato perforado propiamente dicho que tiene orificios que varían de  $\frac{1}{4}$  a 1 pulgadas. En general, perforaciones de diámetros grandes ( $\frac{3}{4}$  a 1 pulgada) se recomiendan en servicios sucios e incrustantes; para otras aplicaciones deberán tomarse en cuenta los orificios de menor tamaño. En la mayoría de las aplicaciones, los orificios de  $\frac{3}{8}$  ó  $\frac{1}{2}$  pulgada proporcionan un adecuado balance entre las características de operación y el costo total de la columna donde el diámetro y el espaciamiento entre los platos son las principales consideraciones.

Las perforaciones están arregladas en forma de triángulo equilátero con las filas de los orificios colocadas en forma perpendicular al flujo del líquido y espaciadas de 2.5 a 4 veces el diámetro de las perforaciones.

Los platos perforados pueden diseñarse para manejar flujos dentro de un rango de flexibilidad tan alto como 3 a 1 (para rangos más amplios, generalmente se recomiendan los platos de válvulas).

Las principales limitantes en el diseño de los platos perforados es el goteo y el arrastre junto con el inundamiento de las bajantes.

Dentro del rango de operación normal, la eficiencia de los platos perforados está determinada por las propiedades del sistema y por el diseño de los platos.

A elevadas cargas en el rango de operación de los platos perforados, el arrastre del vapor, al igual que el goteo a bajo flujos disminuye la eficiencia del plato.

Aunque los platos perforados pueden diseñarse para proporcionar flexibilidades de 4 a 1, estos diseños generalmente tienen una elevada caída de presión y requieren un gran espaciamiento entre los platos.

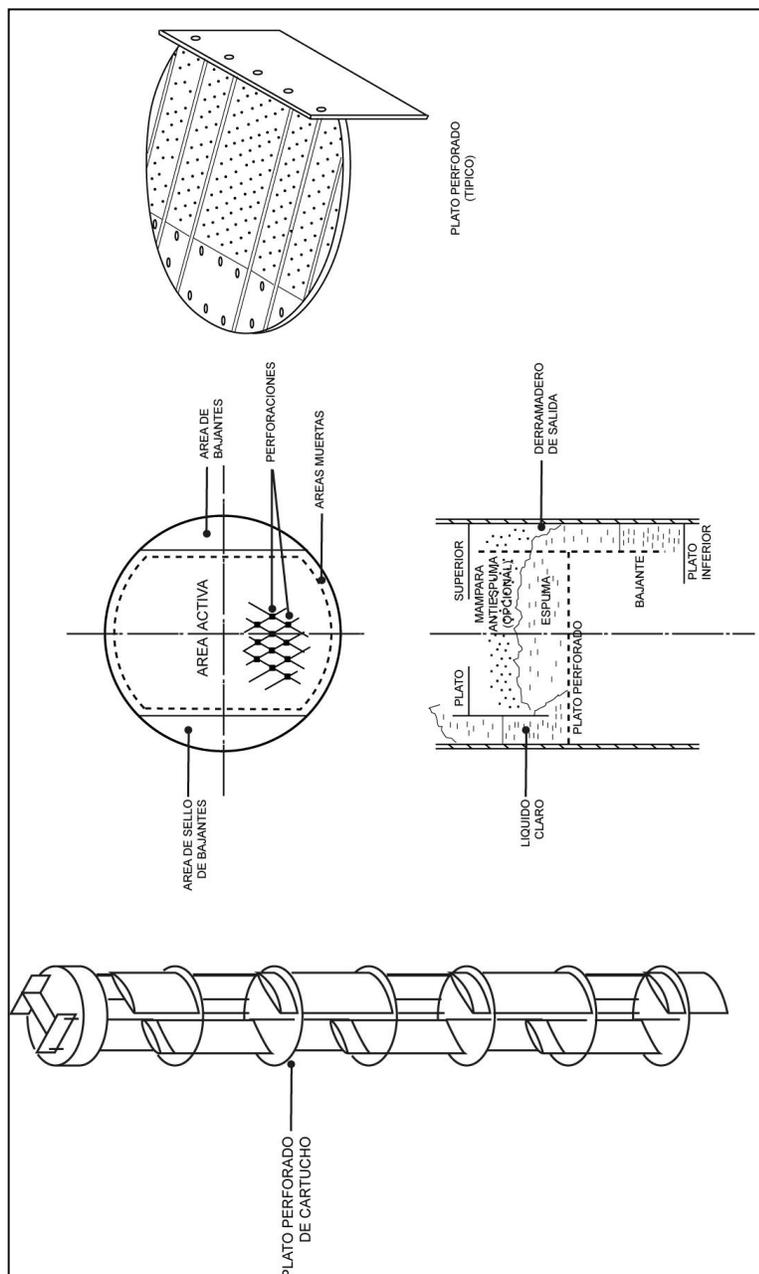
Los platos perforados se construyen generalmente en acero al carbón de calibre 10 ó en aleaciones resistentes a la corrosión de calibres 14 y 16; la selección del material a emplear dependerá de la naturaleza del servicio.

Las principales características del funcionamiento de los platos perforados son las siguientes:

Presentan una capacidad de 20 a 40% mayor que la de los platos de cachuchas, manteniendo una buena eficiencia con flujos alrededor de los de diseño. Sin embargo cuando la capacidad es inferior al 50 % de la de diseño se presentará goteo y su eficiencia disminuirá.

Los platos perforados presentan menos arrastre que los platos de cachuchas de burbujeo, por esto pueden emplearse espaciamientos menores y hacer un diseño más económico.

La caída de presión típica para los platos perforados es de 0.1 psi/plato. Figura 3.2.



**FIG. 3.2 PLATOS PERFORADOS**

### 3.3 PLATOS TIPO BAFLE

Un plato frecuentemente empleado de flujos encontrados para poner en contacto líquidos y gases es el plato tipo baffle. En éstos el gas se pone en contacto con el líquido al pasar a través de la cortina de líquido formada al pasar éste de un plato a otro. Una variedad de los platos baffle es el llamado de disco y dona, el cual es en realidad el arreglo de una pareja de platos constituida por uno en forma de "dona" y otro conformado como un disco, colocados en forma alternada como se muestra en la figura 3.3. En ocasiones, y principalmente para servicios a vacío estos platos cuentan con perforaciones en su superficie para obtener bajas caídas de presión al distribuir el chorro de líquido a través de los orificios ofreciendo así una menor resistencia al paso del vapor.

Otra variedad es el plato baffle shower, el cual tiene la forma de una media luna y se coloca ligeramente inclinado hacia el centro de la torre para facilitar el fluir del líquido. Su funcionamiento es similar al ya descrito.

A veces estos platos se les adiciona una sección perforada y un derramadero a la salida de ésta para regular el flujo del líquido que maneja dicha zona, para disminuir la caída de presión que sufriría el vapor al pasar a través de una densa cortina de líquido. Con estos platos se pueden obtener caídas de presión tan bajas como 0.015 psi. Figura 3.3.

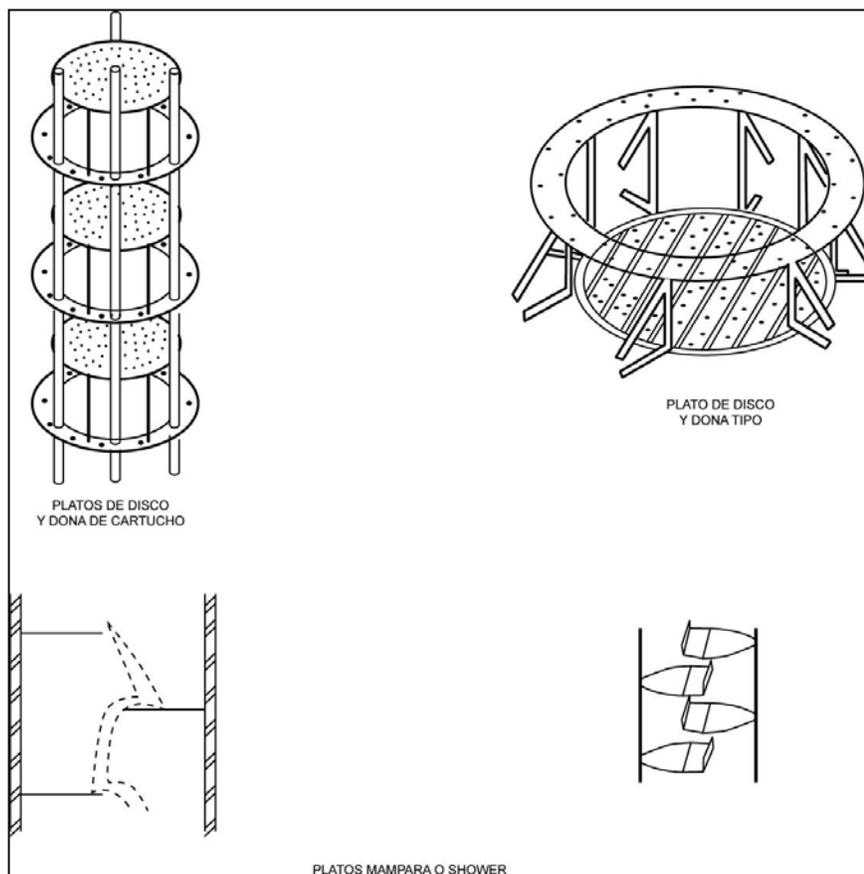
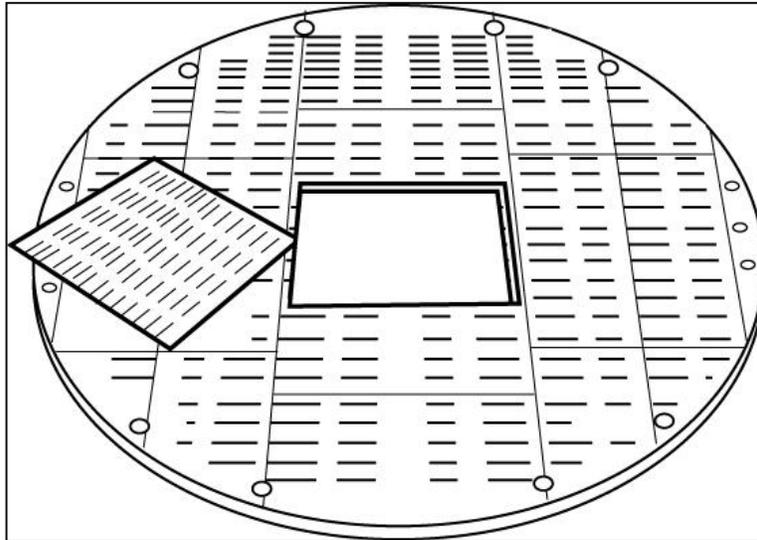


FIG. 3.3 PLATOS TIPO BAFLE

### 3.4 PLATOS TURBOGRID

Este tipo de platos desarrollado por la Shell Development Co. tiene como característica principal la simpleza de su construcción.

El contacto entre las fases se obtiene al pasar el vapor a través de las ranuras del plato. El líquido se sostiene sobre éste, por el vapor ascendente, pero las áreas abiertas están dimensionadas para que el líquido pase hacia abajo a través de las mismas ranuras, pues estos platos no emplean bajantes. El nivel del líquido sobre el plato se mantiene solo por un balance dinámico de los fluidos manejados.



**FIG. 3.4 PLATOS TURBOGRID**

Los platos TurboGrid en torres de un tamaño promedio presentan baja caída de presión, buena eficiencia y alta capacidad.

Su capacidad es casi 50% mayor que la de los platos de cachuchas, sin embargo tienen una mucho menor flexibilidad que hace que la torre no pueda operarse sobre un rango muy amplio de capacidad sin que caiga significativamente la eficiencia; por esto, grandes variaciones en el flujo o la composición de la alimentación no pueden ser absorbidas en forma adecuada. Cuando se conoce que una torre inicialmente operará a bajos flujos y posteriormente lo hará a valores más elevadas, pueden bloquearse algunas secciones de los platos TurboGrid para incrementar la eficiencia a bajas cargas y cuando se requiera manejar elevados flujos las secciones bloqueadas podrán removerse para obtener un mejor funcionamiento.

Estos platos tienen una caída de presión del 40 al 80% menor que los convencionales de cachuchas de burbujeo. Se recomiendan principalmente para servicios sucios y corrosivos en torres de diámetros no muy grandes. Figura 3.4.

### 3.5 PLATOS JET

La organización ESSO ha desarrollado una variante de plato perforado llamada Plato Jet.

Este tipo de dispositivo utiliza la fuerza ó empuje del vapor para ayudar al movimiento del líquido a través del plato.

Los platos tipo Jet han tenido un uso limitado en columnas de destilación y de absorción comparado al de los platos perforados y los de cachuchas de burbujeo, por ello no hay mucha información publicada sobre sus características de diseño, sin embargo su funcionamiento es básicamente el siguiente: el vapor pasa a través de “lengüetas” ligeramente inclinadas en un pequeño ángulo con respecto a la superficie del plato, las lengüetas están formadas por material del mismo plato, debido al cambio de dirección que sufre el flujo de vapor el líquido se verá impulsado por chorros de vapor en su paso a través del plato.

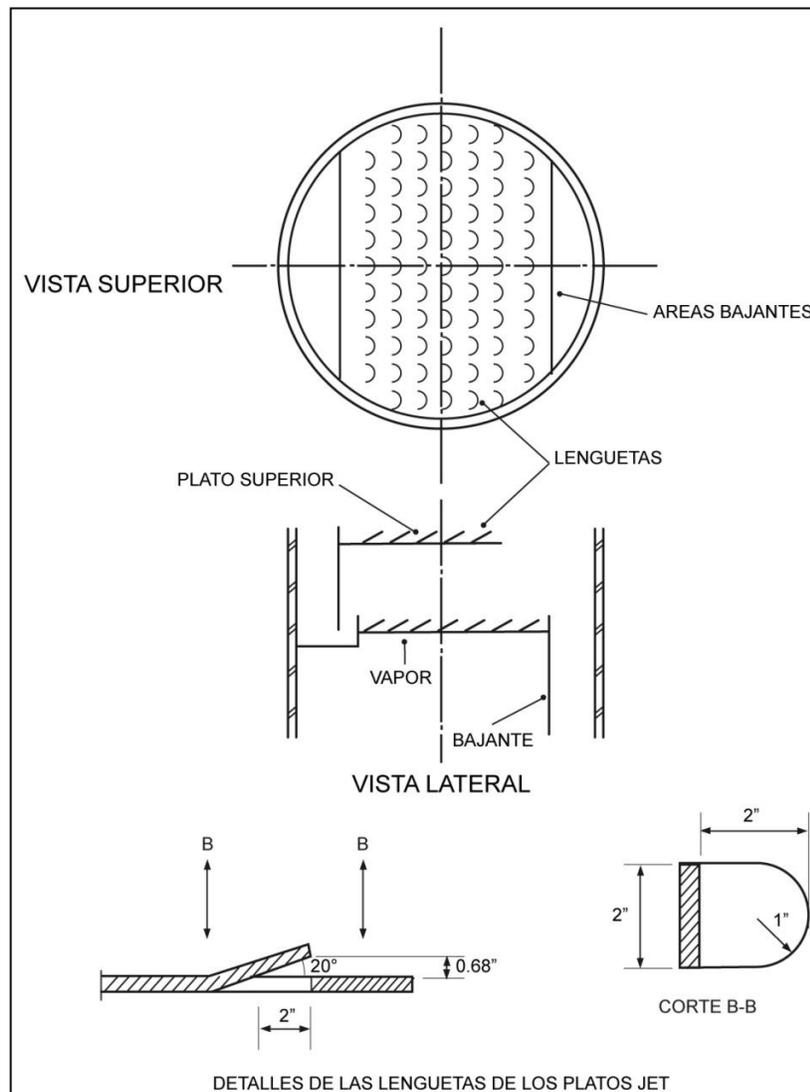


FIG. 3.5 PLATOS JET

El resto de las partes componentes de este tipo de platos es similar al de los platos perforados.

Estos platos presentan capacidades 30% mayores que la de los platos de cachuchas convencionales y una similar eficiencia, una baja caída de presión y un costo equivalente a la mitad de un plato de cachuchas de iguales dimensiones. Figura 3.5.

### **3.6 PLATOS KITTEL Y CENTRIFUGOS**

El plato Kittel es una variedad de plato perforado que se ha usado en muchos servicios, principalmente en los países Europeos.

Aunque el sistema de funcionamiento está basado en el de los platos perforados sin bajantes, tienen ciertas características que lo distinguen y que le dan mayor flexibilidad operacional. Existen varios tipos de platos Kittel, pero los principios básicos son los mismos.

El plato Kittel es un sistema de contacto que emplea dos diseños diferentes de rejillas, formadas por varias placas de metal expandido, las dos rejillas juntas son denominadas plato Kittel. En este sistema la rejilla superior tiene ranuras colocadas en tal forma que impulsan al líquido, con un movimiento espiral, hacia la pared de la columna; por ello se le denomina rejilla centrífuga. La rejilla inferior orienta al líquido hacia el centro del plato y se le llama rejilla centrípeta.

Los platos Kittel tienen buena eficiencia, baja caída de presión, moderada flexibilidad, evitan la formación de incrustaciones y se recomiendan para manejar cargas elevadas.

Una modificación al sistema Kittel es el plato centrífugo, el cual dirige al líquido en el mismo sentido (centrífugo) en ambas rejillas y tiene una bajante central para conducir al líquido de una rejilla a otra. En este plato el líquido se alimenta al centro de éste y pasa sobre las placas de metal expandido que forman la rejilla. Las placas tienen ranuras colocadas en forma adecuada para dirigir al vapor tangencialmente en su paso a través del plato. El líquido es impulsado por el vapor y toma un movimiento espiral sobre el plato para eventualmente caer dentro de un canal anular y regresar al centro de la rejilla por medio de unos canales radiales; finalmente entra a la bajante y fluye hacia la rejilla inferior. La rejilla superior difiere de la inferior en el tamaño y disposición de las ranuras. En algunos diseños, la bajante de la rejilla superior es más alta y puede colocarse en tal forma que parte del líquido recircule varias veces antes de caer a la rejilla inferior, esto puede ser muy conveniente para sistemas en los que se manejen bajos flujos de líquido. Por la rejilla inferior el líquido pasa una sola vez.

Los platos centrífugos tienen las mismas características de funcionamiento que los platos kittel pero con una mayor flexibilidad (similar a la de los platos perforados con bajantes). Figura 3.6.

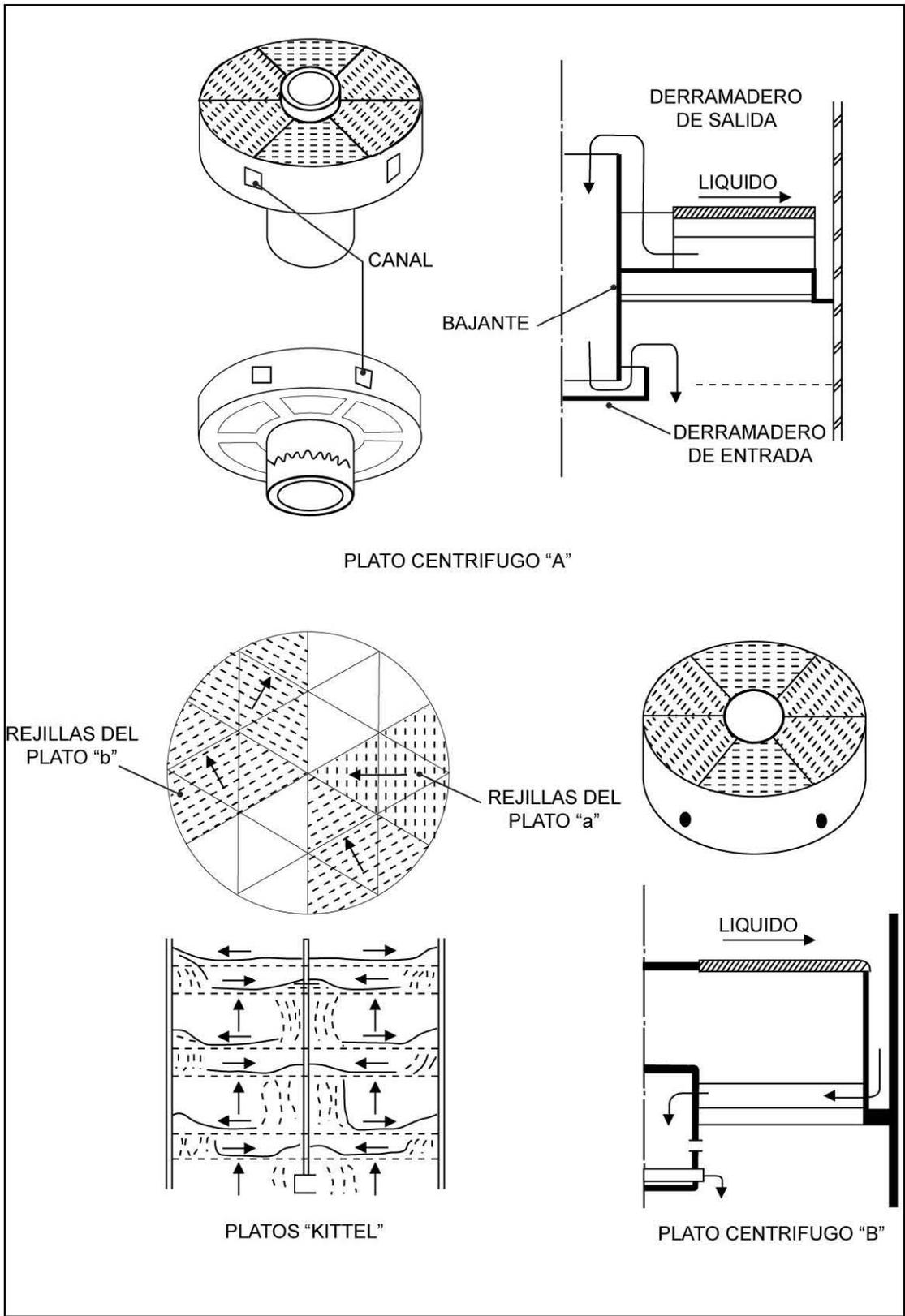


FIG. 3.6 PLATOS KITTEL Y CENTRIFUGOS

### 3.7 PLATOS DE LINDE Y PLATOS DE MULTIPLE BAJANTE

La Union Carbide Co. ha introducido un nuevo tipo de plato perforado, el plato de Linde.

La principal innovación en este nuevo diseño es el promotor de burbujeo.

Esencialmente, líquido claro entra al plato proveniente de la bajante del plato superior. Este líquido posee una elevada densidad lo cual favorece al goteo a través de las perforaciones en la entrada del plato. Utilizando el promotor de burbujeo, una corrugación inclinada que se extiende a lo largo del derramadero de entrada se reduce la resistencia al paso del vapor a través del líquido, disminuyendo así la carga del líquido y el goteo. El vapor fluye preferentemente a través del promotor iniciando el burbujeo, el vapor aerea el líquido y reduce su densidad, una vez iniciado el burbujeo se propaga por la superficie del plato.

Los platos perforados de Linde presentan además otra nueva característica, la disposición de ranuras inclinadas sobre la superficie del plato las cuales introducen una porción del flujo de vapor a la superficie del plato en la dirección del flujo de líquido.

En columnas de diámetro pequeño, las ranuras están uniformemente distribuidas sobre la superficie del plato. En columnas de gran diámetro la cantidad de ranuras cerca de la salida es mayor que a la entrada.

Las principales ventajas que presenta este diseño sobre los platos perforados tradicionales, según la compañía fabricante, son: capacidad 40 a 100% mayor que la de una columna convencional del mismo tamaño, caída de presión igual a un tercio de la obtenida en los platos perforados y una eficiencia casi 40% mayor. El costo de estas columnas, dice Union Carbide, es 25% menor que el de una columna de capacidad similar. Figura 3.7.

Para sistemas que manejen grandes cargas de líquido, la compañía tiene un sistema patentado de pequeñas múltiples bajantes. Este tipo de platos utiliza varias bajantes apropiadamente distribuidas sobre la superficie del plato para proveer una corta trayectoria de flujo al líquido y una gran longitud total de derramadero. Localizadas entre las bajantes se encuentran las superficies perforadas del plato. El vapor pasa a través de las perforaciones mientras el líquido fluye sobre el área activa del plato para que ocurra la transferencia de masa. Los platos sucesivos están rotados 90° uno de otro para facilitar la redistribución del líquido y del vapor entre platos y prevenir una mala distribución de los flujos. Las bajantes, fabricadas como canales alargadas, no solo colectan el líquido y lo distribuyen en el plato inferior sino que además forman el soporte para todo el plato. Las bajantes se extienden de un lado a otro del plato sostenidas por un anillo de soporte continuo y son la estructura para soportar las secciones del plato perforado.

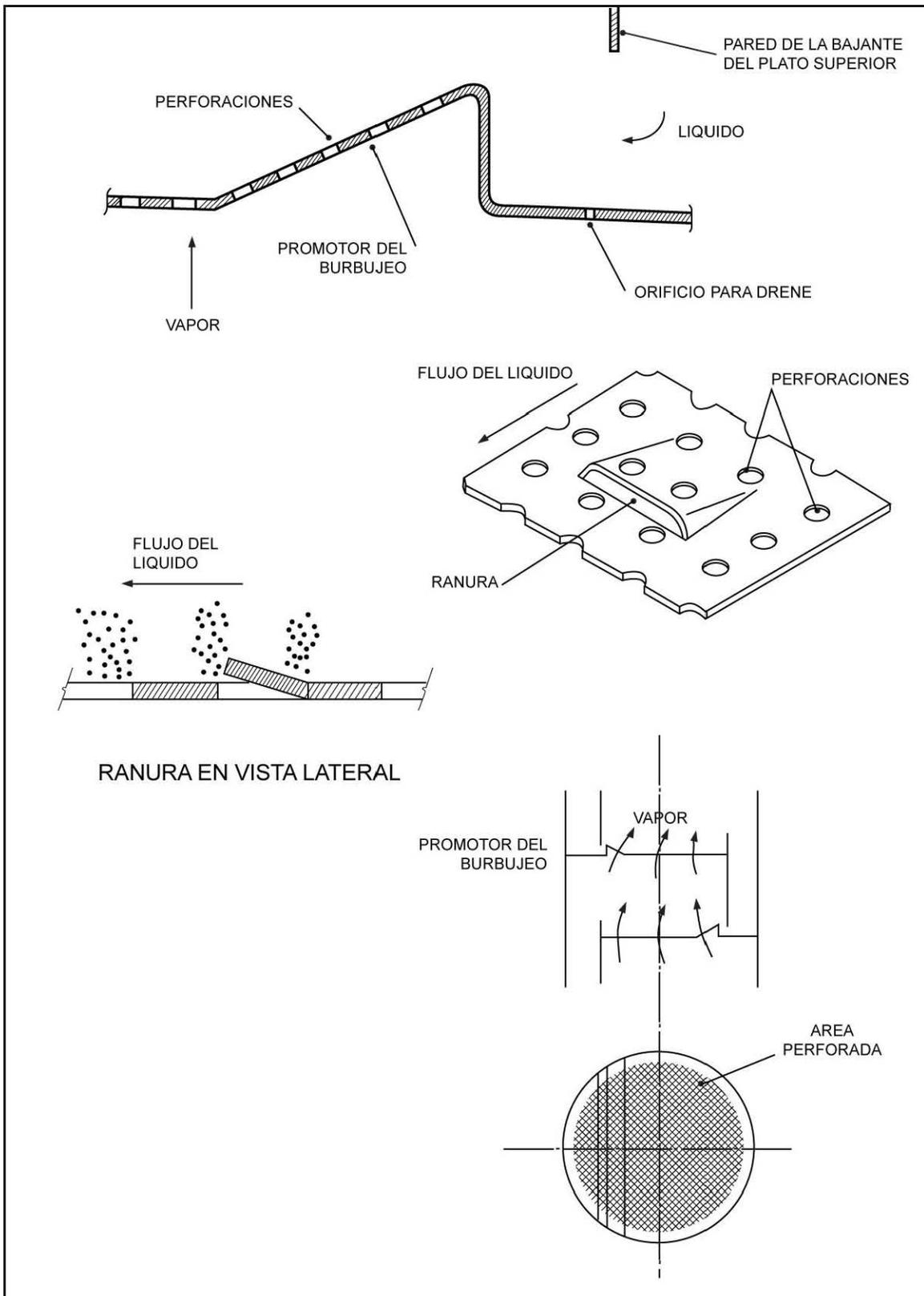


FIG. 3.7 PLATOS DE LINDE

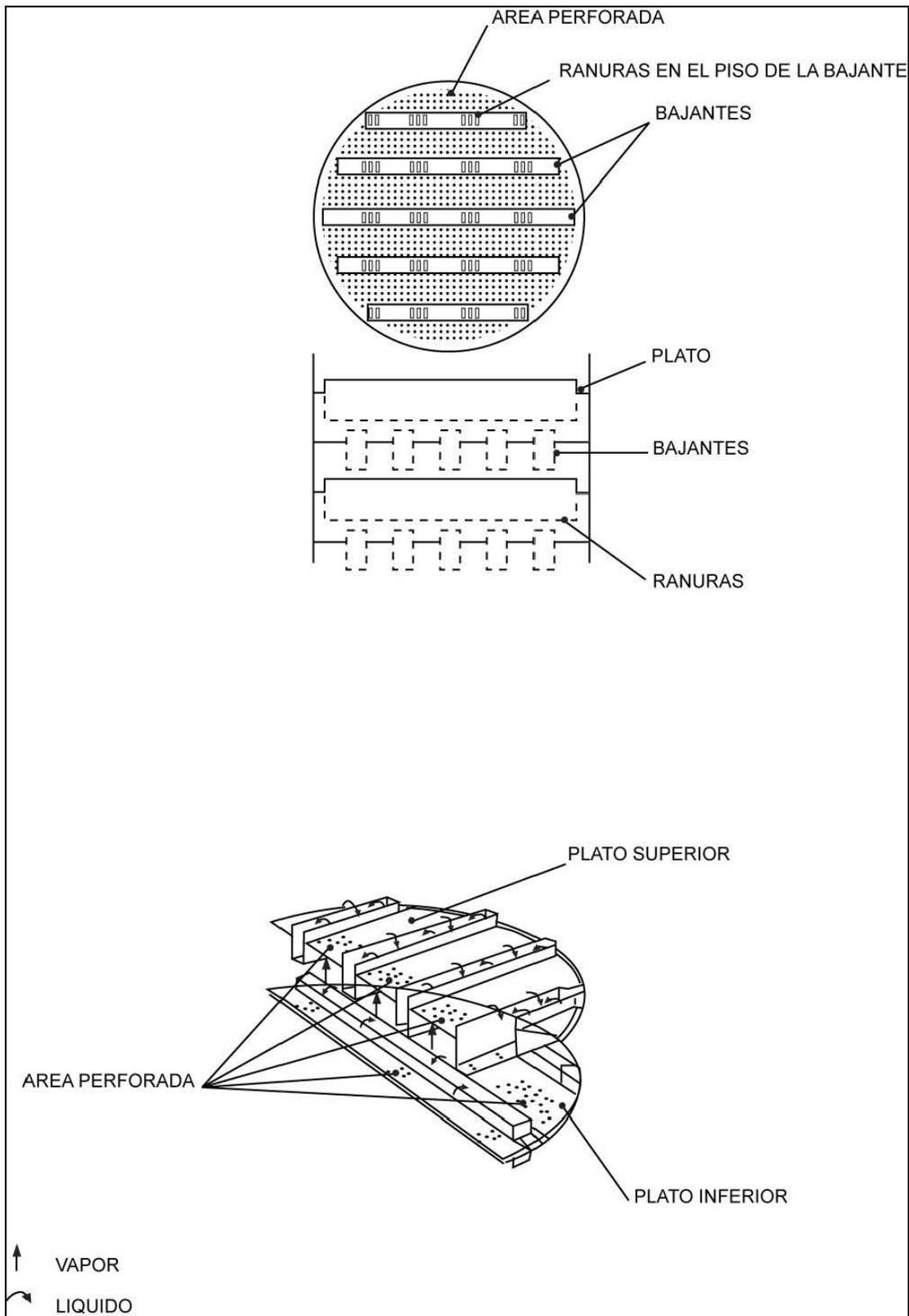


FIG. 3.8 PLATOS DE MULTIPLE BAJANTE

El plato de múltiples bajantes, elimina entonces la necesidad de un sistema de soporte para el plato, simplificando su instalación. Las bajantes se extienden hasta el espacio sobre la zona de espumado del líquido del plato inferior y están diseñadas para dar un sello dinámico a la bajante que impide el paso del vapor a su interior sin necesidad de ocupar parte del plato para el área de sello de las bajantes.

El empleo de varias bajantes reduce la carga que fluye sobre los derramaderos disminuyendo la cresta de espuma sobre el derramadero a una altura que es usualmente pequeña.

Lo anterior permite controlar el nivel de la espuma al seleccionar apropiadamente la altura del derramadero de salida. Este control elimina la necesidad de emplear grandes espaciamientos entre los platos, como ocurre comúnmente en otros diseños para poder manejar los elevados niveles de espuma ocasionados por las altas cargas sobre el derramadero.

Las ventajas señaladas por los fabricantes de este modelo, son las siguientes:

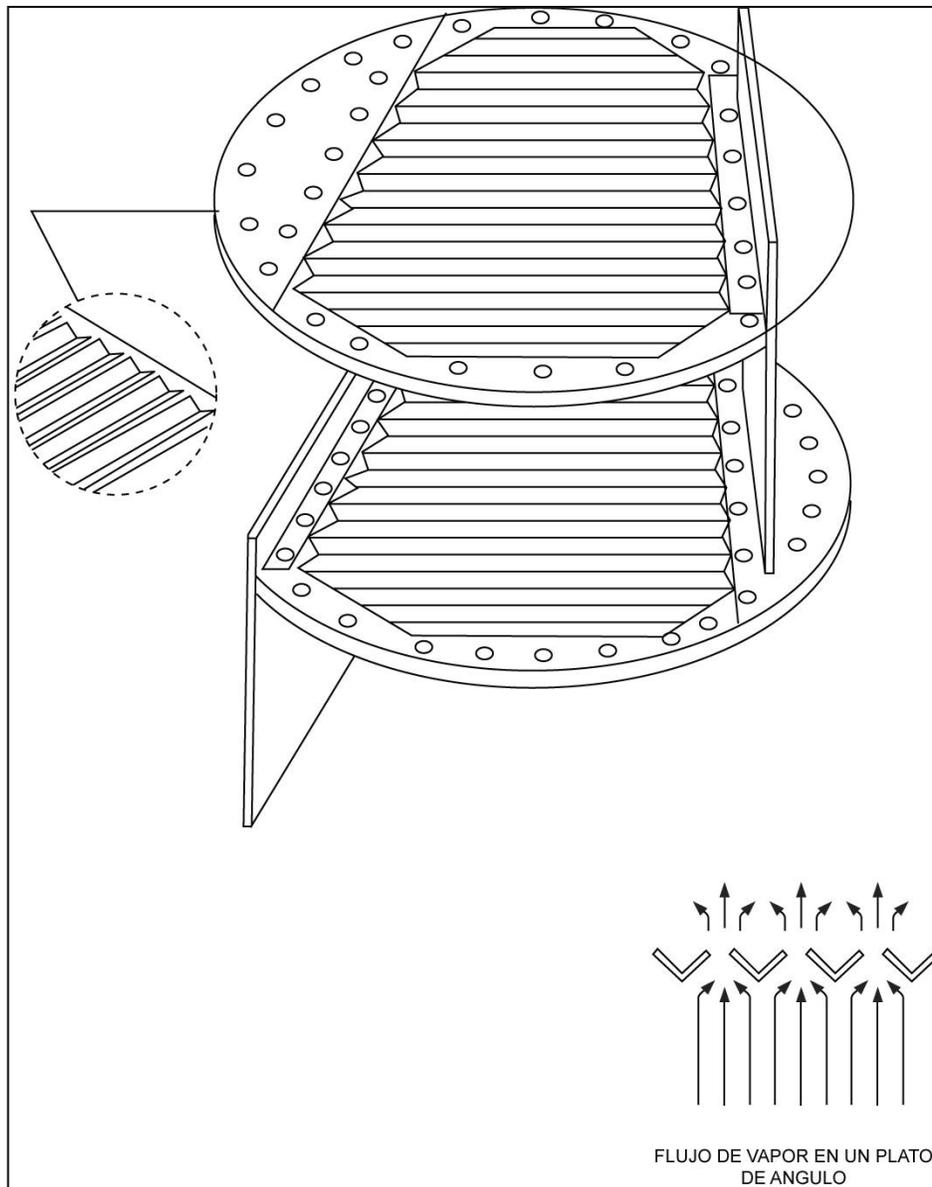
Mayor capacidad de líquido y de vapor, a causa de la menor área requerida para el flujo de líquido. Mejor distribución de los flujos y menores espaciamientos entre los platos, resultando en una columna de menor altura ó un incremento en el número de etapas teóricas en una columna de altura determinada. Figura 3.8.

### **3.8 PLATOS DE ANGULO**

IHI ha desarrollado un nuevo modelo de plato de destilación, el cual ha sido denominado plato de ángulo. Este está construido principalmente con ángulos de acero de los comúnmente empleados como soportes en los platos convencionales.

Una de las características de este diseño, es el presentar una gran rigidez lo cual les hace apropiados para emplearse en columnas de gran diámetro donde con frecuencia se presenta el problema de deflexión en los platos. El costo de fabricación de este tipo de platos es relativamente bajo, al no requerir mucha mano de obra en su construcción. En los platos de ángulo el contacto entre las fases ocurre en las aberturas entre los ángulos y a diferencia de otros platos en los cuales el vapor tiene que desviar su trayectoria en un ángulo de 90° para pasar a través de las perforaciones, en este diseño el cambio de dirección es suave pues sigue la inclinación del ángulo metálico. Figura 3.9. Lo anterior hace que se obtenga una menor caída de presión que en otros tipos de platos, aproximadamente la mitad de la de los platos perforados.

Pruebas efectuadas por FRI con este nuevo dispositivo indican que presentan las siguientes características en su funcionamiento: Baja caída de presión, alta eficiencia y capacidad 20% mayor que la de un plato perforado convencional. Sin embargo, no presentan una muy alta flexibilidad.



**FIG. 3.9 PLATOS DE ANGULO**

### **3.9 PLATOS DE VALVULAS <sup>(9)</sup> <sup>(17)</sup> <sup>(18)</sup>.**

Estos son platos perforados con aberturas variables para el flujo del vapor. Las perforaciones están cubiertas con dispositivos móviles los cuales comúnmente son discos circulares, retenidos en su sitio por medio de guías colocadas sobre la superficie del plato ó en la misma válvula, los cuales se elevarán conforme el flujo de vapor se incremente y cuando el flujo disminuya a un valor determinado de acuerdo al peso y características de la válvula se asentarán sobre los orificios.

Platos de los tipos citados, en los cuales las válvulas son discos circulares que flotan sobre el orificio, son el FLEXITRAY y el BALLAST TRAY de Koch-Glitsch. El Flexitray tiene dos distintos diseños de válvulas, el tipo "T" y el "A". Las unidades Ballast son de varios tipos pero los básicos son dos, la unidad tipo "A" y la "V". La tipo "V" consiste de un disco circular con piernas ó guías que permiten a la válvula abrir hasta un límite fijo ó cerrar parcialmente. La unidad tipo "A" se compone de la cubierta del orificio, de un disco "BALLAST" y de una cubierta fija a la superficie del plato que retiene a los otros componentes en su sitio sobre la perforación denominada "TRAVEL STOP".

Los platos de válvulas operan con buena eficiencia en un amplio rango de operación ya que a bajas cargas regulan su área abierta en forma proporcional al flujo de vapor manteniendo suficiente caída de presión dinámica en el plato para prevenir el goteo excesivo (como ocurre en los platos perforados) y la resultante disminución de la eficiencia.

En ocasiones se utilizan válvulas de dos pesos diferentes, colocados en filas alternadas en la dirección del flujo de líquido. Esto es con el propósito de dar una mejor distribución al flujo de vapor que pasa por el plato y obtener una mayor flexibilidad.

También hay válvulas de muchas otras formas, rectangulares, triangulares, cuadradas, dentadas, etc. retenidas sobre la perforación por diferentes medios como patas, ganchos ó arañas pero teniendo todas un comportamiento similar. Fig. 3.10.

Los platos valvulados dan gran flexibilidad a la variación de los flujos, prácticamente pueden funcionar perfectamente sin bajar su eficiencia con inundaciones que van del 30 al 85%.

Las principales ventajas que se obtienen al utilizar platos de válvulas son las siguientes:

1. Caída de presión casi constante a lo largo de su rango de operación.
2. Alta flexibilidad.
3. Mayor capacidad para un determinado diámetro que un plato de cachuchas.
4. Eficiencia comparable a la de los platos perforados.

A continuación se señalan las características y el funcionamiento de los principales tipos de platos valvulados.

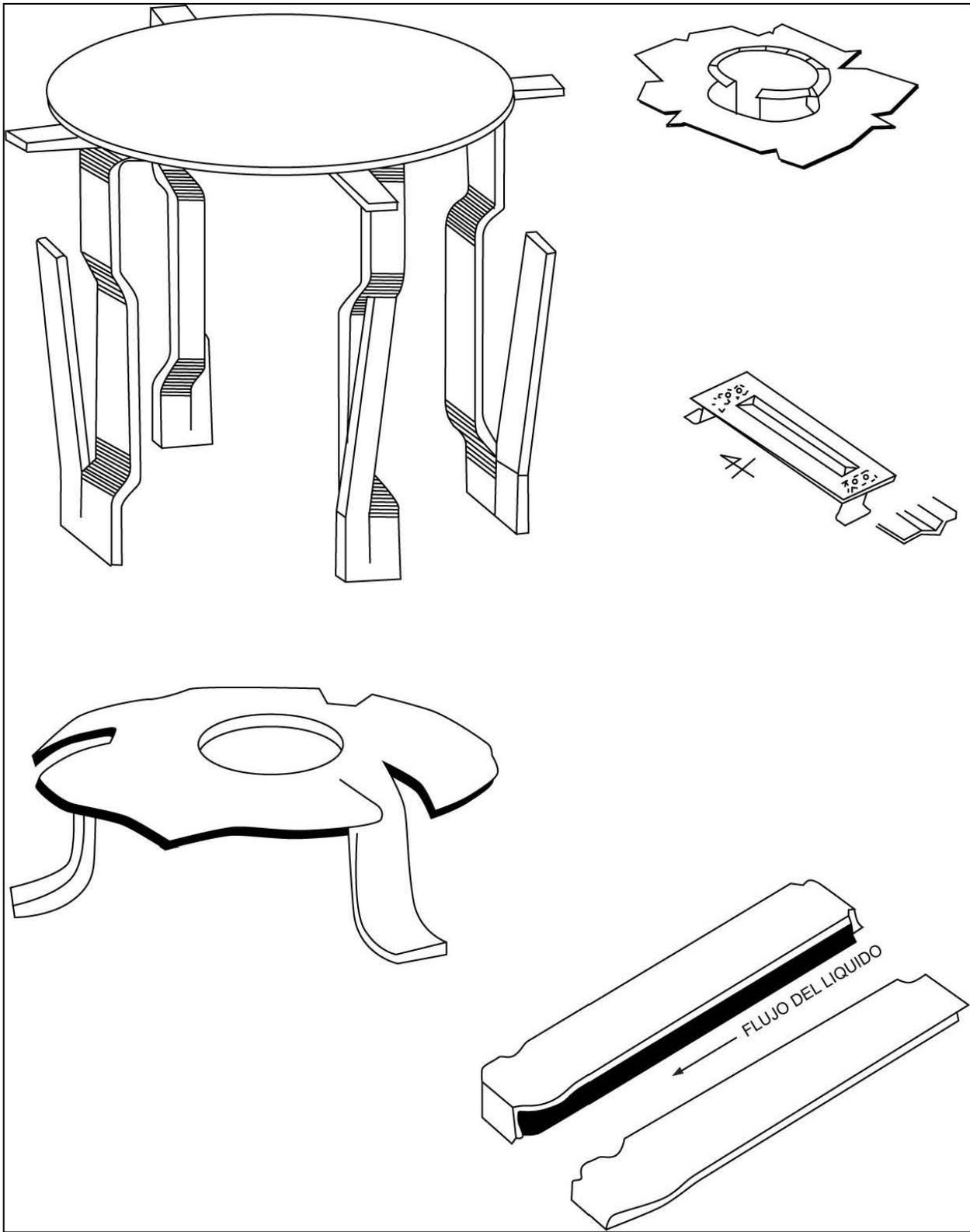


FIG. 3.10 ALGUNOS TIPOS DE VALVULAS

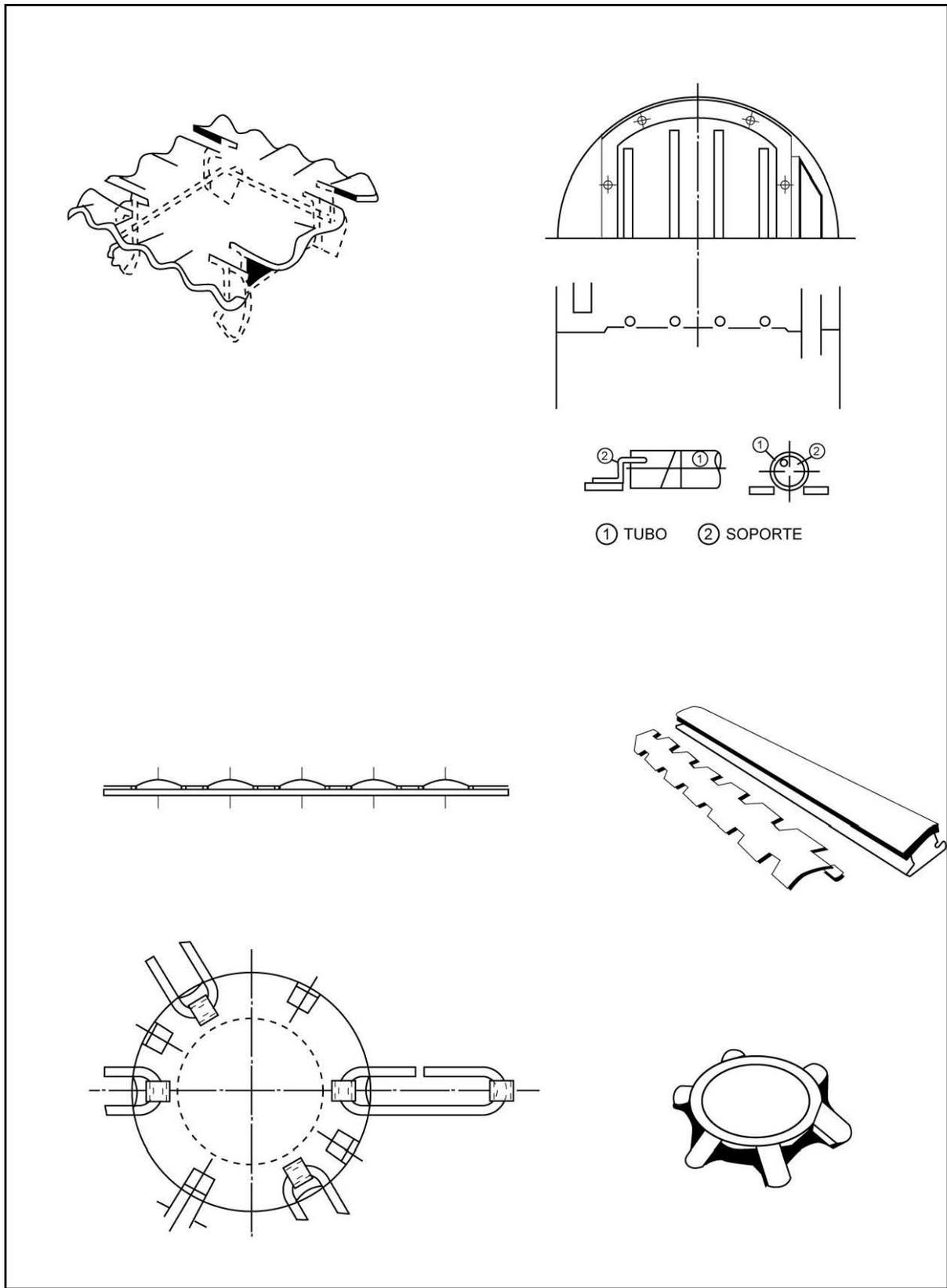


FIG. 3.10

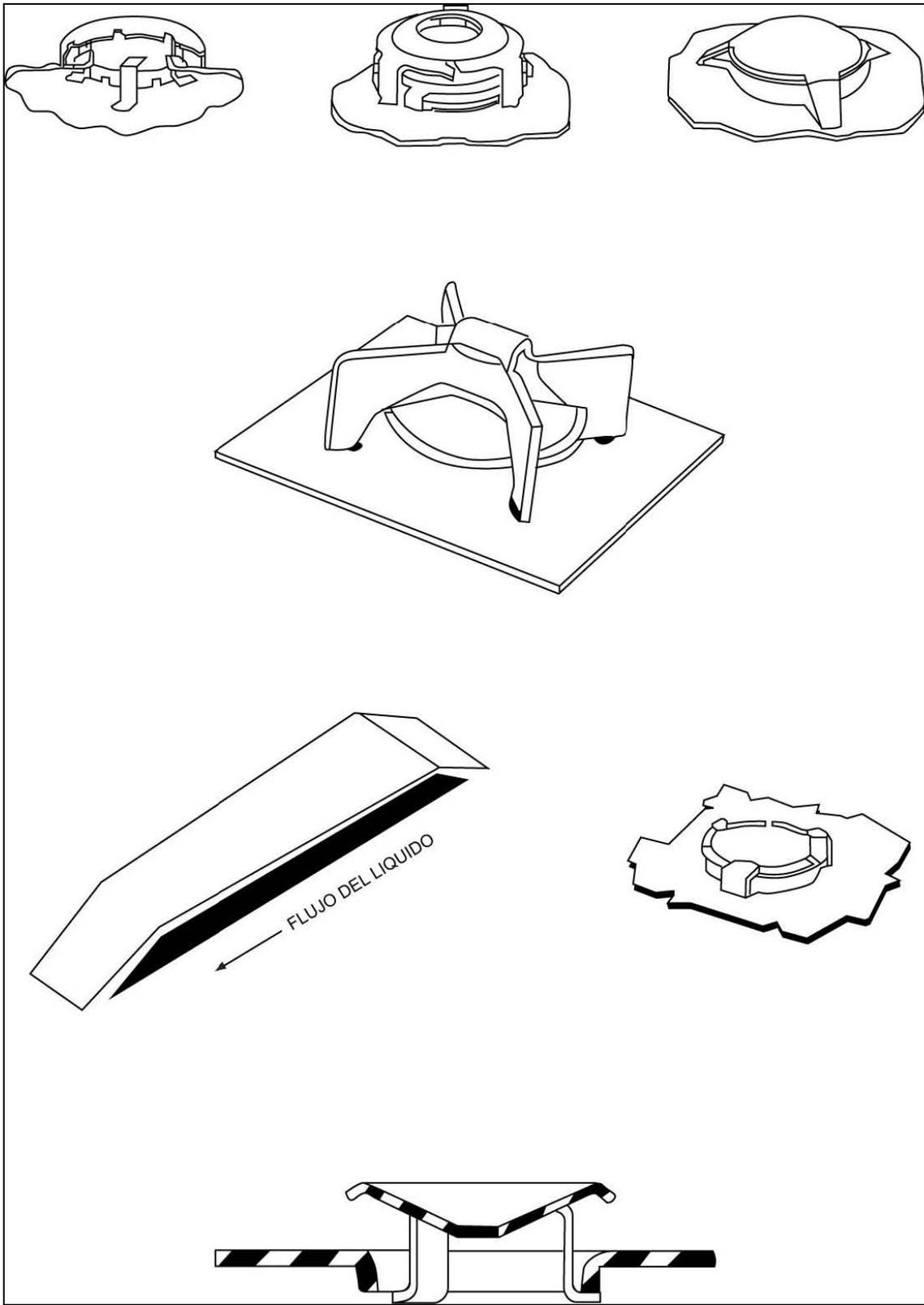


FIG. 3.10

### 3.9.1 PLATOS BALLAST. (KOCH-GLITSCH)

El plato Ballast se diseña normalmente empleando la tradicional construcción del plato por secciones, con el plato soportado sobre un anillo soldado al interior de las paredes de la columna. Las bajantes son iguales a las de otro tipo de platos, al igual que los soportes y el diseño mecánico en general <sup>(17)</sup>.

Las ventajas de los platos Ballast pueden resumirse como sigue:

1. Elevada eficiencia a bajas cargas lo que permite obtener una cantidad mínima de productos fuera de las especificaciones, por ejemplo durante el arranque de la torre. El alto grado de flexibilidad hace posible operar en un amplio rango de operación sin sacrificar la eficiencia. Son capaces de operar a bajos flujos de vapor (25% del flujo de diseño) con buena flexibilidad y estabilidad.
2. La eficiencia se mantiene alta aún cerca del inundamiento lo cual permite un incremento en su capacidad útil y un empleo más eficaz de la columna y el equipo auxiliar.
3. La elevada eficiencia a condiciones de carga intermedia puede utilizarse para mejorar la calidad del producto; para reducir la relación de reflujo o para reducir el número de platos.
4. La combinación de baja caída de presión y alta eficiencia para sistemas de vacío significa una menor caída de presión en la torre.
5. El diseño mecánico de las lengüetas es tal que elimina casi totalmente los problemas de ensuciamiento. El mantenimiento de las unidades es simple porque la parte superior de las válvulas es plana y lisa, sin partes afiladas en la superficie del plato.

Los platos Ballast pueden utilizarse en cualquier servicio limpio y se han empleado en muchos servicios sucios con buenos resultados.

6. Mínimo costo de operación y mantenimiento.

En la mayoría de los casos, la superficie del plato, las bajantes y demás componentes de éste se fabrican con acero al carbón calibre 10 y las válvulas de acero inoxidable calibre 16.

Con el propósito de dar un mejor funcionamiento en diferentes servicios Koch-Glitsch fabrica varios tipos de plato Ballast.

#### SERIE DE PLATOS BALLAST TIPO "A" <sup>(17)</sup>.

Este modelo es el original plato Ballast. Cada unidad consta de tres piezas, una cubierta para la perforación del plato, llamada la tapa del orificio; un lastre que controla la abertura de la tapa ó cubierta, denominado peso ó placa "ballast"; y una especie de anillo fijo a la superficie del plato que envuelve a las otras piezas y las mantiene en su posición sobre la perforación denominado "travel stop".

La abertura para el paso del vapor, en las válvulas de este tipo, es función del flujo de vapor. A bajos flujos, la cubierta del orificio se eleva hasta una altura intermedia limitada por la placa "Ballast". Ambos, la cubierta del orificio y la placa ballast se elevan para dar una abertura completa a elevados flujos de gas. La altura máxima que alcanzaran está limitada por el "travel stop".

El vapor se eleva desde el plato inferior, pasa a través del orificio y se desvía en una trayectoria horizontal al pasar por una abertura anular formada por la cubierta del orificio y el piso del plato. Esta abertura varía automáticamente con el flujo del vapor dando como resultado una velocidad casi constante; la abertura es controlada por el peso "ballast" cuando varían las condiciones.

El funcionamiento de estas válvulas, en general, es el siguiente:

Por el control mecánico que se tiene sobre la abertura para el paso del vapor se obtiene una flexibilidad global del plato de 9 a 1. Esto es decir que si un plato está diseñado para las cargas normales de líquido y vapor, el plato trabajará en forma estable aún al 11% de esas cargas. Conviene notar que a lo largo de este rango, la velocidad del vapor a través de las aberturas no cambia con lo cual se evitan las variaciones en el flujo y se asegura una operación estable; además, se puede utilizar un diseño constante para el plato en secciones de la torre en las cuales el volumen del vapor esté variando, simplificando el diseño y el mantenimiento. La flexibilidad de estos platos es casi el doble de la obtenida con un plato de cachuchas de burbujeo y presentan eficiencias al menos iguales a las de esos platos.

El plato BALLAST A-1 es muy resistente a las fugas de líquido y se recomienda su empleo en servicios con muy bajos flujos de vapor y cuando se requiere una gran flexibilidad.

La serie A puede además emplearse con sólo la placa Ballast si así se desea, los diferentes modelos de la serie A, son:

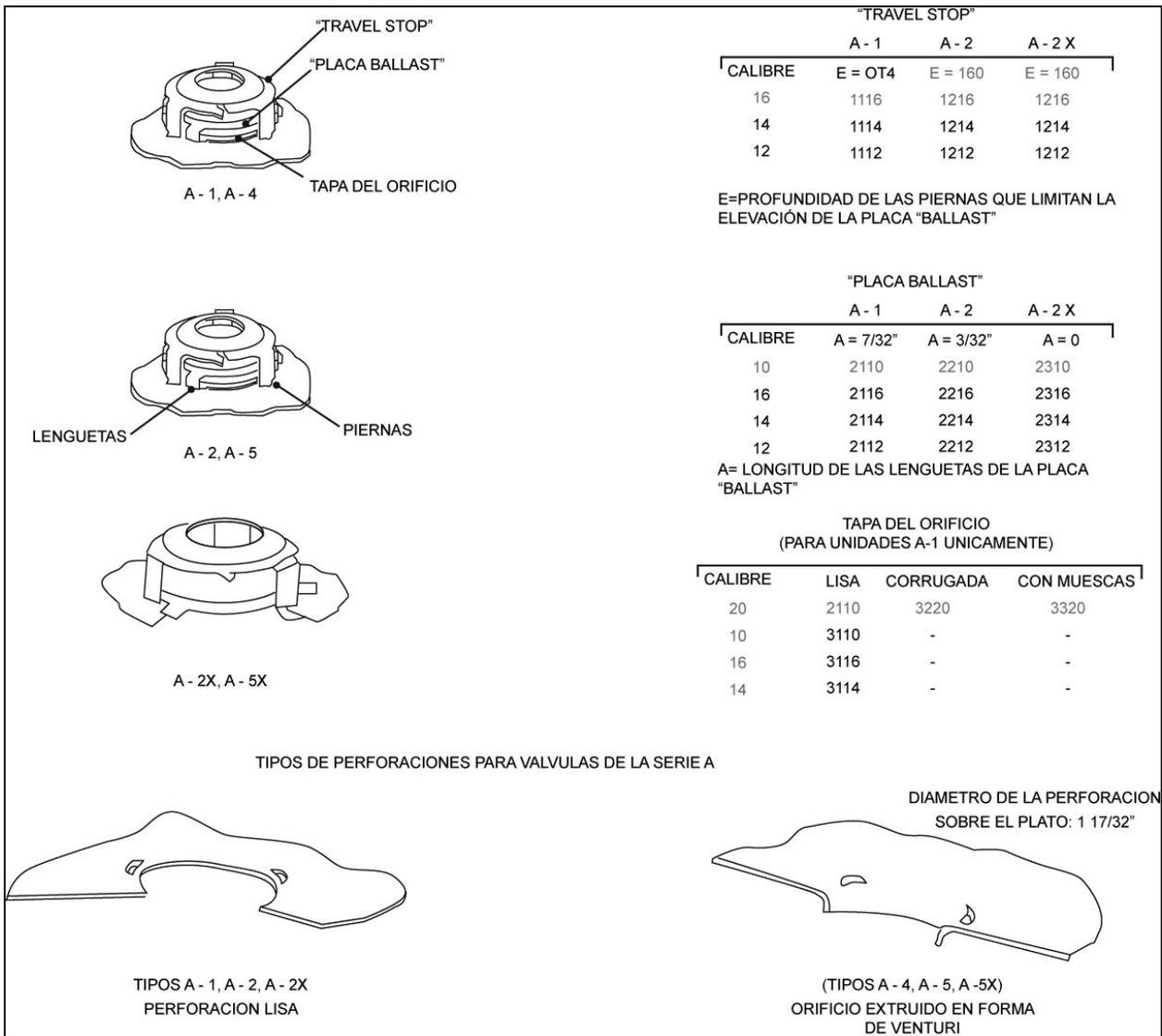
A-1. El original plato "Ballast" con una ligera cubierta del orificio la cual puede cerrar completamente. Tiene una placa Ballast separada para dar una operación en dos etapas, dependiendo del flujo de vapor se regulará la abertura con la tapa del orificio ó bien con la tapa y el peso ballast para controlar la velocidad del vapor. Además cuenta con un dispositivo llamado "Travel stop" para mantener en su posición a la tapa del orificio y a la placa Ballast.

A-2. Igual que el modelo A-1, excepto que se omite la tapa del orificio.

A-4. Es una Unidad A-1 combinada con un orificio en forma de venturi para reducir la caída de presión.

A-5. Es una Unidad A-2 con orificio en forma de venturi.

A-2x y A-5x. Son unidades A-2 y A-5 que asientan completamente sobre la perforación con su placa ballast. Fig. 3.11.



**FIG. 3.11 UNIDADES "BALLAST" SERIE A**

**PLATOS BALLAST DE LA SERIE V <sup>(17)</sup>.**

El plato Ballast modelo V-1 presenta una abertura en dos etapas, por lo anterior aún a bajos flujos de vapor se tendrá al vapor fluyendo a través de todas las válvulas y con elevados flujos las válvulas se abrirán totalmente, obteniendo así un amplio rango de condiciones de operación estables. El perímetro de la válvula está inclinado hacia abajo y afilado en la parte inferior del borde, esto contribuye a incrementar la turbulencia en el punto donde el vapor se pone en contacto con el líquido

al generar un efecto parecido a la vena contracta que incrementa al área interfacial y por consiguiente la eficiencia. Normalmente se utilizan válvulas relativamente pesadas (calibre 16), excepto en torres de vacío, las unidades pesadas incrementan la caída de presión seca y por eso aumentan la eficiencia del plato en la región de operación donde las válvulas no están completamente abiertas. Los platos V-1 tienen una mayor eficiencia y capacidad al menos igual que la del plato Ballast de la serie A descrito anteriormente y su construcción es más simple y económica. La flexibilidad está del orden de 9 a 1. Las anteriores ventajas pueden emplearse en una ó más de las siguientes maneras:

La más alta eficiencia puede emplearse para mejorar la calidad del producto: para reducir la relación de reflujo, con lo cual se economiza en los gastos de vapor y agua de enfriamiento; o para reducir el número de platos, particularmente para sistemas que requieren un gran número de etapas teóricas.

La elevada eficiencia a bajas cargas asegura una cantidad mínima de productos fuera de especificaciones durante el arranque. El alto grado de flexibilidad permite operar en un amplio rango de operación sin que decaiga la eficiencia significativamente.

El incremento en la capacidad útil significa un más eficaz empleo del equilibrio auxiliar, bombas, cambiadores, etc.

A flujos de vapor muy bajos, las unidades tipo V se asientan en tres lengüetas las cuales sostienen al disco de la válvula sobre la superficie del plato a una distancia aproximada de un décimo de pulgada, ésta es una distancia recomendable, una mayor elevación inicial puede ser una abertura muy grande para operar a bajas cargas, las lengüetas además ayudan a prevenir la adhesión de suciedad en las unidades. Para condiciones especiales, puede desearse que las unidades Ballast se asienten completamente, en esos casos se eliminan las lengüetas, ó bien la distancia de las lengüetas puede variarse para dar una abertura inicial determinada y así ampliar el rango de operación con flujos de vapor muy reducidos.

Cuando el flujo de vapor es alto, la válvula se eleva verticalmente, siendo mantenida en su posición sobre el orificio por medio de tres piernas ó paletas guías. Ganchos en el fondo de las paletas retienen a la válvula en su respectivo orificio y limitan el ascenso del disco para dar una abertura máxima de aproximadamente 0.32 pulgadas pero que puede variarse de acuerdo a requerimientos del proceso. Los ganchos están diseñados para dar una línea de contacto con la parte baja del plato y prevenir el ensuciamiento con el accionar de la válvula.

La parte superior del disco de la válvula es plano y liso para simplificar los problemas de mantenimiento.

Hay algunas modificaciones a las unidades V-1 con las cuales cambia la denominación de las válvulas. Las unidades V-2 tienen piernas ó paletas soldadas al disco a diferencia de las del tipo V-1 que están construidas mediante cortes y dobleces de la misma válvula. Las paletas de las unidades V-3 están rotadas 90° con respecto a las del tipo V-2. Otro modelo de válvula de la serie V, es la V-0 la cual es una válvula fija que presenta la ventaja de su bajo costo de fabricación pues puede construirse casi al

mismo precio que los platos perforados pero obteniendo al emplearle mejor flexibilidad y más alta eficiencia. A la combinación de válvulas tipo V-0 y V-1 en un plato se le denomina V-5.

En ocasiones se emplean anillos empotrados a los orificios para servicios corrosivos ó de alto vacío, para proteger del desgaste al borde de la perforación ó para tener una menor caída de presión, para esto último se recomiendan los que tienen forma de venturi; generalmente se emplean junto con unidades del tipo V-3.

Cuando se requiere una baja caída de presión, las válvulas con orificios extruídos en forma de venturi son recomendables, ejemplo de este tipo de unidades son las V-4.

Las unidades Ballast de la serie V pueden utilizarse en platos de cualquier calibre de espesor; el tamaño estándar de éstas es 1 7/8 de pulgada, pero están disponibles también en diámetros desde 5/8 de pulgada a 4 pulgadas. El diámetro más pequeño se emplea en servicios donde se requiera poco espaciamento entre los platos. Las unidades grandes se emplean para reemplazar cachuchas de burbujeo y elevadores en columnas existentes donde se requiera capacidad adicional y/o más alta eficiencia.

Una descripción de cada uno de los diferentes tipos de unidades de esta serie, se presenta a continuación:

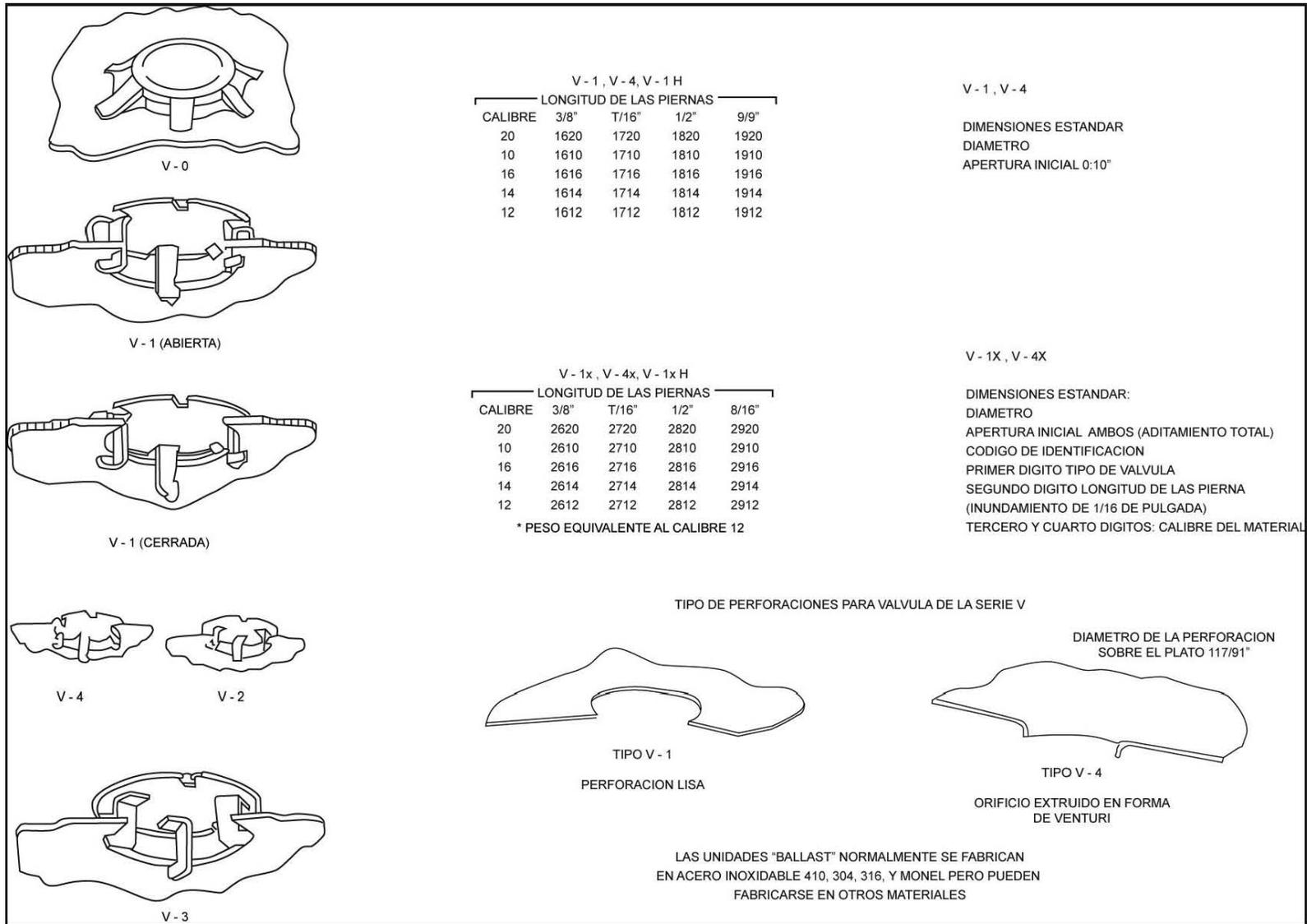
V-0. Una Unidad no movable, similar en apariencia a la V-1 en su posición totalmente abierta. Se utiliza en servicios donde solo moderada flexibilidad se requiera y se debe tener un bajo costo.

V-1. Esta es la típica unidad Ballast pues se utiliza en casi todo tipo de servicios, su tamaño estándar es 1 7/8 de pulgada. Las piernas ó paletas están formadas integralmente con la válvula mediante cortes y dobleces para platos de espesores hasta de 3/8 de pulgada.

V-2. La unidad V-2 es similar a la V-1 excepto que las piernas están soldadas en la parte inferior del disco de la válvula para obtener una unidad más resistente al goteo. Las piernas soldadas permiten la fabricación de unidades Ballast para platos de cualquier calibre ó tamaño. Frecuentemente se utilizan unidades de este tipo, de un diámetro grande, para reemplazar cachuchas de burbujeo.

V-3. Esta es una unidad similar a la V-2 excepto que las piernas están colocadas en forma radial al disco de la válvula.

FIG. 3.12 UNIDADES "BALLAST" SERIE V



V - 0

V - 1 (ABIERTA)

V - 1 (CERRADA)

V - 4

V - 2

V - 3

V-4. Este tipo de unidades utiliza perforaciones en forma de venturi en el piso del plato para reducir la caída de presión que sufre el vapor en su paso a través del orificio. Normalmente se emplean unidades estándar (V-1), aunque también pueden utilizarse las unidades V-2 ó V-3. El espesor del plato máximo permisible con este tipo de orificios es el correspondiente al calibre 10. Fig. 3.12.

### **3.9.2 PLATOS DE VALVULAS FLOTANTES. (SULZER CHEMTECH)**

Sulzer Chemtech fabrica dos tipos de platos valvulados, los de válvula flotante tipo “B” y los de válvula fija “V-GRID”.

Los platos de válvula flotante tipo “B” son platos de alta capacidad y alta eficiencia que mantienen una operación eficiente con flujos dentro del rango de un 10 al 100% de su capacidad. Cuando el flujo del vapor es bajo, las válvulas descansan sobre la superficie del plato proporcionando un contacto uniforme entre el líquido y el vapor sin que se presente un goteo significativo y por lo tanto alcanzando elevadas eficiencias a flujos reducidos. Cuando es alto el flujo del vapor, la válvula opera en su posición totalmente abierta. La válvula de Sulzer tipo “B” tiene forma rectangular <sup>(18)</sup>.

Las válvulas se orientan en forma paralela al flujo del líquido permitiendo al vapor pasar a través de la válvula sin que éste se oponga al paso del líquido a través del plato.

El vapor sale de las válvulas lateralmente, con lo cual se tiene un contacto uniforme con el flujo del líquido.

Las válvulas presentan pequeños dobleces en ambos lados, cerca del extremo superior refiriéndonos a la dirección del flujo del líquido (como se aprecia en la figura 3.13) éstos mediante el accionar de la válvula reducen el incrustamiento en los alrededores del orificio cuando se tienen servicios sucios.

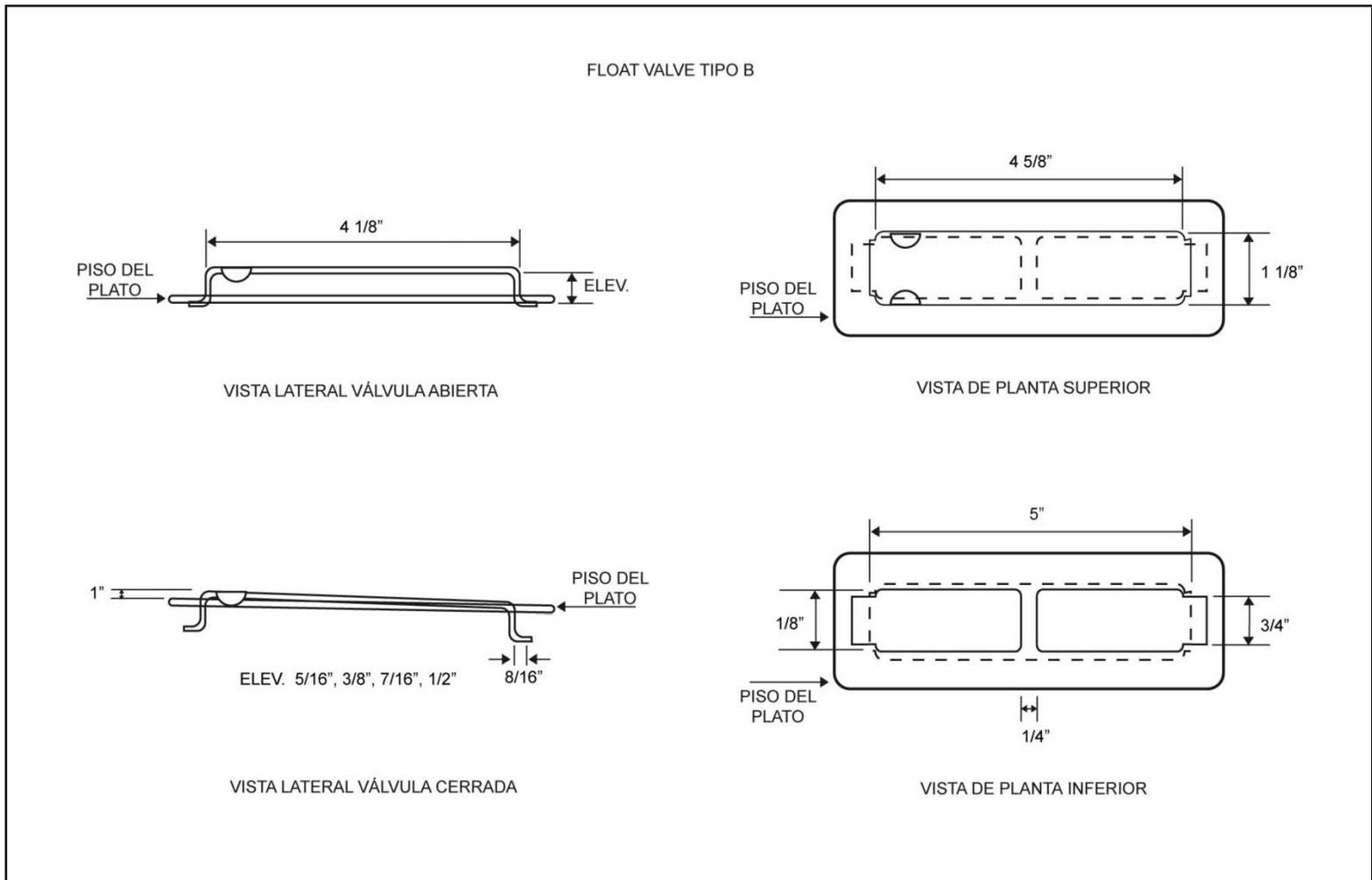
El extremo de la válvula que queda contra la corriente del flujo líquido descansa totalmente sobre la superficie del plato, eliminando la abertura que provocaría el goteo del plato.

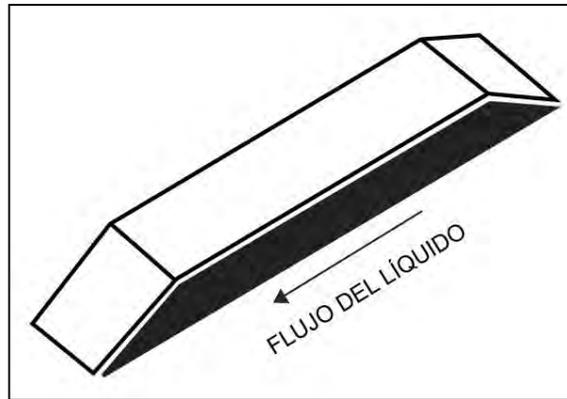
No se requieren zonas de calma ni a la entrada ni a la salida del plato, teniendo entonces los platos una mayor área activa.

El variar la longitud de las piernas, el arreglo de las válvulas y el peso de las mismas, permite alcanzar una flexibilidad de operación muy amplia. (10 a 1).

Las válvulas rectangulares eliminan el desgaste debido a la rotación de las válvulas como ocurre en otros tipos.

FIG. 3.13 FLOAT VALVE TIPO B





**FIG. 3.13 V-GRID, VALVULA FIJA DE SULZER**

Este tipo de platos se construye en una gran variedad de materiales, entre ellos tenemos al acero al carbón y el inoxidable, monel, níquel, hastelloy, aluminio, cobre, etc., se fabrican en un tamaño mínimo de 12 pulgadas y con un espaciamiento también mínimo de 6 pulgadas (platos cartucho).

Las válvulas flotantes se fabrican comúnmente en calibre 14 y 20 pero se emplean también otros espesores.

Otro modelo de platos de válvulas fabricado por la Sulzer Chemtech, es la válvula fija V-grid.

Este tipo de platos presenta alta capacidad y elevada eficiencia que mantienen su operación eficiente con flujos del 40 al 100% de su capacidad. La "V-grid" es una válvula fija formada al cortar la superficie misma del plato, este tipo de válvulas puede emplearse en cualquier operación en la cual se requieran platos perforados, platos tipo válvula ó una combinación perforados/valvulados.

La operación de los platos V-GRID es comparable a la de un plato de válvulas, cuando manejan flujos del 40 al 100% del inundamiento.

Las válvulas están colocadas paralelamente al flujo del líquido para que el vapor salga lateralmente a través de las válvulas y así obtener un buen contacto con el flujo del líquido.

El extremo de la válvula que está contra la corriente del líquido está cerrada a la entrada del flujo del líquido; las zonas de calma a la entrada y a la salida del plato se eliminan, con lo cual se incrementa el área activa del plato.

Variando el arreglo y la altura de la abertura de las válvulas V-GRID se puede obtener amplia flexibilidad (3 a 1).

Los platos V-GRID son más rígidos y presentan una menor deflexión en platos de calibre ligero, además al no tener partes móviles son más resistentes al desgaste que otros modelos.

Estos platos tienen un bajo costo inicial. Fig. 3.13.

### 3.9.3 PLATOS FLEXITRAY. (KOCH-GLITSCH) <sup>(17)</sup>.

El Flexitray es un plato tipo válvula constituido por un plato perforado que sobre los orificios tiene válvulas circulares de aproximadamente dos pulgadas de diámetro. Estas están limitadas en la elevación que pueden alcanzar mediante diferentes dispositivos de acuerdo al tipo de que se trate.

Las válvulas están espaciadas de 3 a 6 pulgadas entre sus centros en forma similar a las cachuchas de burbujeo. El Flexitray tiene una capacidad igual a la de un buen plato perforado combinada con un rango de operación mucho más amplio que el de los platos de cachuchas de burbujeo.

Hay básicamente dos variedades de Flexitray, el tipo "T" y el tipo "A". El modelo "T" tiene una válvula móvil contenida dentro de una "araña" de cuatro patas que la mantiene en su posición sobre la perforación y que está fija en la superficie del plato. El tipo "A" es una versión simplificada y más económica del modelo "T", es una válvula redonda con piernas guías y topes para limitar su elevación sobre la perforación.

Usualmente se emplean válvulas de dos pesos diferentes en estos platos (fabricadas en metales de diferentes calibre, 50% calibre 14 y 50% calibre 16), alternándolas en filas paralelas al derramadero de salida, para permitir una buena distribución del vapor aún a bajos flujos y aunque el plato esté colocado ligeramente fuera de su nivel.

A relativamente altas cargas de vapor todas las válvulas están completamente abiertas y presionando contra sus topes los cuales limitan su elevación. Bajo estas condiciones la abertura para el flujo es constante y el plato de válvulas se comporta como uno perforado con orificios de gran diámetro. A bajas cargas de vapor todas las válvulas están cerradas pero no completamente pues descansan sobre muescas ó pliegues que proporcionan un pequeño claro para el paso del vapor, entonces el plato funcionará como un plato perforado con pequeñas perforaciones. A cargas intermedias, algunas válvulas están abiertas y otras cerradas. Las características dinámicas de las válvulas son tales que, la mayor parte del tiempo cada una de las válvulas está completamente abierta o completamente cerrada. Esto es, ninguna válvula permanece estable en una posición intermedia durante su recorrido.

La elevada capacidad de los Flexitray permite utilizar torres de diámetros pequeños. La eficiencia constante en amplios rangos de operación puede permitir el emplear menos platos y/o menores relaciones de reflujo.

La baja caída de presión característica de estos platos (especialmente la del modelo T-9) junto con su elevada eficiencia proporciona bajas caídas de presión por plato teórico en amplios rangos de operación.

El diseño simétrico de las patas y topes de las válvulas tipo "A" previene el giro de las válvulas sobre los orificios del plato. La redondez de la válvula promueve una distribución uniforme del vapor.

Los platos Flexitray no presentan superficies en las cuales pudieran acumularse materiales incrustantes. El modelo "T" es el más recomendable para servicios sucios.

El pitch normal de las válvulas en los Flexitray es triangular en aproximadamente 3 ¼". Para servicios a vacío el espaciado entre las filas puede reducirse hasta tener un pitch triangular de 3 pulgadas. Se obtiene así aproximadamente un 15% más de área perforada. El pitch máximo son 6 pulgadas.

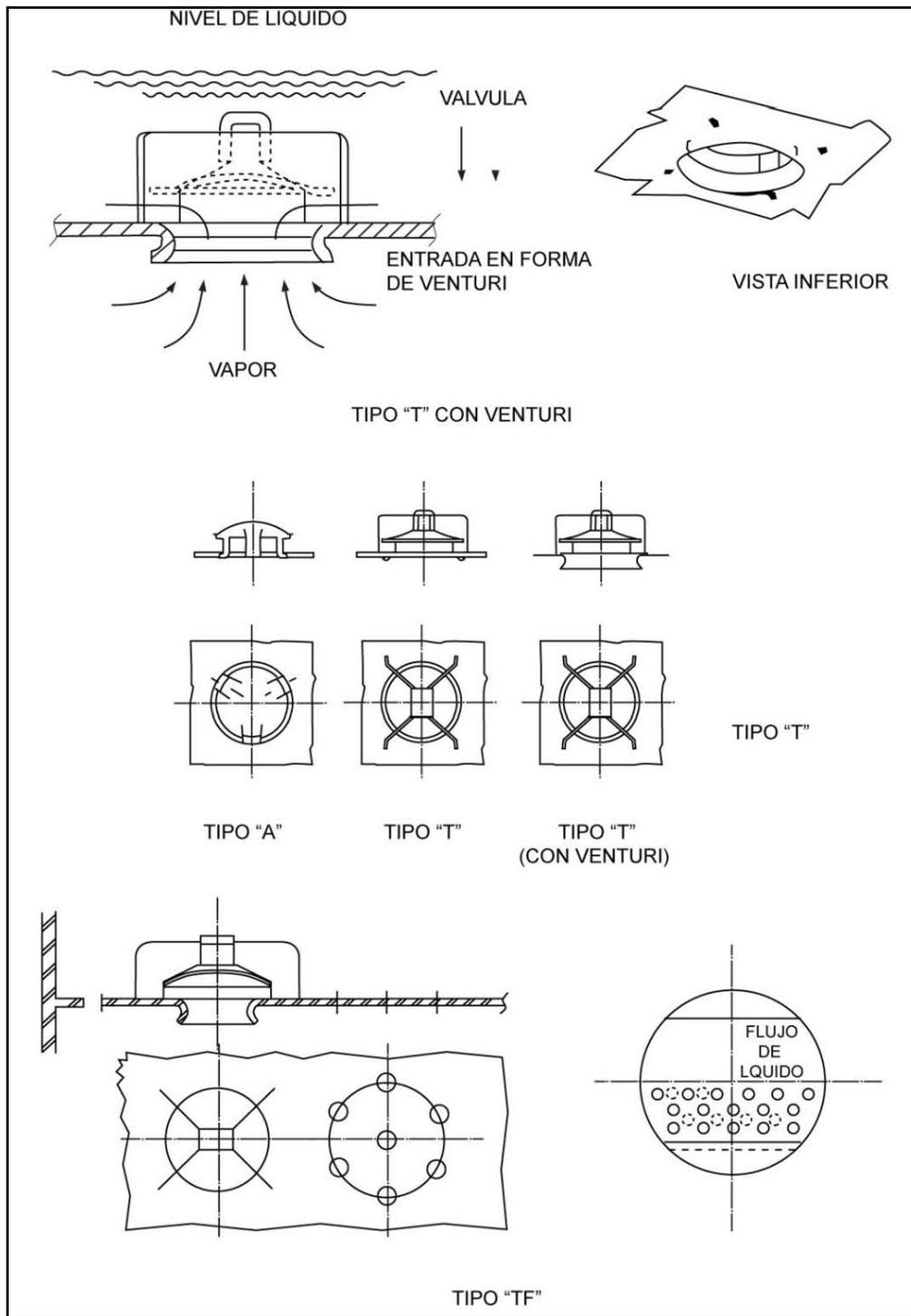


FIG. 3.14 FLEXITRAYS

Aún a bajas cargas, el vapor fluye a través de las válvulas ligeras previniendo así cualquier fuga del líquido y haciendo innecesario el uso de empaques.

El líquido que fluye a través de la superficie del plato es aireado por el vapor que sale de entre la válvula y la superficie del plato. El plato lleva una componente horizontal que promueve el mezclado del vapor y el líquido sobre la superficie del plato. Como se tiene un amplio contacto entre las fases en todo el flujo del líquido la eficiencia del Flexitray se mantiene en un amplio rango de operación; además, dado que la componente horizontal de la velocidad del vapor es mayor que la vertical (caso contrario a los platos perforados), el arrastre del líquido se reduce en gran medida.

Los Flexitrays pueden manejar cargas hasta un 10% mayores que los platos perforados y un 15 ó 20% más altas que los platos de cachuchas de burbujeo con eficiencias que igualan ó exceden a las mostradas por estos platos. Los Flexitrays mantienen su alto nivel de eficiencia en un amplio rango de flujos lo cual permite una flexibilidad operacional muy económica.

El costo inicial de los Flexitrays será del 50 al 65% del costo de un plato de cachuchas de burbujeo convencional; el más económico de sus modelos es el tipo "A F", que es una mezcla de plato perforado y de válvulas, con un amplio rango de operación y a un precio competitivo. El Flexitray tipo "A" es también bastante económico y se emplea en la mayoría de los servicios.

Hay muchas variedades de platos Flexitray disponibles para propósitos específicos, pero las que se utilizan con mayor frecuencia son:

Flexitray TIPO "A". Este es el modelo más comúnmente empleado, se utiliza en todo servicio excepto cuando pueda haber problemas de erosión y/o corrosión entre las piernas y el borde del orificio.

En estos platos las válvulas están retenidas sobre los orificios del plato mediante patas o guías que son parte integral del disco de la válvula; este modelo es similar al "V-1" de los platos "BALLAST" de KOCH-GLITSCH.

Para que cuando se manejen bajos flujos de vapor las válvulas no asienten totalmente sobre la superficie del plato estas unidades presentan sobre la parte superior del disco tres pequeños pliegues que impedirán el cierre total del orificio, entonces el plato trabajará como uno perforado con orificios de pequeño diámetro.

Flexitray tipo "T". Este tipo de unidades está compuesto por una "araña" de cuatro patas que mantiene a la válvula sobre la perforación, las patas están adheridas a la superficie del plato. El modelo "T" se recomienda para todo tipo de servicios pero especialmente para aquellos sucios ó incrustantes, pues dadas las características de su funcionamiento el vaivén del disco sobre el orificio remueve constantemente la suciedad que se adhiere a la perforación; además las válvulas en estos platos se colocan alineándolas para evitar en lo posible la interferencia al flujo del líquido y así el plato permanecerá limpio durante más tiempo en los servicios sucios, disminuyendo el mantenimiento necesario para estos equipos.

Flexitray tipo T-9. Una forma eficiente de reducir la caída de presión que sufre el vapor en su paso a través de la válvula es proveer al plato de perforaciones que tengan cuellos alargados hacia abajo a la manera de una boquilla venturi, esto elimina las pérdidas de presión ocasionadas por el borde afilado de una perforación común. Las válvulas tipo "T" son las que emplean orificios en forma de venturi; en otros modelos, tal como el "A", no se aplican porque las patas deberían ser tan largas que incrementarían el costo de fabricación de las válvulas, además que las patas podrían atascarse si la suciedad se acumulara en las paredes del orificio.

Estos platos se emplean en rectificación a vacío pues pruebas de laboratorio han mostrado que su caída de presión por plato seco es 25 a 50% menor que la de un plato de válvulas convencional manteniendo un alto nivel de eficiencia.

PLATOS FLEXITRAY TIPO AF Y TF. En ocasiones se combinan perforaciones de pequeños diámetros con las válvulas, en filas alternadas a través del plato para obtener un diseño más económico. Si las perforaciones se combinan con válvulas tipo "A" tendremos el modelo "AF" y si lo hacen con válvulas tipo "T" resulta el "TF". Diseñando apropiadamente el área perforada y la de las válvulas los platos AF y TF proporcionarán casi la misma capacidad, flexibilidad y eficiencia que los otros platos valvulados y con menor caída de presión. Al plato TF, además puede añadirse la posibilidad de emplear orificios para las válvulas con forma de boquillas venturi con lo cual se reducirá aún más la caída de presión del plato.

La principal ventaja de estos platos es lo económico de su construcción, y la baja caída de presión que se obtiene. Sin embargo no se recomienda su uso si se van a manejar flujos de vapor muy pequeños pues su flexibilidad es un poco menor que la de los platos totalmente valvulados. Fig. 3.14.

### **3.10 SELECCIÓN DEL TIPO DE PLATO**

Una vez que se ha hecho una decisión tentativa de si se va a emplear empaque o platos para un servicio determinado será necesario hacer una evaluación técnica de los diferentes tipos de platos y empaques, utilizando la información disponible para seleccionar el mejor.

Para el propósito de este trabajo se supondrá que se ha escogido una torre de platos para el proceso, seleccionada de acuerdo a las recomendaciones ya citadas con anterioridad.

Las características principales de funcionamiento de diferentes platos se han señalado en las páginas anteriores, ahora para hacer la selección entre ellos se presentan comparativamente.

Los tres tipos de platos más empleados son el plato de cachuchas de burbujeo, el plato perforado y el plato de válvulas; en forma general, resumiendo sus principales características:

Los platos de válvulas ofrecen un amplio rango de operación y una gran capacidad a un costo comparable al de los platos perforados. Si la capacidad adicional de los platos de válvulas sobre los perforados se toma en consideración, los de válvulas son más económicos. En la mayoría de las

aplicaciones la carga de vapor es el factor que controla la capacidad y los platos de válvulas tienen una capacidad 10% mayor que los platos perforados.

Para sistemas en los que se manejan muy pequeños flujos de líquido existen variedades de platos valvulados que minimizan el goteo, evitando así la necesidad de emplear platos de cachuchas, que son más costosos y que para este servicio se recomendaban con frecuencia.

Los platos perforados se emplean normalmente si no se requiere un amplio rango de flexibilidad y si se desea obtener un bajo costo en la fabricación del plato. Los platos perforados no deben emplearse para aplicaciones que manejen bajos flujos de vapor.

Platos de cachuchas de burbujeo. Estos platos se ven favorecidos para su empleo en servicios en los cuales las fugas de líquido deben reducirse a un mínimo. Su capacidad es menor que la de los platos perforados o de válvulas y son más costosos. El uso de los platos de cachuchas está restringido a aplicaciones especiales.

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

	Cachuchas	Perforados	Válvulas	Turbogrid
Capacidad de Vapor	3	4	4	4
Capacidad de 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

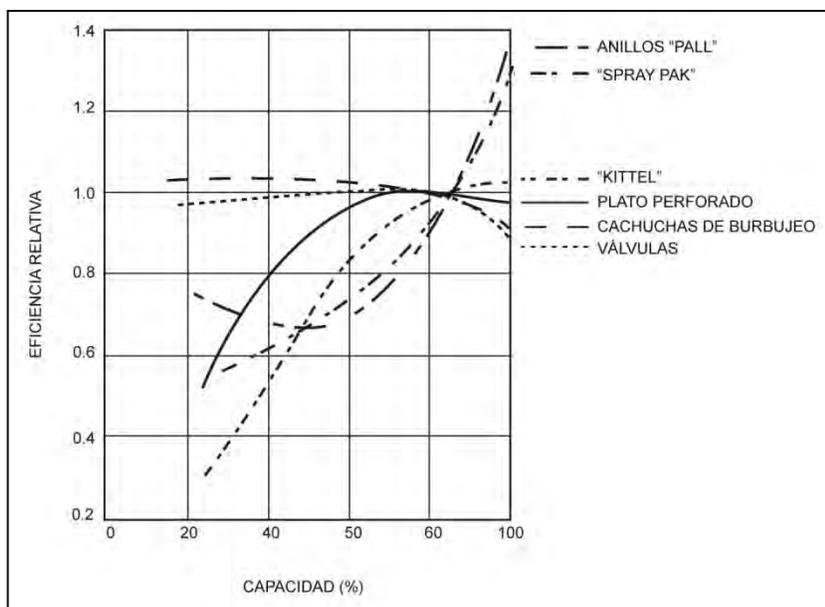
5 = Excelente

4 = Muy Bueno

3 = Bueno

2 = Regular

1 = Pobre



**FIG. 3.15 EFICIENCIA DE VARIOS DISPOSITIVOS DE CONTACTO COMO FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD, RELATIVA AL 85% DE SU CAPACIDAD**

Ahora presentamos una comparación entre la flexibilidad y la caída de presión de los diferentes platos.

Tipo de Plato	Eficiencia (% del rango de capacidad en el cual la eficiencia permanece constante dentro de $\pm 15\%$ .)	Caída de presión por plato teórico al 85% de su capacidad (pulgadas de agua)
Cachuchas	>80	4.14
Válvulas	>80	2.48
Perforado	55	2.05
Kittel	39	2.83

Una comparación de las eficiencias de diferentes platos se muestra a continuación.

	Eficiencia al 85% de su capacidad máx.
Plato de Válvulas	80
Plato Perforado	78
Plato de Cachuchas	78
Plato Kittel	68

Excepto el plato Kittel la eficiencia es muy similar al 85% de su capacidad máxima. Sin embargo, la variación de la eficiencia con la capacidad como se muestra en la figura 3.15 indica una amplia variación con los diferentes tipos de platos.

# **CAPITULO 4.**

## **TERMINOS**

**Y**

## **CRITERIOS DE DISEÑO**

## **HIDRAULICO DE UNA**

## **COLUMNA DE**

## **DESTILACIÓN DE PLATOS**

## **CAPITULO 4. TERMINOS Y CRITERIOS DE DISEÑO HIDRAULICO DE UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN DE PLATOS.**

La mayoría de los conceptos que se emplean en el diseño de platos perforados también aplican al diseño de los platos de válvulas. Las únicas excepciones son:

- 1) El área de flujo para el vapor es variable dependiendo de la abertura de las válvulas, la cual a su vez es función del flujo de vapor y 2) la caída de presión del plato seco es menor para el plato perforado que para el de válvulas, al estar el vapor sujeto a mayores variaciones en su trayectoria.

Es por ello que en este capítulo los términos que se definen están basados en las características de los platos perforados, sobreentendiéndose que aplican por igual a los platos de válvulas, a menos que se especifique lo contrario.

Diseño Hidráulico. El diseño hidráulico de un dispositivo de contacto de flujo cruzado consiste en la evaluación de diferentes parámetros que indican el comportamiento que presentará un cierto dispositivo, relacionándolo con la capacidad y la eficiencia, para que se puedan fijar sus principales características físicas a fin de obtener un comportamiento determinado, que proporcione la máxima capacidad y eficiencia.

Los parámetros que han de considerarse son: 1) Caída de presión, 2) Arrastre, 3) retención de líquido en la bajante y 4) Rango de operación ó flexibilidad.

Áreas en un Plato. Es importante conocer el significado y localización de las zonas ó áreas que constituyen un plato. Figura 4.1.

Área de la torre,  $A_t$ . Es el área interna total de la sección transversal de la columna. Es igual a la suma de las áreas de burbujeo, superior de bajantes y de sello de bajantes.

Área activa o de burbujeo,  $A_a$ . Es el área encerrada por las paredes de la columna, el(los) derramaderos(s) de salida y el(los) borde(s) a la entrada del plato. Es igual al área de la torre menos la suma del área de bajantes y el área de sello de las mismas.

Área libre ó Neta,  $A_n$ . Es el área de la columna disponible para el flujo de vapor, ó el área de la torre menos el área de bajantes.

Área de Bajantes,  $A_D$ . Es la superficie del plato ocupada por los conductos a través de los cuales el líquido desciende hacia el plato inferior. Es el área a la entrada (parte superior) de las bajantes.

Área Inferior ó del fondo de la Bajante,  $A_{DB}$ . Es el área existente en el fondo de la bajante.

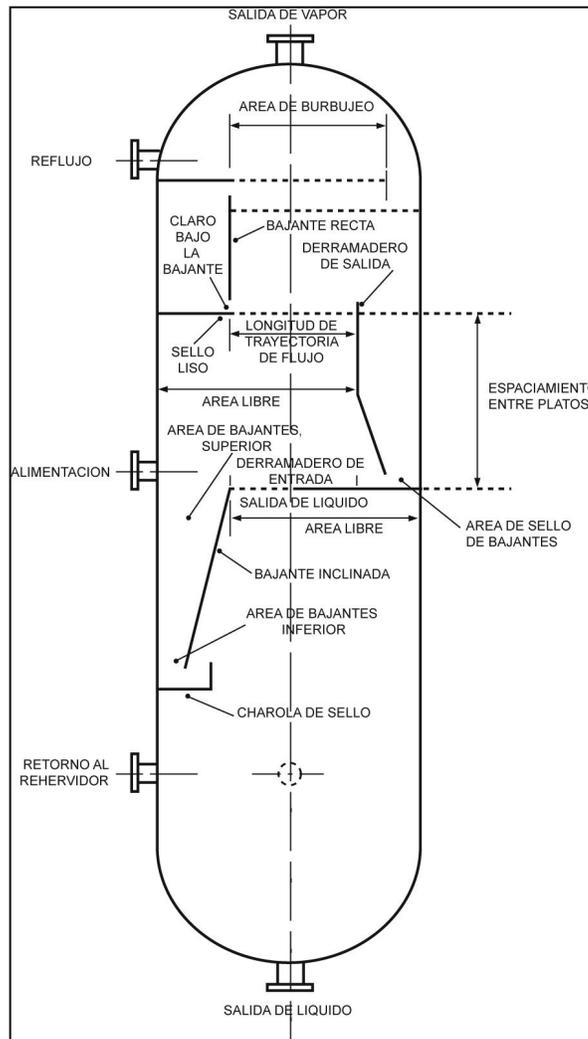
Área Bajo la bajante,  $A_{UD}$ . Es el área comprendida entre la superficie del plato ó el fondo de la charola de sello y el borde inferior del bafle ó faldón de la bajante.

Área de sello de la Bajante,  $A_{DS}$ . Es el área bajo el fondo de la bajante, se emplea para mantener un sello en ésta y para distribuir el líquido en el plato.

Área abierta ó Perforada,  $A_h$ . Es el área total abierta al flujo de vapor; es el área de todas las perforaciones sobre el plato. Para platos de válvulas aplica un concepto equivalente, el del área de ranura.

Área de Ranuras,  $A_s$ . Se define como el área total de la “cortina” vertical a través de la cual el vapor pasa, en dirección horizontal, por debajo de la válvula para entrar en contacto con el líquido fluyendo sobre el plato. En el caso de una válvula con el “cuerpo” circular, la “cortina” tendrá la superficie de un cilindro vertical con un diámetro igual al de la válvula y una altura como la distancia de la superficie del plato al borde inferior del disco de la válvula (cuerpo) en su posición de operación. A la superficie del cilindro deberá restarse el área ocupada por las patas y “dimples” de la válvula.

Para una válvula rectangular la descripción es similar.



**FIG. 4.1 TORRE DE PLATOS**

Tipos de flujo. Existen varias formas en las cuales el líquido puede fluir a través de un plato, las principales se señalan a continuación:

Flujo Cruzado (Cross Flow).- Se tiene cuando el líquido fluye a través del plato en forma tal que al finalizar su paso cae al plato inferior a través de un canal, la bajante. También se conocen como platos de un paso los que presentan este tipo de flujo. Su larga trayectoria de flujo contribuye a alcanzar una elevada eficiencia en el plato. Es el más empleado ya que su construcción es simple y económica.

Flujo Encontrado (Dual Flow).- En este caso, el líquido y el vapor se ponen en contacto sobre la superficie del plato, éste no tiene bajantes y es generalmente perforado o ranurado, un plato de este tipo es el Turbogrid.

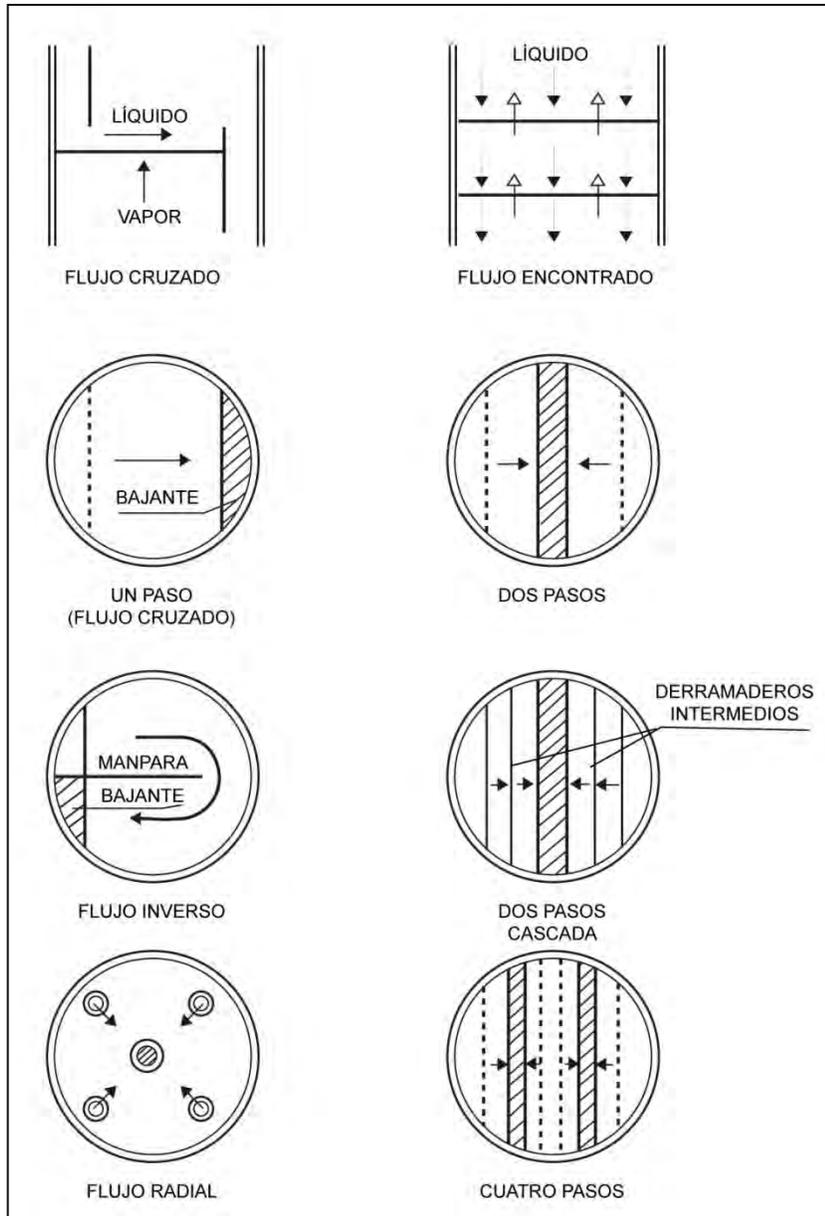
Flujo Radial (Radial Flow).- El líquido fluye radialmente de ó a una entrada (ó salida) localizada en el centro del plato, hacia ó de bajantes (ó entradas) en los platos adyacentes. De este tipo de flujo presenta el plato centrífugo.

Flujo inverso (Reverse Flow).- En los platos de este tipo, el líquido fluye desde la entrada en uno de los lados del plato alrededor de una mampara o baffle colocado en su centro e invierte su dirección en el otro extremo regresando hacia una bajante colocada en el mismo lado por el cual entró el fluido. Estos platos dan más área activa a expensas del área de bajantes, es útil solo para muy bajas relaciones líquido/vapor (L/V). Se recomienda que la altura del baffle central sea al menos el doble de la máxima altura de líquido libre de vapor calculada, para prevenir que se mezclen los líquidos de ambos lados del baffle.

Flujo Dividido (Split Flow).- En este caso el líquido que fluye a través del plato se divide en dos ó más trayectorias de flujo.

Flujo en Dos Pasos (Double Pass).- Este es un plato de flujo dividido con dos trayectorias de flujo en cada uno de los platos. Cada trayectoria ó paso maneja la mitad del líquido total. El plato de dos pasos presenta una mayor capacidad de líquido y menor gradiente hidráulico que los platos de un solo paso. Consecuentemente el plato de dos pasos es ventajoso para elevadas relaciones líquido/vapor (L/V) ó torres de gran diámetro. Sin embargo, debe señalarse que estos platos son de un 10 a 15% más costosos que los de un paso de iguales dimensiones; además como tienen menor longitud de trayectoria de flujo, la superficie y tiempo de contacto, y por lo tanto la eficiencia serán menores en los platos de dos pasos que en los de flujo cruzado.

Un plato de más pasos puede emplearse para manejar mayores valores de la relación (L/V).  
Figura 4.2.



**FIG. 4.2 TIPOS DE FLUJO**

#### 4.1 ESPACIAMIENTO ENTRE LOS PLATOS, TS.

El espaciamiento entre los platos normalmente está determinado por la necesidad de un fácil acceso para mantenimiento e inspección. Pero además, espaciamientos menores que el recomendable ocasionarán una disminución en la eficiencia, si la velocidad del vapor es mayor que la permisible, a

causa del arrastre generado; o bien, la inundación de la columna si la altura del líquido retenido en la bajante es mayor que el espaciamiento.

Los espaciamentos estándar son 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 2, 24, 30, 36 y 40 pulgadas; siendo los más comunes los que están entre 18 y 36 pulgadas <sup>(14)</sup>.

En la Industria Petrolera, los espaciamentos de 18 pulgadas se consideran los mínimos, con menores valores el arrastre y la tendencia al inundamiento se incrementan notoriamente. Por razones de accesibilidad los espaciamentos más comúnmente empleados son los que se encuentran alrededor de las 24 pulgadas.

Para columnas con pocos platos conviene emplear espaciamentos mayores a 24", para así disminuir el diámetro de la columna. Por otra parte en fraccionadoras con un número muy grande de platos quizá sea necesario usar espaciamentos menores a 18" para evitar el tener que dividir la fraccionadora en dos torres.

Espaciamentos usuales en columnas de destilación son los siguientes:

Diámetro de la columna, pies	Espaciamento, pulg.	
	Servicio a Presión	Servicio a Vacío
2 - 4	12 - 18	18 - 24
4 - 10	18 - 24	24 - 30
10 - 12	24 - 30	30 - 36
12 - 24	30 - 36	36

Para sistemas espumantes no se recomiendan espaciamentos menores a 18 pulgadas.

Se requerirá un espaciamento adicional en cualquiera de las siguientes situaciones:

- Para los platos de transición, como cuando se tiene un cambio en el número de pasos ó en el diámetro de la columna.
- Si la alimentación va a introducirse en esta zona y se encuentra vaporizada ya sea total o parcialmente.
- Para permitir la colocación de tubería de distribución para alimentaciones líquidas.

El espaciamento es una de las dimensiones que se proponen al iniciar el diseño, posteriormente deberá checarsé con el nivel del líquido retenido en la bajante y por arrastre.

## 4.2 CAPACIDAD

Se entiende por capacidad los flujos de líquido y vapor que es capaz de manejar eficientemente una columna. La capacidad del líquido está determinada por el volumen de las bajantes, por eso es que

la retención del líquido en las bajantes no debe exceder del 40 – 60% de la capacidad de éstas, de otra forma la columna se inundará antes de alcanzar el punto de inundamiento por arrastre.

La capacidad del vapor es función del espaciamiento entre los platos, y de las propiedades tanto del líquido como del vapor. La capacidad del vapor en el punto de inundamiento por arrastre puede determinarse a partir de la correlación de Souders-Brown mediante los parámetros de capacidad y flujos del sistema, para un espaciamiento determinado.

Se acostumbra diseñar las columnas de tal forma que la carga máxima del vapor no exceda del 80-85% de la correspondiente al punto de inundamiento por arrastre. Esto es, en otras palabras, la capacidad del vapor de diseño debe ser menor al 80-85% de la capacidad en el inundamiento.

Generalmente el término capacidad se asocia con la del vapor, y la del líquido con la retención de éste en las bajantes.

#### 4.3 PARAMETRO DE FLUJOS <sup>(6) (7) (12)</sup>.

Está definido por la expresión  $\frac{L}{V}(D_V/D_L)^{1/2}$

donde:

L = flujo de líquido, lb/hr.

V = flujo de Vapor, lb/hr.

$D_L$  = Densidad del líquido, lb/pie<sup>3</sup>

$D_v$  = Densidad del vapor, lb/pie<sup>3</sup>

De acuerdo al tipo de servicio, son típicos los siguientes valores:

Destilación a Vacío	0.001 – 0.03
Destilación Atmosférica	0.03 – 0.20
Destilación a Presión y Absorción	0.20 - mayores

#### 4.4 PARAMETRO DE CAPACIDAD. $K_{SB}$ .

Se define mediante la expresión:

$$K_{SB} = U_{V1}(D_V/(D_L - D_V))^{1/2}$$

donde:

$U_{V1}$  = Velocidad del vapor basada en el área  $i$ , pps.

cuando

$i = A$ , Área activa

$i = N$ , Área Neta

sin subíndice  $i$ , Área de la columna

#### 4.5 VELOCIDAD SUPERFICIAL DEL VAPOR MAXIMA PERMISIBLE, $U_{VF}$ .

También se le denomina velocidad del vapor en el punto de inundamiento. Esta es una velocidad límite sobre la cual la cantidad de líquido arrastrando hacia el plato superior es tal que la columna se inunda y resulta inoperable. Está basada en el área transversal de la columna.

#### 4.6 ECUACION DE SOUDERS-BROWN <sup>(3) (5) (8) (12)</sup> .

Esta ecuación nos permite estimar la velocidad del vapor en el punto de inundamiento. Está basada en la ley de Stokes y considera equivalentes la fuerza ascendente del vapor sobre las gotas de líquido arrastrado y el peso promedio de una gota.

La ecuación es la siguiente:

$$U_{VF} = K_{SB} \left( (D_L - D_V) / D_V \right)^{1/2}$$

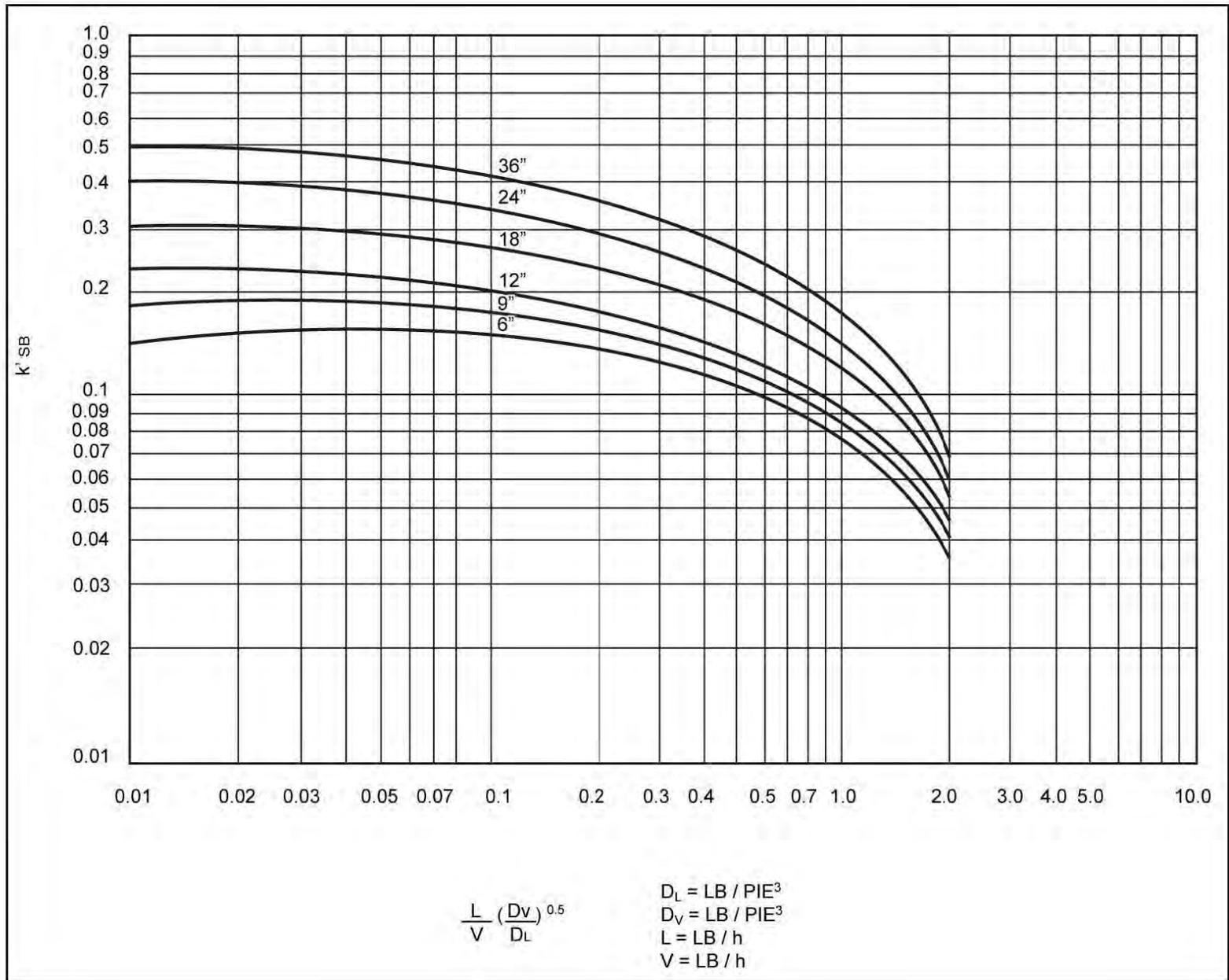
Donde:

$U_{VF}$  = Velocidad del vapor en el punto de inundamiento basada en el área transversal de la columna.

$K_{SB}$  = Parámetro de Capacidad, pps.

La constante  $K_{SB}$  es función del espaciamiento entre los platos, las propiedades y los flujos del sistema.

FIG. 4.3 GRAFICA PARA ESTIMAR K'SB



Basándose en datos obtenidos de columnas en operación, Fair modifico la correlación de Souders-Brown al considerar la velocidad del vapor a través del área neta ó libre en lugar del área de la columna. Esta expresión da resultados menos conservadores que la original y es así como generalmente se acepta en la actualidad.

La ecuación es:

$$U_{NF} = K_{SB}((D_L - D_V)/D_V)^{1/2}$$

$U_{NF}$  = Velocidad del vapor en el punto de inundamiento basada en el área neta.

$K_{SB}$  = Parámetro de capacidad para la ecuación modificada, pps.

La constante  $K_{SB}$  es función del espaciamiento entre los platos, las propiedades y los flujos del sistema.

Basándose en datos obtenidos de columnas en operación, Fair modificó la correlación de Souders-Brown al considerar la velocidad del vapor a través del área neta ó libre en lugar del área de la columna. Esta expresión da resultados menos conservadores que la original y es así como generalmente se acepta en la actualidad.

La ecuación es:

$$U_{NF} = K'_{SB}((D_L - D_V)/D_V)^{1/2}$$

$U_{NF}$  = Velocidad del vapor en el punto de inundamiento basada en el área neta.

$K'_{SB}$  = Parámetro de capacidad para la ecuación modificada, pps.

La correlación obtenida por Fair, se muestra en la Fig. 4.3 y puede emplearse para platos de cachuchas, perforados ó de válvulas.

Los valores obtenidos son confiables considerando un error de  $\pm 10\%$  y están sujetos a las siguientes restricciones:

El sistema es poco ó no espumante.

La altura del derramadero de salida es menor al 15% del espaciamiento entre los platos.

Para platos perforados, las perforaciones serán de  $\frac{1}{4}$  de pulgada ó menores.

La relación entre el área de ranuras ( $A_S$ ) ó el área perforada ( $A_h$ ) y el área activa ( $A_a$ ) es 0.1 ó mayor. De otra forma, el valor de  $U_{NF}$  obtenido de la Figura 5.3 deberá corregirse de acuerdo a la siguiente tabla.

(Ah ó As)/Aa	$F_{SA}$
0.1	1.00
0.08	0.90
0.06	0.80

ó con la siguiente expresión que es equivalente.

$$F_{SA} = 5(A_S/A_a) + 0.5$$

con  $0.8 \leq F_{SA} \leq 1.0$

$F_{SA}$  = Factor de correlación por el área de ranura.

#### 4.7 FACTOR DEL SISTEMA <sup>(3) (4) (8) (12)</sup>.

Fair propone además que se introduzca un factor que corrija la velocidad en el punto de inundamiento, resultante de la ecuación al considerar el efecto que sobre está tuviera la tensión superficial del sistema. De la siguiente forma:

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

FS = Factor de corrección por el efecto de la tensión superficial.

$\sigma$  = Tensión superficial del líquido fluyendo sobre el plato, dinas/cm.

$\sigma \leq 20$  dinas/cm.

Sin embargo, esta consideración no parece muy confiable como para emplearla en sistemas diferentes a aquellos constituidos por hidrocarburos saturados que son con los cuales Fair realizó sus estudios, y su efecto es mínimo si se le compara con el que tendrán las características espumantes del sistema las cuales no dependen únicamente de la tensión superficial.

En cambio se recomienda el empleo de factores que representen la disminución que sufre la capacidad de la columna a causa de las características espumantes del sistema y que además consideran el efecto de la tensión superficial, llamados factor de espuma, del sistema ó de disminución en la capacidad (Derating Factor) los cuales se basan más en la experiencia práctica que en criterios teóricos.

Para platos de válvulas deben emplearse los valores recomendados por cada fabricante en su caso, pues para un mismo servicio el factor del sistema puede diferir de un fabricante a otro porque su valor es arbitrario. A continuación se presentan algunos valores del factor del sistema para diferentes servicios.

Factor de Espuma FS	Sistema	Ejemplo
1.0	No espumante	HC Saturados
0.85	Moderadamente espumante	Regeneradores de Aminas y Glicoles
0.75	Espumante	Contactores de Aminas y Glicoles
0.60	Severamente espumante	Unidades que manejan Metil-Etil-Cetona
0.30	Con espuma estable	Regeneradores Caústicos

Aplicando los conceptos señalados anteriormente, la ecuación de Souders-Brown modificada estaría expresada por:

$$U_{NF} = K'_{SB} F_{SA} F_S \left( (D_L - D_V) / D_V \right)^{1/2}$$

#### 4.8 ESPUMADO <sup>(1)(3)(8)</sup>.

Las propiedades espumantes del sistema son importantes en la química del plato. La espumabilidad se refiere al grado de expansión del líquido cuando está aereado; la espuma así producida es una función principalmente de las propiedades físicas del sistema, aunque el método y el grado de aereación también influyen. La estabilidad de la espuma se refiere al grado en que el espumado disminuye una vez que la aereación ha cesado. La espumabilidad y la estabilidad de la espuma no están necesariamente relacionadas; por ejemplo un sistema que produce una gran cantidad de espuma pero está se descompone rápidamente, tendrá alta espumabilidad y mínima estabilidad la espuma.

Un cierto grado de espumación, es conveniente para tener una gran área interfacial la cual favorecerá el contacto entre las fases. Sin embargo, mucho espumado puede ocasionar arrastre excesivo e inundamiento.

La estabilidad de la espuma debe considerarse en el diseño de la bajante y preferentemente deberá ser baja.

Espumas estables que pasen a la bajante requerirán altos tiempos de residencia (grandes volúmenes de bajantes) para que el líquido y el vapor se separen.

La predicción de la espumabilidad y la estabilidad de la espuma es más difícil de lo que parece ya que simples pruebas de laboratorio no siempre concuerdan con las observaciones a nivel planta industrial.

Por ello es conveniente considerar sistemas espumantes y no espumantes en relación a la dinámica del plato. Dentro de la categoría de los espumantes tenemos a los sistemas con surfactantes, tales como las soluciones acuosas diluidas de alcoholes y cetonas. Sistemas no-espumantes son, por

ejemplo, los formados por hidrocarburos. El sistema aire-agua tan comúnmente empleado en los experimentos de dinámica de platos es aún menos espumante que los sistemas de hidrocarburos.

Ejemplos de sistemas espumantes y no espumantes, son los siguientes:

Sistemas Espumantes	Sistemas No Espumantes
800 ppm de Isopropanol en agua	Benceno-Tolueno
200 ppm de metil-isobutilcetona en agua	Isobutano-n Butano

Comúnmente se hace una subclasificación para diferentes sistemas de acuerdo a su grado de espumabilidad.

No espumantes: fraccionadoras de crudo, hidrocarburos en general, alcoholes de bajo peso molecular.

Poco espumantes: Despropanizadoras, torres a vacío, regeneradoras de aminas, sistemas con flúor, regeneradores de glicoles.

Moderadamente espumantes: absorbadora de glicoles y aminas.

Altamente espumantes: regeneradores caústicos, unidades de Metil-etil cetona.

#### 4.9 INUNDACION POR LIMITACIONES DEL SISTEMA

Existe una velocidad máxima ( $U_{SL}$ ) a la cual una gota de líquido de un diámetro determinado permanecerá suspendida sin fraccionarse en otras más pequeñas, cuando el sistema tiene una elevada tensión superficial, tenderá a formar gotas grandes las cuales difícilmente serán arrastradas por el flujo; sin embargo, cuando la velocidad del vapor alcanza un valor determinado, la gota se romperá dando origen entonces a pequeñas gotitas las cuales son fácilmente arrastradas por el vapor. O sea que cada sistema tendrá una capacidad límite la cual no puede ser excedida mediante el cambio de diseño del plato o del espaciamiento entre los platos, pues el fenómeno está asociado con la interacción entre el vapor y el rocío de líquido en el espacio existente entre los platos y no está relacionado con las características del plato.

Manning encontró la correlación existente entre esta velocidad y las propiedades del sistema.

$$U_{SL} = \left( 4 g \sigma (N_{We})_{crit} (D_L - D_V) / (3 D_V^2 C_D) \right)^{1/4}$$

$U_{SL}$  = Velocidad en el punto de inundamiento por limitaciones del sistema.

$$(N_{We})_{crit} \approx 20$$

$C_D$  = coeficiente "drag"  $\approx 0.7$

$\sigma$  = tensión superficial, dinas/cm.

$g$  = 32.2 pies/seg<sup>2</sup>.

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

FACTOR "F",  $F_{Vi}$ .

Está definido por la siguiente expresión.

$$F_{Vi} = U_{Vi} D_V^{1/2}$$

$F_{Vi}$  = factor "F" del vapor basado en el área i.

$U_{Vi}$  = Velocidad del vapor basada en el área i, pps.

cuando:

i = A, en el área activa

i = N, en el área neta

sin subíndice i, en el área de la columna.

FACTOR CARGA DE VAPOR,  $V_{LOAD}$ .

Lo define la relación:

$$V_{LOAD} = CFS_{VAP} (D_V / (D_L - D_V))^{1/2}$$

donde:

$CFS_{VAP}$  = flujo de vapor a P y T.

$D_V$  = Densidad del vapor, lb/pie<sup>3</sup>.

$D_L$  = Densidad del líquido, lb/pie<sup>3</sup>.

#### 4.10 ARRASTRE.

Existen dos tipos de arrastre:

##### 1) Arrastre de líquido por el vapor.

El arrastre de este tipo puede considerarse como el resultado de dos distintos efectos del vapor en su trayectoria ascendente, el acarreo de gotas de líquido por el vapor y el salto de partículas de líquido por la acción dinámica de los chorros de vapor. El primer efecto es función de la velocidad del vapor, de las densidades de los fluidos, del diámetro de la partícula que depende de la tensión superficial del líquido y de la aglomeración de pequeñas partículas para formar otras de mayor tamaño. El arrastre producido por el salto de partículas de líquido es función de la energía cinética de los chorros de vapor, que depende de la densidad y velocidad del vapor, y está relacionado con el espaciamiento entre los platos.

Cuando se presenta este tipo de arrastre, el líquido arrastrado hacia el plato superior reduce la concentración del líquido del plato (con respecto a los materiales más volátiles). El vapor, por su parte, tendrá una menor concentración, la cantidad neta de transferencia de masa es menor y, por lo tanto, la eficiencia disminuye.

El arrastre se incrementa, al: a) Disminuir el espaciamiento entre los platos, b) Incrementarse la velocidad superficial del vapor, c) Incrementar la altura del derramadero, d) Incrementarse el flujo de líquido, e) Incrementarse la densidad del vapor, f) Disminuir la tensión superficial del líquido, g) Disminuir la trayectoria de flujo del líquido, h) incrementar el diámetro de las perforaciones.

##### 2) Arrastre de Vapor por el líquido:

Este tipo de arrastre no es tan común como el citado anteriormente, consiste en la oclusión de vapor en el líquido y se presenta cuando la espuma es arrastrada por el líquido porque el vapor del líquido aerado no se separa de éste en la bajante y es arrastrado al plato inferior, ó cuando el vapor arrastra la espuma hasta el plato superior.

El vapor conteniendo una mayor proporción de componentes volátiles que el líquido del plato, diluye al líquido con respecto a los componentes más pesados y reduce la eficiencia de la separación.

El arrastre se incrementa cuando aumentan las cargas de vapor ó del líquido, cuando se incrementa la viscosidad del líquido, cuando se aumenta la altura del derramadero, cuando se manejan sistemas espumantes y al incrementarse la densidad del vapor.

Es posible reducir la cantidad de vapor arrastrado por el líquido al colocar la última fila de válvulas a una distancia tal del derramadero de salida que haya una menor tendencia a que el vapor sea atrapado por el líquido. Además debe darse suficiente volumen a las bajantes para que el vapor tenga tiempo de separarse del líquido aerado.

#### 4.11 INUNDAMIENTO.

Una columna de destilación se empezará a llenar de líquido en cualquier punto donde los flujos del líquido y/o de vapor resulten mayores que la capacidad del equipo. No puede decirse que una columna esté inundada por exceso de líquido ó por demasiado vapor pues el inundamiento es una combinación de los dos flujos en alguna relación crítica.

El inundamiento puede ser causado por una de las siguientes razones:

Si se tiene una elevada caída de presión total del vapor a través del plato, la retención de líquido en la bajante puede resultar excesiva y provocar el inundamiento.

El arrastre excesivo puede causar inundamiento. El líquido arrastrado de cualquier plato a uno superior regresará a través la bajante, recirculándose, con lo cual se incrementa la carga de líquido que maneja el plato y las bajantes, diseñadas para menores flujos, serán incapaces de manejar la nueva carga; por lo que la columna se inundará. El arrastre generalmente es por acarreo de gotas de líquido en el vapor, pero puede deberse a que el nivel de la espuma formada alcance al plato superior, condición conocida como "Priming".

Un diseño inadecuado del sistema de distribución de la alimentación ó del reflujo, obstrucciones al paso del líquido a través de las bajantes ó al vapor a través de las válvulas, un mal diseño del sistema plato de fondos rehervidor, ó un sistema de control ineficiente también pueden causar el inundamiento.

Una columna se inunda principalmente cuando se exceden los valores máximos permitidos de la retención del líquido en la bajante y del arrastre. Es por ello que se evalúan para checar el diseño hidráulico de la torre.

El inundamiento de una columna se caracteriza porque se presentará un súbito incremento en la caída de presión y una marcada disminución en la eficiencia.

#### FACTOR DE INUNDAMIENTO, %F

Es el máximo porcentaje del inundamiento por arrastre permitido por el diseño.

Relaciona las cargas de diseño ó de operación a las cargas en el punto de inundamiento. Para sistemas no espumantes, Glitsch recomienda emplear un 82% mientras que Koch sugiere el 85% para el diseño de los platos.

Para sistemas espumantes conviene emplear el 80% y con sistemas de vacío 77%.

Las columnas con diámetros menores a 3 pies deben tener un factor de inundamiento 10% menor que los anteriormente citados en cada uno de los casos.

Factores de inundamiento mayores que los señalados pueden propiciar un excesivo arrastre y/o que la columna dimensionada resulte pequeña y no pueda operar eficientemente. Por lo contrario, con factores de inundamiento demasiados bajos se tendrá una columna sobrada y resultará antieconómica su construcción.

Con los valores señalados se tendrá un arrastre menor al 10% que es el arrastre máximo que se recomienda tener en una columna para que opere eficientemente.

#### PORCENTAJE DE INUNDAMIENTO POR ARRASTRE.

Es la carga de diseño expresada como un porcentaje de la carga de vapor en el punto de inundamiento.

#### **4.12 PLATOS CRITICOS.**

Una vez que se han establecido las condiciones de operación de la columna y se cuenta con los flujos y propiedades del líquido y vapor que maneja cada uno de los platos, puede iniciarse el diseño de los internos de la columna. Para ello deberán considerarse los platos que manejen las cargas mínima y máxima dentro de cada una de las zonas de la columna, los platos que manejan estas cargas se conocen como platos críticos.

Se entiende por zona en una columna al grupo de platos ó de etapas de equilibrio en la cual los flujos de líquido, de vapor así como las propiedades físicas son prácticamente constantes. Se fijan las zonas conteniendo platos de características similares; igual número de pasos, iguales áreas abierta, activa y de bajantes siendo estas dos últimas iguales a las mayores requeridas por los flujos de la zona. Para aquellos platos que dentro de la zona requieran de menor área pueden emplearse menores espaciamientos para tener un factor de inundamiento constante y economizar en el material del cascarón de la torre, en cimentaciones etc., Cuando se tenga problemas de goteo en uno o varios de los platos de la zona se recomienda tapar con láminas parte del área activa para disminuir el área abierta ó perforada sin necesidad de fabricar un plato con un diseño especial muy diferente a los restantes de la zona.

Una columna sencilla con una sola alimentación generalmente tendrá dos zonas situadas sobre y bajo el plato de alimentación; los platos críticos comúnmente son el de domos, los situados sobre y bajo la alimentación y el plato de fondos.

Columnas con varias alimentaciones ó extracciones tendrán varias zonas.

### 4.13 DIAMETRO DE LA COLUMNA

El diámetro de la torre puede estimarse por medio del factor de capacidad de Souders Brown o su modificación presentada por Fair, dividiendo el flujo de vapor por la velocidad máxima permitida por el diseño ( $U_{Vi\ inund} \times \%F/100$ ), relacionándolo posteriormente al área por la cual fluye el vapor.

El diámetro obtenido se redondea al medio pie próximo superior.

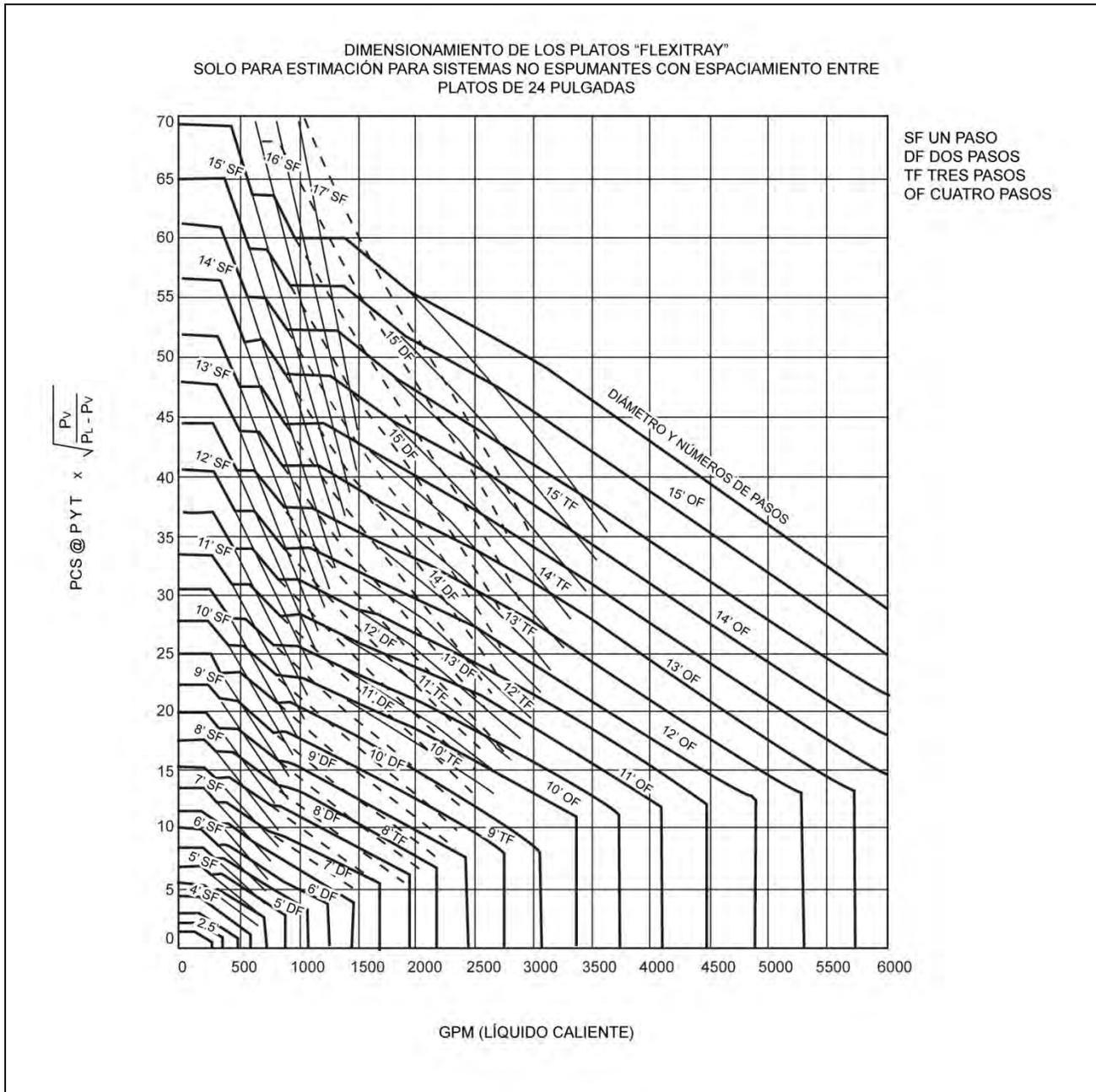


FIG. 4.4

En la mayoría de las instalaciones, el costo hace impráctico variar el diámetro de la torre de una sección a otra para ajustar variaciones en los flujos. Si las cargas son similares,  $\pm 20\%$  de diferencia entre sus valores, es posible fijar un diámetro uniforme para la columna y para los platos que requerirían menores diámetros para reducir el espaciamiento, para tener un factor de inundamiento constante. El espaciamiento no deberá ser menor al mínimo permitido por razones de mantenimiento.

Cuando la variación entre los flujos es mayor al 20%, entre la sección superior y la inferior, una columna de dos diámetros resultará más económica.

El diámetro de la columna disminuye al incrementarse el espaciamiento entre los platos. Como el costo de la columna es función del diámetro y el espaciamiento entre los platos, las dimensiones de la columna deberán ajustarse para obtener el costo mínimo. Se recomienda utilizar espaciamientos grandes mayores que el normal (24") para estimar el diámetro de columnas ó secciones de éstas que tengan menos de 8 platos, de esta forma el diseño resultará más económico.

Para estimar el diámetro de la columna pueden emplearse correlaciones gráficas que se han desarrollado para determinarle en función de la carga de líquido, del espaciamiento entre los platos y del factor carga de vapor. Una de éstas se muestra en la figura 4.4.

#### 4.14 LONGITUD DE LA TRAYECTORIA DE FLUJO, FPL.

Es la trayectoria libre que recorre el líquido a través del plato desde que sale de la bajante hasta el derramadero de salida.

Puede estimarse por la ecuación:

$$FPL = DT - 2WDC$$

Para platos de un paso y en forma similar para un plato con más pasos.

$$FPL = \frac{12 \times DT - (2 WDC_1 + WDC_3 + 2 WDC_5 + 2 WDC_7)}{NP}$$

DT = Diámetro de la columna, pies.

WDC = Anchura de la bajante, pulgadas.

NP = Número de pasos.

Si se requiere de entradas para hombre la longitud mínima de la trayectoria de flujo será de 16 pulgadas.

ANCHURA PROMEDIO DE LA TRAYECTORIA DE FLUJO, WFP.

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 un plato de un solo paso. Para platos multipasos es igual a la suma de las anchuras promedio de cada trayectoria de flujo.

$$WFP = \sum_1^{NP} \left( \frac{\text{Anchura a la entrada} + \text{Anchura central} + \text{Anchura a la salida}}{3} \right)$$

Con WFP en pulgadas.

La capacidad del vapor y la flexibilidad disminuyen conforme la carga de líquido por pie de anchura promedio se incrementa. Entonces, incrementando el número de pasos puede disminuir el diámetro de la torre.

#### 4.15 NUMERO DE PASOS <sup>(1)(3)(14)</sup>.

Por número de pasos de un plato se entiende el número de trayectorias que seguirá el líquido al pasar sobre la superficie de éste. Fig. 4.5.

Así tendremos que en un plato de dos pasos, el líquido fluirá en dos direcciones hacia la ó las bajantes que le conducirán al plato inferior.

En general, al emplear platos multipasos se tendrán torres de menor diámetro, pero el área activa decrece conforme se incrementa el número de pasos y con ella la eficiencia al haber menor superficie para el contacto entre las fases, el número de válvulas que puede colocarse es menor y además los platos de muchos pasos requieren de más internos, tinas ó charolas, interconexiones, etc. por lo cual tienen menor facilidad de mantenimiento. Sin embargo, para platos de gran diámetro un plato multipasos puede ser más eficiente que uno de un paso debido a que éste tenderá a formar canalizaciones del flujo de líquido dejando inactivas algunas zonas del plato; por lo tanto, para platos muy grandes se recomiendan multipasos, excepto para servicios a vacío pues pueden ocasionar una mayor caída de presión que los platos de un paso a causa de que tendrán menor área abierta y mayor caída de presión del plato seco.

En los platos multipasos el área activa de cada uno de los pasos debe ser la misma para que fluya a través de ellos la misma cantidad de vapor. Además deberá ajustarse la longitud de los derramaderos de salida para que sobre ellos pase la misma cantidad de líquido.

Los platos más comúnmente empleados son los de uno y dos pasos. Los de un número mayor de trayectorias se emplean para manejar elevadas relaciones L/V y en torres de gran diámetro.

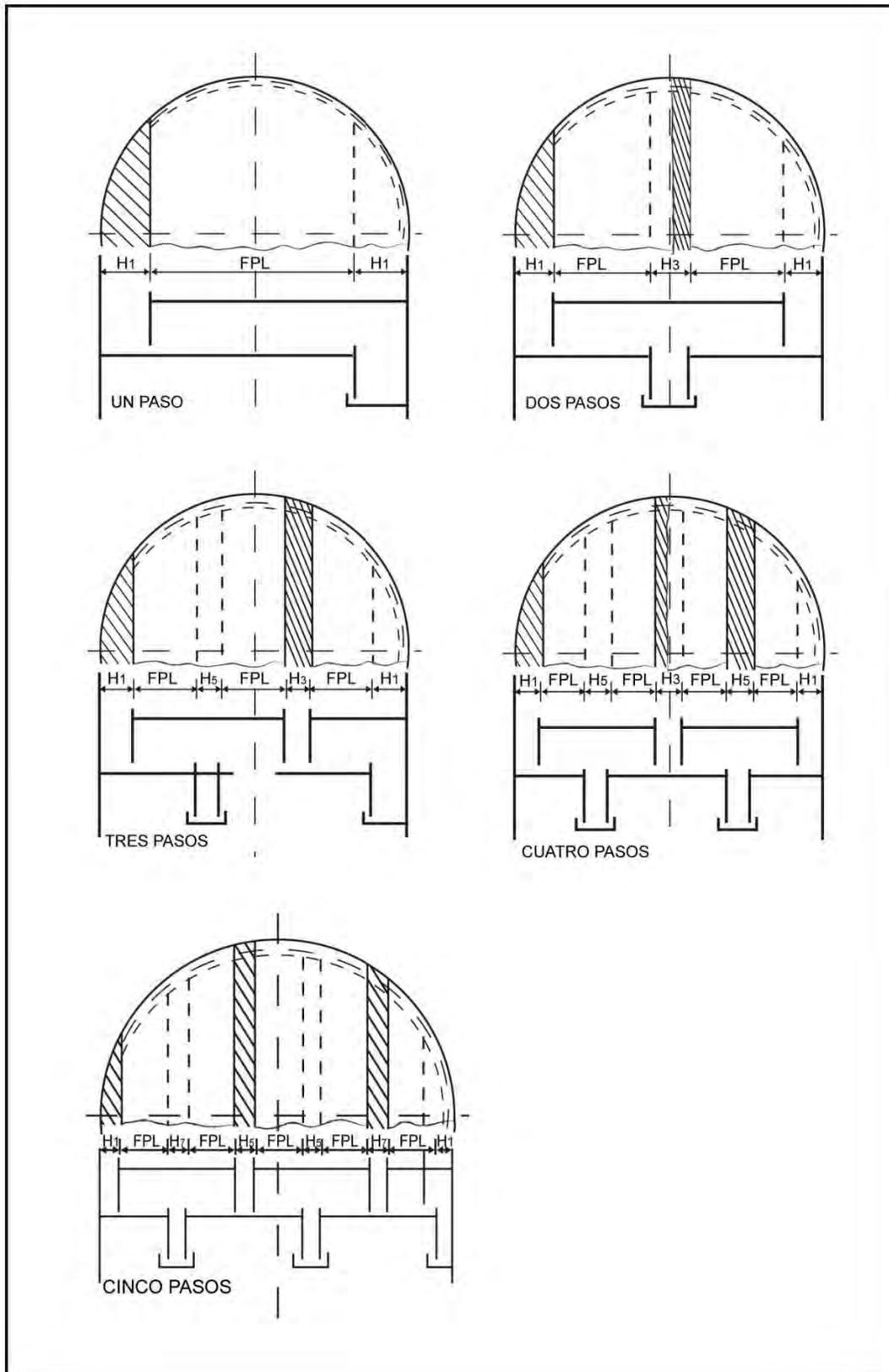


FIG. 4.5

Para estimar en forma preliminar el número de pasos de un plato pueden emplearse correlaciones gráficas como la de la Figura 4.4 a partir de los GPM de líquido, del espaciamiento entre los platos y del factor carga de vapor.

Dependiendo del tamaño del plato hay un límite para tener un cierto número de pasos, esta restricción es con el fin de colocar las entradas para hombre.

No. de Pasos	Diámetro mínimo, pies.	Diámetro recomendado pies
2	5	6
3	8	9
4	10	12
5	13	15

Para estimar el número de pasos máximo para un plato, podemos emplear la expresión:

$$NP_{m\acute{a}x} = 0.377A_T^{1/2}$$

$NP_{m\acute{a}x}$  se redondea al siguiente entero superior y nunca es menor que la unidad.

El número de pasos en un plato afecta la longitud del derramadero de salida y por lo tanto su carga de líquido.

Para un plato determinado, el número de pasos deberá incrementarse si la carga de líquido del derramadero excede los siguientes límites de diseño:

$$\frac{GPM}{Pie\ de\ derramadero} < 60$$

O bien, si se emplean derramaderos escalonados ó de relevo.

$$\frac{GPM}{Pie\ de\ derramadero} < 80$$

Otro criterio sería el siguiente:

Espaciamiento entre los platos, pulgadas.	Incrementar el número de pasos si GPM/pulgada de derramadero exceden
12	3
15	5
18	8
21	10
24	13

Estos límites pueden excederse empleando características de diseño especiales como sería el empleo de derramaderos escalonados o de charolas de sello.

#### **4.16 ALTURA DE LÍQUIDO LIBRE DE VAPOR Ó CARGA HIDROSTÁTICA. ( $h_L$ ).**

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. Es igual a la suma de la altura del derramadero de salida, de la cresta de líquido fluyendo sobre el derramadero y el gradiente hidráulico promedio. La altura del derramadero se fija mecánicamente, la cresta de líquido se puede calcular mediante la fórmula de Francis y el gradiente hidráulico se evalúa en un punto promedio sobre la superficie del plato.

La carga hidrostática es la fuerza promotora del goteo de un plato perforado o de válvulas.

A la altura de líquido libre de vapor también se le denomina altura de líquido claro.

#### **4.17 ALTURA DE LÍQUIDO EFECTIVA**

También se le conoce como altura de líquido claro equivalente, es una estimación de la caída de presión que tendría el vapor si cruzara una capa de líquido en vez de una espuma. Este valor es generalmente menor que la altura del derramadero de salida y decrece al aumentar el flujo de vapor. Para estimarle se emplea el factor de aereación. Se utiliza en la determinación de la carga perdida por el vapor en su paso a través de la masa aereada existente sobre el plato.

#### **4.18 GRADIENTE HIDRAULICO**

Se define como la diferencia entre las alturas 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 líquido el flujo de vapor, la superficie del plato y las válvulas colocadas sobre el plato. Esta carga puede considerarse para platos de válvulas ó perforados como despreciable si el plato no es excesivamente grande.

El gradiente hidráulico ocasiona que el flujo de vapor se distribuya en forma desigual a lo largo del plato pues, por ejemplo, a la salida del plato encontrará menos resistencia que a la entrada del mismo ya que la carga de líquido es menor en ese punto y tenderá a fluir a través de la zona que le presente menos resistencia a su paso, ocasionando entonces un contacto menos efectivo a la entrada que a la salida del plato; para solucionar lo anterior se recomienda el empleo de válvulas ligeras a la entrada del plato a fin de que el vapor encuentre poca resistencia en este punto y prevenir el efecto negativo señalado anteriormente. Un gradiente hidráulico muy elevado puede producir "Blowing" en un extremo del plato y chorreo a la entrada del mismo

#### **4.19 AERACION DEL LÍQUIDO.**

Este fenómeno es el resultado del burbujeo del vapor a través de la capa de líquido que fluye sobre el plato.

## MASA Ó LÍQUIDO AEREADO.

En operación, sobre el plato no existe una capa continua de líquido sino una masa aereada por efecto de la acción del vapor, la cual tiene una gran área interfacial que favorece la efectividad de la transferencia de masa entre las fases. La altura observable de esta masa la designaremos  $h_{RF}$ .

La altura de la masa aereada es función del empuje ascendente del vapor, del arrastre de líquido por el vapor y de las tendencias espumantes del sistema. En los platos de válvulas el efecto del empuje del vapor es menor comparado con el que se presenta en los platos perforados ya que el vapor emerge en el líquido en forma horizontal y no vertical. El término masa aereada ó líquido aereado se refiere a la aereación provocada principalmente como efecto de la agitación del líquido por el flujo de vapor. A diferencia de lo anterior, la palabra espuma se refiere a la aereación debida a los efectos de las propiedades físicas del sistema.

Sin embargo, en el estudio de la dinámica de los fluidos a través de los platos, estos términos son prácticamente equivalentes.

Las características de la mezcla líquido-vapor sobre un plato de destilación varían de un líquido ligeramente aereado teniendo casi la misma densidad del líquido libre de vapor, a una masa espumosa conteniendo cantidades relativamente grandes de vapor ocluidas en el líquido teniendo una densidad mucho menor que la del líquido. La densidad de la masa aereada varía con la altura, siendo mayor cerca de la superficie del plato.

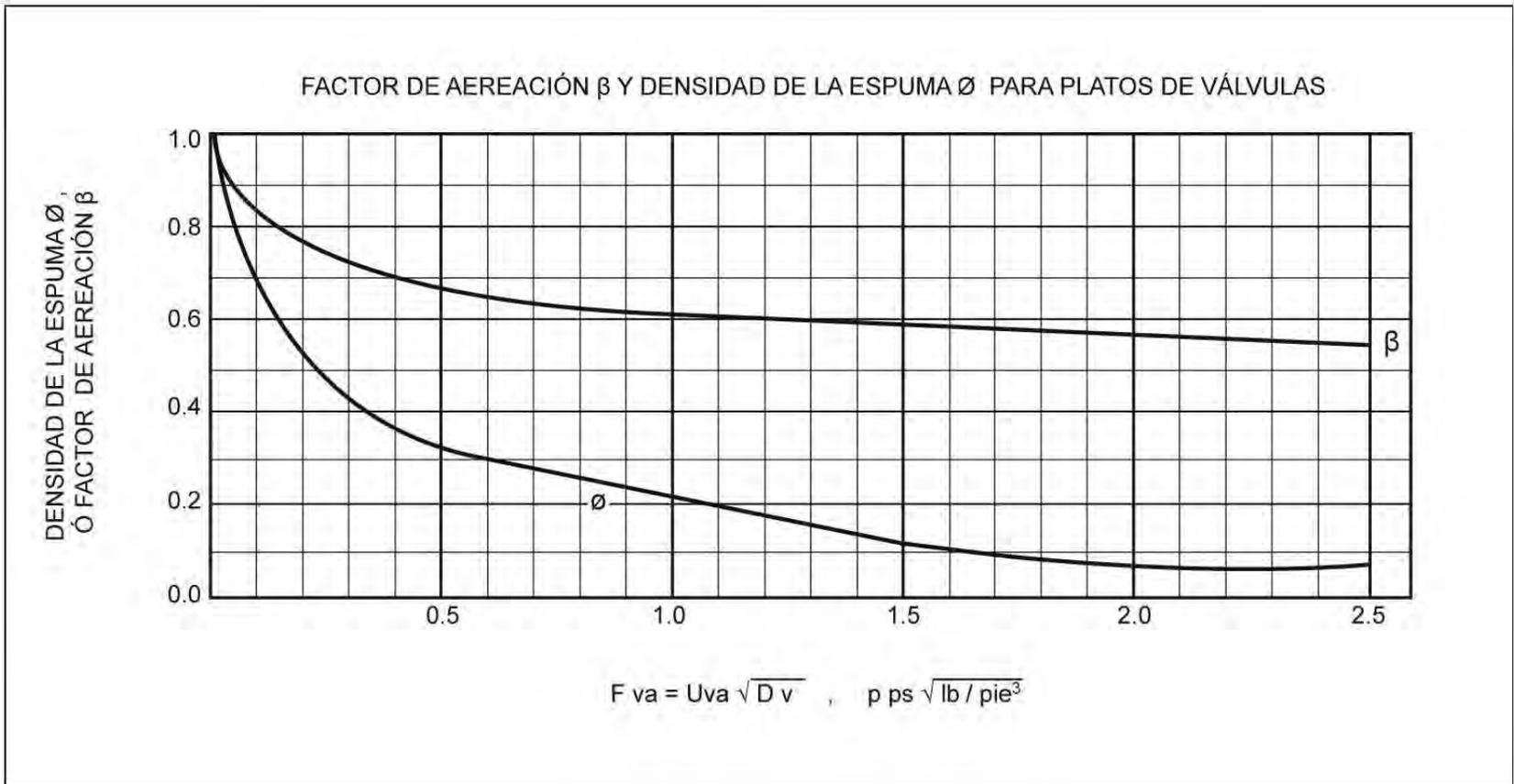
Para estimar la altura máxima que alcanza la espuma sobre el plato podemos emplear el concepto de densidad de la espuma ó de la masa aereada,  $\emptyset_f$ , la cual se define como la relación existente entre la altura del líquido libre de vapor contenido en la masa aereada y la altura de la espuma.

La altura del líquido claro contenido en la espuma es igual a la carga hidrostática sobre el plato.

$$\text{Entonces, } \emptyset_f = h_L/h_{RF} \therefore h_{RF} = h_L/\emptyset_f$$

Teóricamente la densidad de la espuma  $\emptyset_f$  y el factor de aereación  $\beta$  están relacionados por la expresión  $\beta = \frac{\emptyset_f + 1}{2}$  y ambos pueden evaluarse como una función del factor "F" basado en el área activa del plato, mediante la relación empírica que se muestra en la Fig. 4.6.

FIG. 4.6



#### 4.20 FACTOR DE GOTEO O LAGRIMEO. (Weep Factor).

El factor de goteo relaciona las cargas de operación con aquellas en el punto de goteo. También se le conoce como capacidad mínima y su valor es generalmente del 40 al 50% de la capacidad en el punto de inundamiento, empleando platos de válvulas se permiten valores mucho menores (del 20 al 30% de  $U_{VF}$ ) con lo cual la flexibilidad del plato se incrementa considerablemente.

#### 4.21 PUNTO DE GOTEO (Weep Point) <sup>(1) (3) (7)</sup>.

Se define como la carga bajo la cual la eficiencia de la transferencia de masa empieza a disminuir notoriamente a causa del goteo del líquido a través del plato porque se impide un buen contacto entre las fases.

No es predecible la operación del plato con cargas de vapor inferiores al punto de goteo; por lo tanto, este punto se considera como el punto inferior en el diseño del plato.

El punto de goteo se expresa comúnmente a una relación de flujos L/V constante.

Teóricamente en el punto de goteo se igualan las fuerzas, la que promueve y la que evita el goteo, o sea 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  $h_w + h_{ow} = h_v + h_{ST}$ . Sin embargo, Fair encontró que la relación teórica no ajustaba los datos experimentales y propuso una correlación en la cual considera el efecto que tendría la relación entre el área perforada y el área activa del plato. Para platos de válvulas debe reemplazarse el área perforada por el área de ranuras. La correlación se muestra en la figura 4.7. El término  $h_{ST}$  es muy pequeño y puede considerarse despreciable.

Entonces en el punto de goteo y para platos de válvulas:

$$h_v = f[(h_w + h_{ow}), A_s/A_a] = 0$$

Donde  $f$  es la funcionalidad definida en la figura 5.7 y  $h_v$  es la caída de presión del plato seco.

Cuando el valor de la ecuación anterior es positivo, el plato no gotea; cuando es negativo, está goteando; y cuando es igual a cero, está en el punto de goteo.

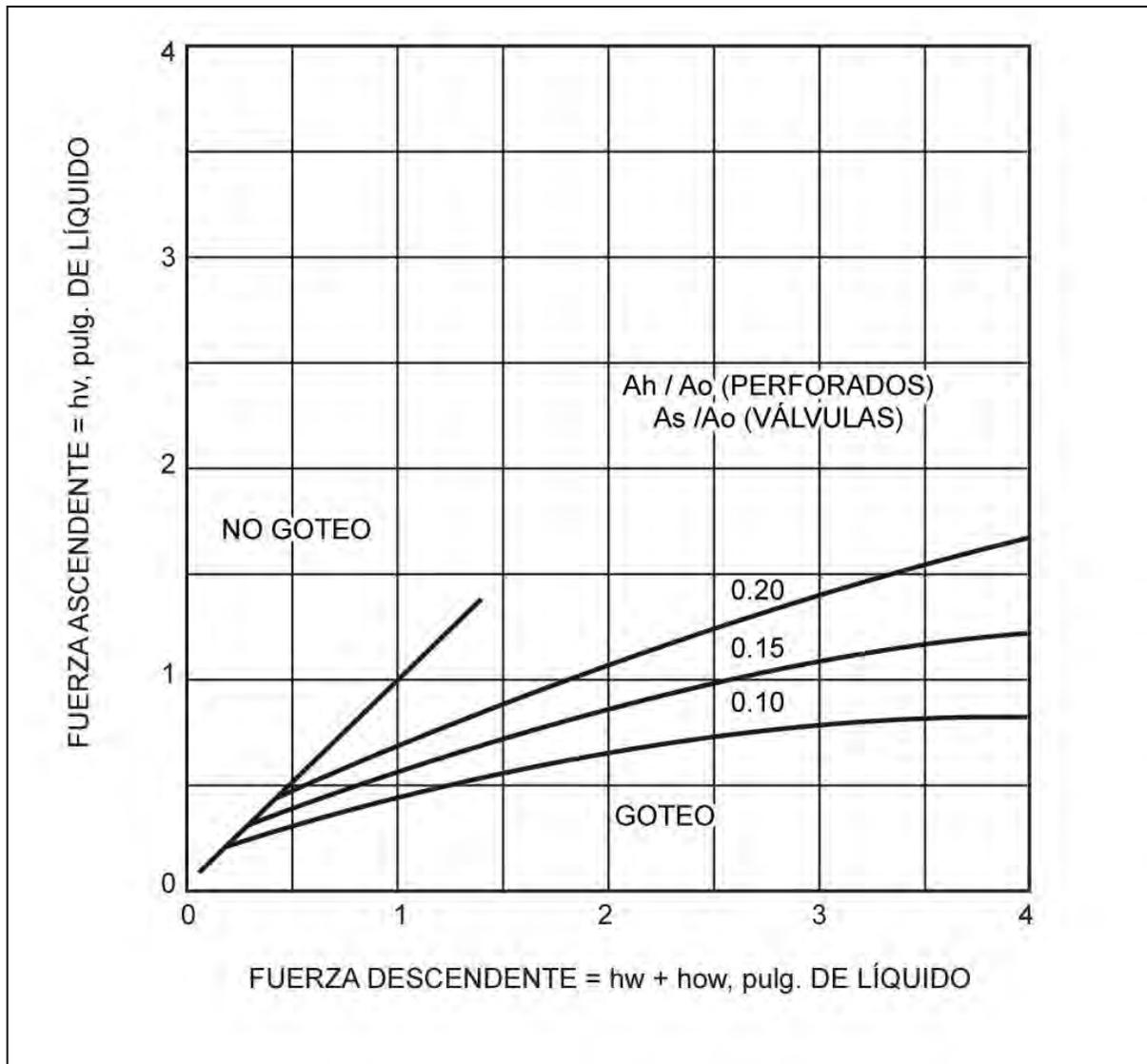


FIG. 4.7 PUNTO DE GOTEO

#### 4.22 GOTEO, WEEPING.

Ocurre cuando el flujo de vapor no es lo suficientemente grande para mantener al líquido sobre la superficie del plato, así que sólo parte del líquido fluye sobre el derramadero de salida mientras el resto cae a través de los orificios del plato.

Se presenta cuando la carga hidrostática iguala a la fuerza que lo sostiene sobre el plato, en este 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. Esto es a causa de la oscilación del líquido sobre el plato que hace que la profundidad, y entonces la carga de líquido, varíe instantáneamente en diferentes puntos del plato.

Con la presión esencialmente constante en el espacio vapor bajo el plato, el líquido goteará a través de las perforaciones en aquellos puntos en los cuales la carga es temporalmente alta.

El goteo puede presentarse casi uniformemente en todo el plato ó puede estar localizado a la entrada del plato, donde se acumula la mayor cantidad del líquido.

Es importante notar que aunque parte del plato permanezca inactiva a causa del goteo, siempre ocurre algo de transferencia de masa en el espacio vapor entre los platos.

La influencia del goteo sobre la eficiencia del plato dependerá de la fracción total del líquido que gotee; así, para casos de bajos flujos de líquido una pequeña cantidad de goteo puede ser relativamente seria. Para los platos de válvulas el goteo no es muy significativo, comparado con el de los platos perforados, por sus características de operación. Sin embargo algo de goteo siempre se tendrá a causa de las variaciones en la distribución del vapor, que ocasionan que unas válvulas abran mientras otras están cerrando sobre el área activa del plato y el líquido puede fluir a través de ellas por su agitado movimiento sobre el plato; ó al fluir el líquido sobre válvulas cerradas que de acuerdo a su configuración no sellen totalmente y a través de las cuales el flujo de vapor sea mínimo. En general se permite un goteo de más o menos el 20% del líquido que maneja el plato sin que ello signifique una disminución significativa de la eficiencia del mismo.

#### **4.23 SELLO ESTÁTICO. $h_{SS}$ .**

También se le conoce como sumergencia y es un término relacionado con la caída de presión ocasionada por la carga de líquido sobre las ranuras de las cachuchas, de las perforaciones ó de las válvulas abiertas; según el tipo de plato. Porque el sello estático varía con la caída de presión tolerable ó permitida.

El sello estático para platos de cachuchas, es la distancia entre el borde superior de la ranura y el nivel superior del derramadero; en los platos perforados es igual a la altura del derramadero y en los platos valvulados es la distancia de la parte superior de la válvula completamente abierta al nivel superior del derramadero.

En general es función de las características mecánicas del dispositivo que se esté empleando.

#### 4.24 SELLO DINAMICO. $h_{ds}$ .

Es igual a la altura del sello estático más la cresta de líquido sobre el derramadero más el gradiente hidráulico promedio, pero como el gradiente puede considerarse despreciable, el sello dinámico puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$h_{ds} = h_{ss} + h_{ow}$$

Para el diseño de platos valvulados, se recomiendan los siguientes valores:

SERVICIO	$h_{ds}$ , Pulgadas
A vacío	0.5 – 0.75
Atmosférico	1.0 – 2.5
A presión	2.0 – 6.0

#### 4.25 CAIDA DE PRESION.

Las pérdidas de carga que sufren tanto el líquido como el vapor en una columna de platos, se deben principalmente a las siguientes causas:

El vapor sufre pérdidas por contracción al pasar a través de los orificios del plato y por expansión del vapor al pasar bajo el borde de las válvulas. Pérdidas por formación de remolinos y por fricción, causadas en el cambio de dirección del vapor bajo el disco de la válvula. Además pierde energía, al vencer el peso de la válvula y la carga de líquido sobre ésta, para poder elevar la válvula hasta su posición abierta. Pierde carga para poder fluir a través de la resistencia que le presenta el líquido que rodea a la válvula ó si se tratara de un plato perforado para vencer la carga del líquido sobre los orificios. El vapor tiene pérdidas por expansión para formar burbujas y elevarse a través del líquido. Finalmente pierde energía al vencer la resistencia que presentan la tensión superficial del líquido y la carga de la espuma sobre éste <sup>(14)</sup>.

El líquido tiene pérdidas por fricción al pasar a través de la bajante y del claro bajo ésta cuando desciende al plato inferior. Pérdidas inerciales por cambio de dirección en el plato y al salir de la bajante; pérdidas por formación de remolinos, alrededor de las válvulas ó en el derramadero de salida al chocar el líquido contra ellos, además sufre pérdidas por contracción y expansión en las bajantes si éstas no tienen una sección transversal uniforme; pérdidas por fricción y remolinos en las paredes de la columna, etc.

#### 4.26 ALTURA DEL DERRAMADERO.

La altura del derramadero es la distancia medida desde la superficie del plato a la parte superior del derramadero.

Al incrementar la altura del derramadero aumenta la profundidad del líquido y por consiguiente también la longitud de la trayectoria para que el vapor burbujee, la retención del líquido y el tiempo para el contacto entre las fases. Con lo anterior se incrementa la eficiencia pero esto puede hacerse hasta un límite determinado; mientras mayor sea la altura del derramadero mayor es la caída de presión que sufrirá el vapor y se incrementará entonces la retención del líquido en la bajante, pudiendo esto ocasionar inundamiento. Además, la altura sólo podrá incrementarse hasta cierto punto en el cual el espaciamiento efectivo se reduce a tal grado que se empieza a presentar arrastre y éste disminuye la eficiencia de la operación. Ese punto está dado generalmente como el 15% del espaciamiento entre los platos.

Los siguientes son los valores recomendados para la altura del derramadero en diferentes servicios.

Servicio	Altura del derramadero, Pulg.
Sistemas de Vacío	0.75 – 1
Sistemas Normales con espaciamiento de 12 pulgadas.	1.5
Sistemas Normales con espaciamientos de 18 a 24 pulgadas	2
Sistemas Normales con espaciamientos de 24 a 30 pulgadas	3
Sistemas con reacción química ó que requieran de altos tiempos de residencia	6

#### 4.27 CRESTA DE LIQUIDO SOBRE EL DERRAMADERO.

La altura del líquido fluyendo sobre el derramadero, es función del flujo de líquido, de la longitud del derramadero y del diámetro de la columna. Puede calcularse empleando la fórmula de Francis y sus modificaciones para varios tipos de derramaderos.

Para derramaderos rectos.

$$h_{ow} = 0.48(GPM/L_{wi})^{2/3}$$

donde:

$h_{ow}$  = altura de la cresta de líquido sobre el derramadero, pulg.

$GPM$  = Galones por minuto de líquido

$L_{wi}$  = longitud del derramadero, pulgadas.

Cuando el derramadero se encuentre en la descarga a una bajante segmentada, la pared de la columna tiene un efecto de constricción para el flujo de líquido que pasa sobre el derramadero. Por

ello, se introdujo el factor de corrección por la pared de la columna  $F_W$ , que puede leerse en la figura 4.8.

$$h_{ow} = 0.48 F_W (GPM/L_{wi})^{2/3}$$

Cuando se empleen derramaderos escalonados ó de relevo, la longitud del derramadero que debe considerarse es la del derramadero proyectado, para mayor información ver el inciso referente a derramaderos en la secuencia de cálculo de Koch Engineering en el capítulo 5.

Generalmente se recomienda que la altura mínima del líquido sobre el derramadero sea ½ pulgada.

En casos en los cuales la cresta sobre un derramadero recto sea menor que ¼ de pulgada se recomienda el empleo de derramaderos dentados para obtener una buena distribución del líquido.

Para derramaderos dentados

$$h_{ow} = 0.7 F_W \left( \frac{GPM/Diente}{\tan(\theta/2)} \right)^{0.4}$$

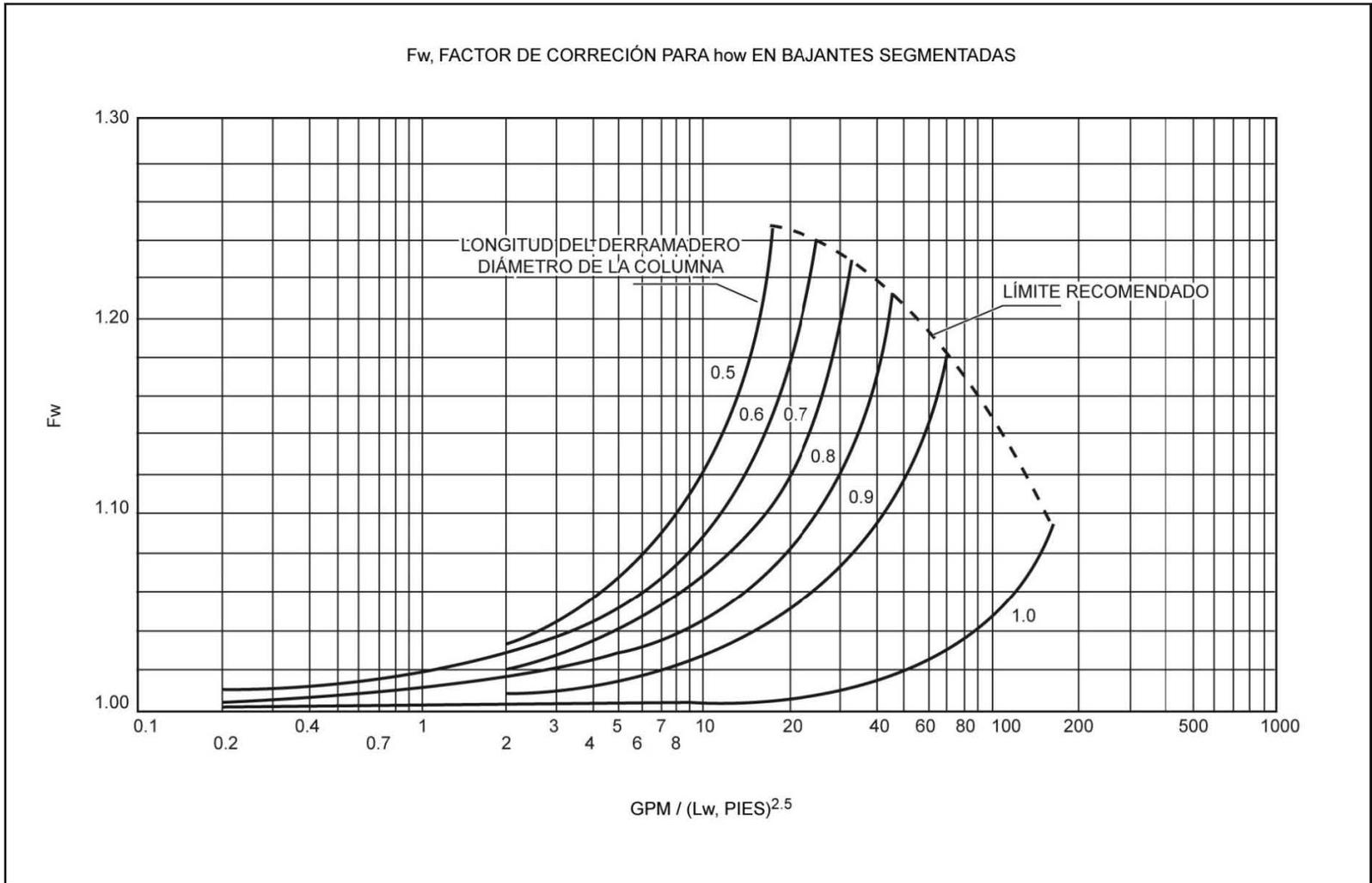
$\theta$  = Angulo de corte, grados.

Para derramaderos circulares.

$$h_{ow} = \left( \frac{GPM}{10 D_W} \right)^{0.704}$$

$D_W$  = Diámetro del derramadero

FIG. 4.8



#### 4.28 CAIDA DE PRESIÓN TOTAL DEL PLATO <sup>(3)</sup>.

La resistencia hidráulica del plato consta de tres componentes: la resistencia del plato seco  $h_V$ , la resistencia debida a la tensión superficial del líquido  $h_{TS}$  y la presentada por la capa de la espuma existente sobre los platos  $h_f$ . Sin embargo, para propósitos de diseño la resistencia del plato está dada por la suma de los términos  $h_V$  y  $h_f$  despreciando el valor de la componente  $h_{TS}$  por ser muy pequeña comparada con las otras.

Entonces para platos de válvulas:

$$h_t = h_V + h_f$$

$$h_f = \beta h_{ds}$$

$$h_{ds} = h_{SS} + h_{OW}$$

Finalmente 
$$h_t = h_V + \beta(h_{SS} + h_{OW})$$

donde:

$h_t$  = Carga de líquido libre de vapor equivalente a la caída de presión total sufrida por el vapor, pulg. de líquido equivalente.

$h_V$  = Caída de presión del plato de válvulas seco, pulg. de líquido equivalente.

$\beta$  = Factor de aereación.

$h_{ds}$  = altura del sello dinámico de líquido, pulgadas.

$h_{SS}$  = altura del sello estático de líquido, pulgadas.

$h_f$  = carga de líquido claro equivalente a la caída de presión sufrida por el vapor al pasar a través de la masa aereada, pulg. de líquido equivalente.

$h_{OW}$  = altura de la cresta de líquido sobre el derramadero, pulgadas.

Una forma de estimar la caída de presión a través de un plato de válvulas ó de cachuchas es que la caída de presión total del plato será casi dos veces la caída de presión equivalente a la carga promedio del líquido sobre la parte superior de las ranuras para platos de cachuchas, ó de la válvula abierta para platos de válvulas. Para perforados es el doble de la altura del derramadero de salida un valor estimado de la caída de presión total del plato.

Para platos de válvulas ó perforados las siguientes caídas de presión se consideran como valores dentro del orden de magnitud esperado:

Presión total	Caída de presión/plato
30 mm Hg	Menos de 3 mm Hg
1 ATM	0.07 psi
300 psi	0.12 psi

La caída de presión total a través del plato en unidades convencionales de presión está relacionada con la carga de líquido total (pulgadas de líquido caliente) mediante la expresión:

$$\Delta P_T = \frac{\left(\frac{h_T}{12}\right) D_L g}{144 g_c}$$

donde:

$\Delta P_T$  = caída de presión total sufrida por el vapor, psi.

$h_T$  = carga total de líquido equivalente a la caída de presión total sufrida por el vapor, pulgadas de líquido caliente equivalente.

$D_L$  = densidad del líquido caliente (a las condiciones de operación), lb/pie<sup>3</sup>.

$g$  = aceleración de la gravedad = 32.17 pies/seg<sup>2</sup>

$g_c$  = factor de conversión = 32.17 lb pie/lbf seg<sup>2</sup>

#### 4.29 CAIDA DE PRESION DEL PLATO SECO <sup>(8)</sup>.

Es la sufrida por el vapor al pasar a través de un plato, cuando sobre éste no hay líquido.

Considerando la caída de presión que sufre el vapor al pasar a través del plato como la que tendría al pasar por un accesorio de tubería podemos emplear el concepto de carga cinética y decir que la caída de presión es equivalente a un determinado número de cargas cinéticas en una tubería del mismo tamaño.

El número de cargas cinéticas,  $k$ ; está definido por la expresión:

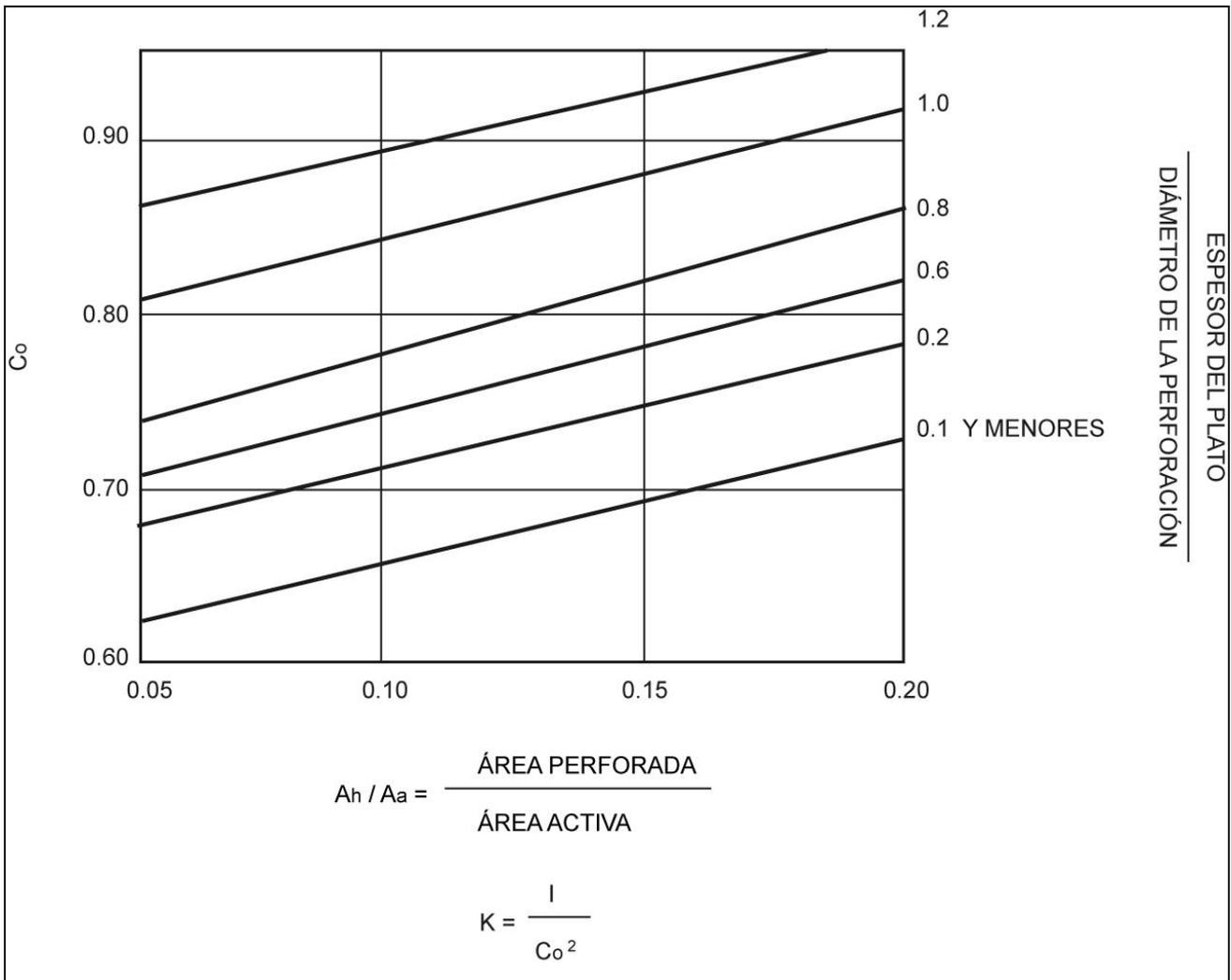
$$K = \frac{h_h}{U^2/2g}$$

donde:

$h_h$  = pérdidas de presión, pies de fluido

$U$  = velocidad promedio del fluido, pps

$g$  = aceleración de la gravedad, 32.17 pies/seg<sup>2</sup>



**FIG. 4.10**

De acuerdo a lo señalado en el “Manual de Perry” para flujo turbulento y cuando la caída de presión no es muy grande comparada con la presión total de operación, las pérdidas que sufre el vapor al cruzar el plato seco a causa de las expansiones ( $h_e$ ) y contracciones sufridas ( $h_c$ ) pueden evaluarse mediante las siguientes expresiones:

$$h_h = h_e + h_c$$

$$h_e = \frac{U_h^2}{2g} \left(1 - \frac{A_h}{A_a}\right)^2$$

$$h_c = k_c \frac{U_h^2}{2g}$$

$$h_h = \frac{U_h^2}{2g} \left( k_c + \left( 1 - \frac{A_h}{A_a} \right) \right)^2 \frac{D_V}{D_L}$$

Entonces el número de cargas cinéticas que pierde el vapor es  $k_c + \left( 1 - \frac{A_h}{A_a} \right)^2$  y puede estimarse empleando la relación obtenida por Leibson a partir de datos experimentales tomados de la literatura y que se muestra en la figura 4.10 como una función de la relación entre las áreas activa y perforada del plato y entre el diámetro de la perforación y el espesor del plato.

$$h_h = k \frac{U_h^2 D_V}{2g D_L}$$

donde:

$h_h$  = carga de líquido equivalente a la caída de presión de plato seco, pies de líquido equivalentes.

$k$  = número de cargas cinéticas, de la fig. 4.10.

$U_h$  = velocidad basada en el área perforada, pps.

Para platos valvulados la caída de presión del plato seco dependerá de la posición de las válvulas ya que pueden estar todas abiertas, ó cerradas, ó bien solo algunas abiertas.

Cuando las válvulas están abiertas ó cerradas la carga perdida se puede calcular como en el caso de los platos perforados ya que se tiene en ambos casos una abertura determinada al paso del vapor.

$$h_{vh} = K_{vo} \frac{D_V U_{vh}^2}{D_L 2g} \text{ para válvulas abiertas .....(4.1)}$$

$$h_{vh} = K_{vc} \frac{D_V U_{vh}^2}{D_L 2g} \text{ para válvulas cerradas .....(4.2)}$$

donde:

$h_{vh}$  = caída de presión del plato valvulado seco, pies de líquido

$U_{vh}$  = velocidad del vapor a través de los orificios bajo la válvula, pps.

$K_{vo}$  = constante para determinar la caída de presión del plato seco cuando las válvulas están abiertas.

$K_{vc}$  = Constante para determinar la caída de presión del plato seco cuando las válvulas están cerradas.

Para cargas intermedias, algunas válvulas estarán abiertas y algunas cerradas. Las características de funcionamiento de un plato de válvulas son tales que, en un instante determinado, cada una de las válvulas prácticamente estará abierta ó cerrada. Esto es, ninguna de las válvulas permanece estable en un punto intermedio de su recorrido y el área disponible al paso de vapor cambia de acuerdo al flujo de éste pues conforme se incrementa el flujo aumenta el número de válvulas abiertas. Cada válvula alterna su posición entre totalmente abierta ó cerrada en una forma periódica y como dentro de cada región del plato hay válvulas abiertas y cerradas, en general, todas las regiones del plato se comportan en la misma forma; bajo estas condiciones la fracción de válvulas abiertas es constante para una carga determinada. Por lo tanto el área de flujo y la caída de presión del plato seco se mantendrán prácticamente constantes.

Para el caso en que parte de las válvulas estén abiertas, la principal causa de la caída de presión del plato seco es el peso de las válvulas que debe estar venciendo el vapor para elevarlas.

El peso de las válvulas  $W_V$  está dado por:

$$W_V = A_V H_V D_{MV} R_{WV}$$

$H_V$  = Espesor de la válvula, pies.

$A_V$  = área de la tapa de la válvula (sin patas), pies<sup>2</sup>.

$R_{WV}$  = Relación entre el peso de la válvula completa con patas (si tiene) y el peso de únicamente la tapa de la válvula (sin patas) de área  $A_V$ .

$D_{MV}$  = Densidad del metal de que está construida la válvula.

El área soportante (A) es igual a  $A_V$ , entonces la presión está dada por  $W_V/A_V$  y la caída de presión en términos de la carga de líquido de densidad  $D_L$  está dada por:

$$\frac{W_V}{A_V D_L} \text{ ó } h_{Vh} = C_{VW} H_V R_{WV} D_{MV} / D_L \dots\dots\dots(4.3)$$

$C_{VW}$  es una constante para considerar las perdidas por formación de remolinos, las variables restantes ya se han definido.

**PUNTO DE BALANCE ABIERTO.** Es la condición en la cual todas las válvulas están abiertas y una de las válvulas empieza a cerrar.

$$U_{VHBO} = \text{velocidad del vapor en el punto de balance abierto} = (2gR_{WV}C_{VW}H_V D_{MV} / (K_{VO} D_V))^{1/2}$$

**PUNTO DE BALANCE CERRADO.** Es la condición existente cuando todas las válvulas están cerradas y una de las válvulas empieza a abrir.

$$U_{VHBC} = (2gR_{WV}C_{VW}H_V D_{MV} / (K_{VC} D_V))^{1/2}$$

La proporción de válvulas abiertas,  $V_o$ , se obtiene mediante un balance para el vapor pasando a través de las válvulas (abiertas y cerradas).

$U_{Vh}$  = velocidad del vapor a través de las perforaciones del plato valvulado.

$$U_{Vh} = \frac{Q_V}{A_h}$$

$$Q_V = U_{Vh}A_h = PCS_{VAP}$$

$$Q_V = V_oA_hU_{Vhbo} + (1 - V_o)A_hU_{Vhbc}$$

$$V_o = \frac{U_{Vh} - U_{Vhbc}}{U_{Vhbo} - U_{Vhbc}} \dots\dots\dots(4.4)$$

El número de cargas cinéticas que pierde el vapor al pasar a través de un plato valvulado seco puede estimarse empleando los siguientes parámetros:

Plato con válvulas tipo "Ballast" V-1	
$K_{VO}$ (1) (2)	4.3 -4.5
$K'_{VC}$	1.9
$A_{SC}$	0.00305 pies <sup>2</sup>
$A_h$	0.01279 pies <sup>2</sup>
$A_S(1)$	0.01219 pies <sup>2</sup> para una elevación de ½"
$A_S(1)$	0.01433 pies <sup>2</sup> para una elevación de 9/16"
$R_{WV}$ (2)	1.23
$C_{VW}$	1.25

Plato con válvulas tipo "Flexitray" A	
$K_{VO}$ (1) (2)	4.3 -4.5
$K'_{VC}$	1.9
$A_{SC}$	0.00191 pies <sup>2</sup>
$A_h$	0.01279 pies <sup>2</sup>
$A_S(1)$	0.01193 pies <sup>2</sup> para una elevación de ½"
$A_S(1)$	0.0140 pies <sup>2</sup> para una elevación de 9/16"
$R_{WV}$ (2)	1.23
$C_{VW}$	1.2 - 1.4

Plato con válvulas tipo "Float Valve" B				
Elevación de la válvula, pulg.		$A_S(1)$	$K_{VO}$ (1)	$R_{WV}$
5/16"	0.3125	0.01196	13.7	1.1709
3/8"	0.375	0.01616	8.21	1.188
7/16"	0.4375	0.02036	4.81	1.2021
1/2"	0.500	0.02456	3.3	1.222
$A_h$		0.029304 pies <sup>2</sup>		
$K'_{VC}$		1.9		
$A_{SC}$		0.00273 pies <sup>2</sup>		
$C_{VW}$		1.2 - 1.4		

NOTAS: 1) Considerando un plato de calibre 10. Para corregir el valor de  $K_{VO}$  cuando se esté usando un espesor diferente, multiplicarle por  $(0.134/H_T)^{1/2}$ , donde  $H_T$  es el espesor del plato en pulgadas. Esta corrección no aplica para válvulas cerradas, ni rectangulares.

2) Para una elevación tal que  $A_h \approx A_S$ , (1/2" y 9/16")

Calibre	Espesor, pulg.
10	0.134
12	0.104
14	0.074
16	0.06
18	0.05
20	0.037

$K'_{VC}$  es el coeficiente para la carga perdida en válvulas cerradas, basado en el área de ranuras, está definido por:

$$h_h = \frac{K'_{VC} U_{VSC}^2 D_V}{2g D_L}$$

Por lo tanto:

$$K_{VC} = K'_{VC} (A_h/A_{SC})^2$$

Para calcular la caída de presión seca se emplearán las ecuaciones 4.1, 4.2 ó 4.3 dependiendo de si las válvulas están abiertas, cerradas ó abiertas en parte respectivamente; de acuerdo a lo que resulte de la ecuación 4.4.

En ocasiones se alteran filas de válvulas de dos pesos diferentes para obtener una mayor flexibilidad.

Suponiendo que se tiene una fracción (X) del total de las válvulas de un calibre ligero y el resto de otro más pesado. El plato tendrá cuatro puntos de balance: 1) cuando las válvulas ligeras empiecen a abrir, 2) cuando todas las válvulas ligeras están abiertas, 3) cuando empiezan a abrir las válvulas pesadas y 4) cuando todas las válvulas pesadas están abiertas.

$K_{Vi}$ , es el número de cargas cinéticas que pierde el vapor en un punto intermedio entre los puntos de balance 2 y 3 anteriormente señalados y está dado por:

$$\frac{1}{K_{Vi}} = \frac{X^2}{K_{VO}} + \frac{2X(1-X)}{\sqrt{K_{VO}K_{VC}}} + \frac{(1-X)^2}{K_{VC}} \dots\dots\dots(4.5)$$

Y la caída de presión está dada así:  $h_h = K_{Vi} \left(\frac{D_V}{D_L}\right) \frac{U_{Vh}^2}{2g} \dots\dots\dots(4.6)$

La ecuación (4.2) aplicará bajo el punto de balance 1.

La ecuación (4.6 ó 4.3) entre los puntos de balance 1 y 2.

La ecuación (4.6 ó 4.3) entre los puntos 2 y 3 de balance y

La ecuación (4.1) sobre el punto de balance 4.

#### CARGA DE ESPUMA ( $h_f$ ) y FACTOR DE AEREACION ( $\beta$ ).

Idealmente se dice que sobre la superficie del plato fluye una determinada cantidad de líquido, llamada sello dinámico ( $h_{dS}$ ), la cual el vapor debe vencer en su paso ascendente a través de cada plato a lo largo de la columna; sin embargo como sobre la superficie del plato no existe realmente una capa uniforme de líquido sino una masa aereada por efecto de la acción del vapor, es necesario evaluar en una forma menos conservadora la caída de presión que sufre el vapor. Lo anterior se logra considerando el efecto del vapor ocluido en el líquido y entonces la densidad de la masa aereada será menor a la del líquido libre de vapor, para ello se afecta el sello dinámico por un factor de corrección denominado factor de aereación,  $\beta$ . Además este factor agrupa 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.

Entonces, la carga de líquido libre de vapor equivalente a la caída de presión sufrida por el vapor al pasar a través de la masa aereada, puede calcularse con la ecuación.

$$h_f = \beta h_{dS} = \beta(h_{SS} + h_{OW})$$

Este valor es, generalmente, menor que la altura del derramadero de salida y decrece al aumentar el flujo de vapor.

El factor de aereación puede estimarse como una función del factor "F" basado en el área activa del plato  $F_{Va} = \frac{PCS_{vap}D_V^{1/2}}{A_a}$  empleando la gráfica de la figura 4.6.

#### 4.30 ALTURA DEL LIQUIDO RETENIDO EN LA BAJANTE. DCBU.

La retención de líquido en la bajante es una acumulación de líquido ocasionada por la oposición que presentan diferentes resistencias al líquido en su descenso a lo largo de la columna.

Considérese una sección de la torre y supóngase que el líquido está formado un sello en la bajante del plato, que no fluye gas a través de la columna, que no hay goteo de líquido (la tensión superficial del líquido es lo suficientemente alta para impedirlo) y despreciando las perdidas por fricción causadas por la constricción del claro bajo la bajante. Entonces el nivel de líquido retenido en la bajante será igual a la carga hidrostática existente sobre el plato, de acuerdo al principio de los vasos

comunicantes, tal como se muestra en la figura 4.9a. La presión en el punto (A) será la misma que en el punto (B).

Considérese ahora el efecto de la oposición que presenta restricción del claro bajo la bajante al fluir del líquido. Este tenderá a acumularse en el interior de la bajante hasta alcanzar un punto en el cual la altura alcanzada le proporcione una carga suficiente para vencer la resistencia que le está presentando esta restricción; como no fluye gas la presión en (A) será la misma que en el punto (B) figura 4.9b.

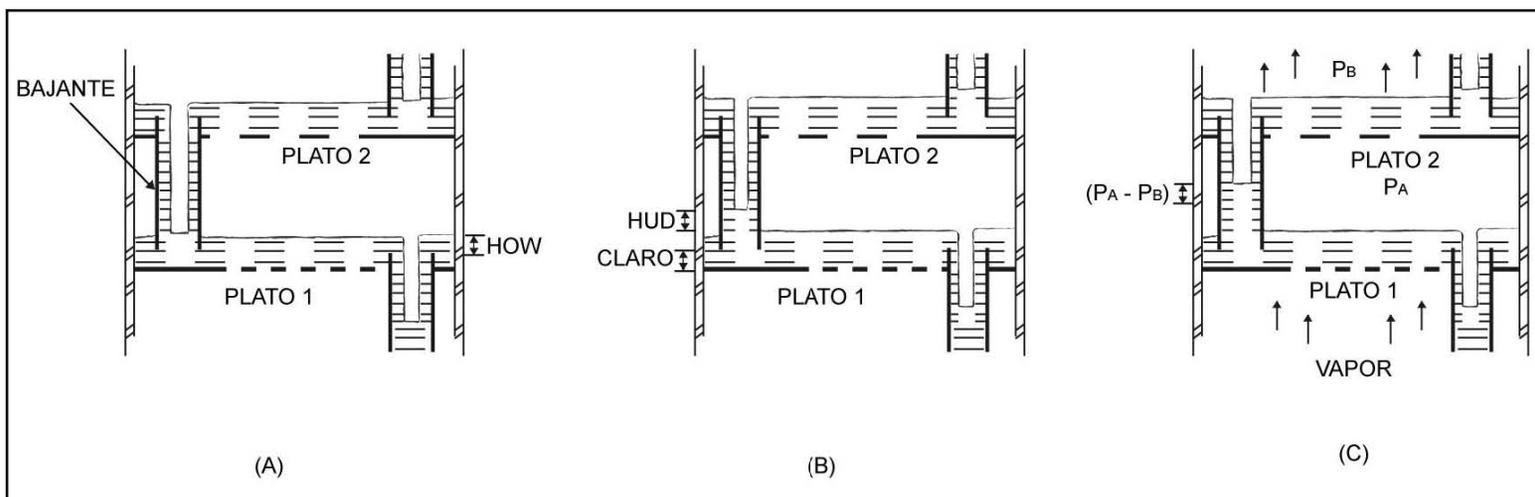
Ahora, cuando el vapor fluye a través de los platos, la presión en el punto (A) es mayor que en el (B) a causa de las pérdidas de cargas que sufre el vapor al pasar a través del plato. La diferencia de presión entre ambos puntos ( $P_A - P_B$ ) se refleja como una elevación en el nivel de líquido de la bajante, hasta que se forme la carga necesaria para que el líquido pueda vencer la oposición de la mayor presión existente en el plato inferior y entonces fluir a través de su superficie. Figura 4.9c.

Entonces se puede resumir que la altura del líquido retenido en la bajante está compuesta por varias cargas individuales que se señalan a continuación:

- 1.- Altura del derramadero, la cual se establece por el diseño del plato.
- 2.- Altura de la cresta de líquido fluyendo sobre el derramadero, calculada de acuerdo a lo señalado con anterioridad.
- 3.- El gradiente de líquido, usualmente despreciable.
- 4.- La carga de líquido equivalente a la resistencia friccional de la bajante y en el paso del fluido de la bajante al plato. Esta carga es relativamente pequeña si se deja un espacio razonablemente amplio para el claro bajo la bajante.
- 5.- Carga de líquido equivalente a la de espuma que el gas debe vencer al pasar de un plato a otro.

$$DCBU = h_{ac} = h_W + h_{OW} + h_{ud} + h_t$$

FIG. 4.9 ALTURA DEL LÍQUIDO RETENIDO EN LA BAJANTE (DOWNCOMER BACKUP)



Si la altura real del líquido retenido en la bajante ó altura de la espuma en la bajante es mayor que el espaciamiento entre los platos más la altura del derramadero, ocurrirá el inundamiento de los platos de la columna al no poder fluir el líquido a través de ésta. Este tipo de inundamiento se presentará si en las bajantes no se dispone del espacio suficiente para conseguir una buena separación entre las fases líquida y vapor; por ello es que para servicios con tendencias espumantes se recomienda el empleo de bajantes inclinadas las cuales en su parte superior disponen de mayor área y favorecen la liberación del vapor de la masa aereada al disminuir la obstrucción que pudiera ocasionar el salto de líquido sobre el derramadero y al brindar más tiempo de residencia a la masa aereada para permitir su coalescencia; el fondo inclinado de la bajante también favorece la separación pues al aglomerar pequeñas gotas de líquido éstas tenderán a compactarse en unas de mayor tamaño y precipitarán más fácilmente. Las bajantes de platos que manejen sistemas espumantes ó viscosos (los cuales impiden que el vapor se desprenda fácilmente del líquido) requerirán ser dimensionados para tener un elevado tiempo de residencia.

El DCBU puede reducirse mediante el uso de derramaderos más largos para reducir el valor de  $h_{OW}$ , esto puede lograrse con el empleo de derramaderos de relevo ó escalonados ó bien aumentando el número de pasos del plato (con la correspondiente disminución en eficiencia y flexibilidad). La altura del derramadero también puede disminuirse pero también se disminuirá la eficiencia del plato. El empleo de charolas de sello reduce el valor del DCBU al disponer de una mayor longitud de bajantes para un espaciamiento determinado entre los platos.

Se ha señalado que la altura real del líquido en la bajante,  $h_{fd}$ , debe ser menor que el valor del espaciamiento entre los platos más la altura del derramadero de salida para que el inundamiento no se presente. Otro criterio similar y menos conservador, pero relacionado con el DCBU, es el siguiente: el valor de  $h_{dc}$  debe ser menor a  $\frac{TS + h_w}{2}$ .

Otro muy empleado es:

Densidad del vapor lb/pie <sup>3</sup>	Valor límite del "DCBU" como % del espaciamiento entre platos
Mayor de 3.0	40
Entre 3.0 y 1.0	50
Menor de 1.0	60

#### 4.31 CARGA PERDIDA BAJO LA BAJANTE, $h_{ud}$ .

El líquido al pasar bajo la bajante pierde carga a causa de la restricción existente entre el faldón y la superficie del plato. La carga perdida puede calcularse a partir de la ecuación de orificio considerando un coeficiente de 0.57 para la restricción. Entonces:

$$U_{hL} = \frac{PCS}{A_{ud}} = C_o \left( \frac{2gh_{ud}}{12} \right)^{1/2} = 0.57 \left( \frac{2gh_{ud}}{12} \right)^{1/2}$$

Entonces:

$$h_{ud} = 0.56 U_{hL}^2 = 0.03 \left( \frac{GPM}{100 A_{ud}} \right)^2 = \text{Pulgadas de líquido libre de vapor equivalentes a la caída de presión del líquido al fluir bajo la bajante.}$$

Si se emplea un derramadero de entrada, la carga perdida se evaluará con la menor de las áreas, la de bajo la bajante ó aquella entre el faldón de la bajante y el derramadero de entrada; además se deberá utilizar una ecuación modificada que considere las pérdidas de carga debidas al choque que sufre el líquido contra el derramadero de entrada, dicha ecuación es: 
$$h_{ud} = 0.0328 \left( \frac{GPM}{100 A_{ud}} \right)^2.$$

Es común una velocidad de 1.5 pps a través del claro bajo la bajante.

La carga perdida bajo las bajantes puede minimizarse mediante el empleo de un adecuado claro bajo la bajante, pocetas de sello ó una ligera curvatura en la parte inferior del faldón de la bajante.

\* Area bajo la bajante, es la menor de dos áreas: la de la sección transversal del bajante ó el área entre la bajante y el plato.

#### 4.32 ALTURA DE LA ESPUMA DE LA BAJANTE, $h_{fd}$

La altura del líquido retenido en la bajante se evaluó en términos de líquido claro (libre de vapor). Sin embargo en realidad dentro de la bajante el líquido está aereado pues lleva vapor ocluido en su interior como resultado de la espuma arrastrada por el líquido y el arrastre de las gotas que salpican al caer el líquido en la bajante por el vapor, el cual se separará de la espuma para ascender a través de la porción libre de la bajante. Si el vapor no se separa de la masa aereada y es arrastrado por el líquido al plato inferior se ocasionará una disminución en la eficiencia y un incremento en la caída de presión del plato.

La masa aereada existente en el interior de la bajante tiene características análogas a las de la masa aereada sobre el plato en cuanto a su comportamiento pues ésta tenderá a ascender y ocupar un mayor espacio a causa del arrastre del vapor al tratar de liberarse de la masa aereada.

La altura real del líquido en la bajante se denota por  $h_{fd}$  y para evaluarla se emplea la expresión:

$$h_{fd} = h_{dc} / \phi_{fd} = (h_w + h_{ow} + h_{ud} + h_t) \frac{1}{\phi_{fd}}$$

Donde:

$h_{dc}$  = altura del líquido retenido en la bajante, pulg.

$\phi_{fd}$  = densidad promedio de la masa aereada en la bajante, adimensional.

$h_{fd}$  = altura real del líquido retenido en la bajante, pulgadas.

El valor de  $\emptyset_{fd}$  depende de la tendencia del vapor a separarse de la masa aereada en la bajante. En casos en los cuales las burbujas se elevan rápidamente (vapores de baja densidad, líquidos poco viscosos, sistemas poco espumantes) la separación es rápida y el líquido claro llena el fondo de la bajante rápidamente. En tales casos es práctica usual emplear un valor de  $\emptyset_{fd} = 0.5$ . Para casos en los que las burbujas se separen lentamente (vapores de alta densidad, líquidos muy viscosos y sistemas altamente espumantes) deben emplearse valores de  $\emptyset_{fd}$  cercanos a 0.3 (de acuerdo a este criterio para estimar  $\emptyset_{fd}$  puede emplearse la misma relación que se usa  $\emptyset_f$ , de la figura 4.6.)

#### 4.33 SALTO DE LIQUIDO SOBRE EL DERRAMADERO, $d_{tw}$

El salto de líquido sobre el derramadero de salida puede estimarse para un líquido libre de vapor empleando la ecuación.

$$d_{tw} = 0.8 (h_{ow} h_{ff})^{1/2}$$

$$h_{ff} = TS + h_w - h_{fd}$$

$h_{ff}$  es la distancia de la parte superior de la mampara de salida hasta el nivel de la masa aereada en la bajante ( $h_{fd}$ ).

El salto de líquido no se considera un factor muy importante en el diseño, sin embargo conviene considerarle en el caso de platos con bajantes centrales ó intermedios para determinar la necesidad de baffles anti-salto que dirijan el líquido hacia la bajante.

En platos con bajantes laterales, el salto de líquido sobre el derramadero no debe alcanzar la pared de la torre ó el vapor que se separa del líquido en la bajante no podrá escapar y será arrastrado por el líquido hacia el plato inferior.

Se recomienda que en todos los casos el salto de líquido sea menor al 60% de la anchura de la bajante.

#### 4.34 RAINING

Esta es una condición similar al chorro (Dumping) pues el líquido no pasa sobre el derramadero, excepto que a causa de ser mayor el flujo de vapor, la caída de líquido a través de las perforaciones es más uniforme. Ocurre cuando el flujo de vapor es insuficiente para soportar al líquido sobre el plato.

#### **4.35 ARRASTRE POR ESPUMA, Priming.**

Este término se refiere a la condición de operación en la cual la altura de la espuma en el plato resulta tan grande que alcanza al plato superior y se mezcla con el líquido de ese plato. En este caso el cambio en la concentración del líquido en el plato superior, a causa del mezclado con la espuma del plato inferior, será apreciable y se reducirá grandemente la eficiencia de la separación.

#### **4.36 BLOWING.**

Ocurre solo a muy bajos flujos de líquido con altos flujos de vapor. En este caso el líquido es lanzado hacia arriba en un fino rocío dejando al plato casi seco, pues el vapor arrastra al líquido hacia el siguiente plato. Como en los platos de válvulas la mayor componente de la velocidad del vapor es horizontal más que vertical (como ocurre con los perforados) las posibilidades de que esta situación se presente, son escasas.

#### **4.37 DUMPING, chorreo.**

Cuando el flujo de vapor es inferior al correspondiente al punto de goteo y sea incapaz de mantener al líquido sobre el plato se habrá alcanzado el punto de chorreo, entonces una gran cantidad de líquido pasará a través de las perforaciones; ocasionando por consiguiente, una disminución muy marcada en la eficiencia del plato y un incremento en la caída de presión.

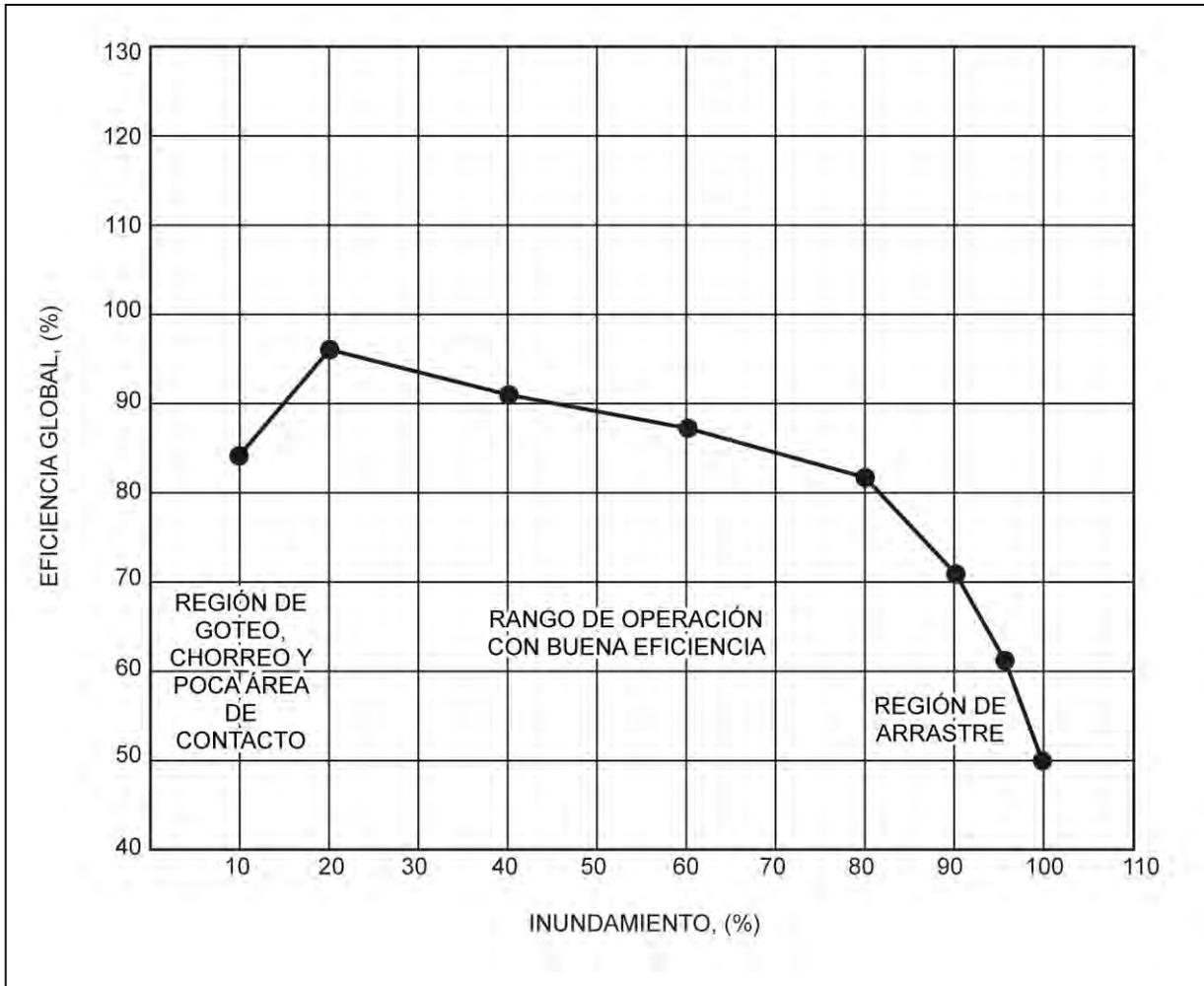
Dadas las características de funcionamiento de los platos de válvulas el chorreo se presentará únicamente a muy bajos flujos de vapor al escapar el líquido por las pequeñas aberturas que dejan la mayoría de las válvulas al asentarse sobre la superficie del plato, y aunque hay válvulas que cierran completamente y reducen el goteo al mínimo, en este caso se presentarán “pulsaciones” caracterizadas por el paso intermitente del vapor a través del plato; en este caso la eficiencia también es muy baja a causa del poco tiempo y área de contacto entre las fases.

Por debajo del punto de chorreo la operación se volverá inestable y la eficiencia será tan baja que no se podrá obtener una buena separación.

OSCILACIÓN. Este es un movimiento de tipo ondulatorio, parecido a olas, del líquido sobre el plato y perpendicular a la dirección normal del flujo.

#### **4.38 RELACIÓN DE FLEXIBILIDAD, RANGO DE OPERACIÓN Y FLEXIBILIDAD. (Turndown ratio, operating range, flexibility).**

Relación de flexibilidad, es la relación entre la máxima y la mínima velocidad del vapor a las cuales el plato operará eficientemente. El rango de operación es un término similar expresado como porcentaje de la carga de inundamiento. Por ejemplo, un rango de operación del 20 al 90% de la carga en el punto de inundamiento es equivalente a una relación de flexibilidad de 4.5.



**FIG. 4.11 FLEXIBILIDAD**

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 que otro con un pequeño rango de operación. La flexibilidad es un término que implica los límites de operación en los cuales se mantiene una aceptable eficiencia del plato, tal y como se muestra en la figura 4.11.

Conviene señalar que la definición dada para la relación de flexibilidad es la más común y aceptada, sin embargo algunos autores la definen mediante la siguiente relación:

$$T_R = \frac{1}{F_f F_W}$$

Donde:

$T_R$  = relación de flexibilidad

$F_f$  = factor de inundamiento

$F_W$  = factor de goteo

y por lo tanto, para el ejemplo señalado anteriormente,

$$T_R = \frac{1}{0.2(0.9)} = 5.6$$

#### 4.39 EFICIENCIA <sup>(1)</sup>(3).

La eficiencia de platos ó empaques es un factor de primordial importancia en el diseño de equipo para transferencia de masa pues nos permite conocer, una vez determinado el número de etapas teóricas, la cantidad de platos reales ó la altura real de empaque necesarios para obtener el grado de separación requerido.

Los principales factores que afectan la eficiencia de un dispositivo de contacto, son: a) Las propiedades físicas del sistema, b) Los flujos de vapor y líquido, c) El tipo y geometría del dispositivo. Anteriormente se ha señalado que tanto el arrastre como el goteo disminuyen la eficiencia del plato.

EFICIENCIAS DE PLATO. Cuando en el plato ó etapa se tiene suficiente área y tiempo de contacto entre las fases, de tal forma que el equilibrio entre las composiciones de líquido y vapor se alcance en todos los puntos, se tendrá una eficiencia del 100%. Los factores de operación y diseño involucrados en el mecanismo de formación del área interfacial y en la provisión del tiempo de contacto entre las fases, son: La profundidad de la capa de líquido, la longitud de la trayectoria de flujo, la distribución del líquido a través del plato, el tamaño de las burbujas de vapor, el flujo de éste y las propiedades de los flujos como la tensión superficial, la viscosidad y la densidad.

Existen tres tipos de eficiencia de plato las cuales pueden emplearse para expresar la relación entre las etapas teóricas y las reales. Ellos son: 1) Eficiencia global de la columna o del plato, 2) Eficiencia de plato de Murphree y 3) Eficiencia local ó puntual.

La eficiencia global de la columna aplica al número total de etapas y se define como el número de etapas teóricas requeridas para producir una separación determinada dividido por el número de etapas reales que producirá la misma separación. La eficiencia del plato de Murphree aplica a un solo plato y se define como la relación del cambio real en la composición promedio del vapor alcanzada en un plato determinado al cambio en la composición promedio del vapor si los vapores que salen del plato estuvieran en equilibrio con el líquido que cae del plato. La eficiencia local es similar a la de Murphree, excepto que se aplica a un punto sobre el plato.

Aunque la eficiencia global de la columna no se basa en fundamentos de transferencia de masa, se emplea comúnmente por su simplicidad. El número de etapas reales requeridas para una separación determinada es igual al número de etapas teóricas dividido por la eficiencia de la columna. La eficiencia de Murphree tiene más fundamentos que la global pero su uso es menos conveniente porque debe

aplicarse a cada uno de los platos. La eficiencia local es de gran interés teórico pero raramente se emplea en diseño porque requiere del conocimiento de las variaciones en la composición del líquido a través del plato y de la integración de las eficiencias locales para determinar la eficiencia del plato. Luego, para predecir la eficiencia de una columna puede emplearse cualquiera de los siguientes procedimientos:

- Uso de métodos empíricos aproximados.
- Uso de modelos teóricos para predecir una eficiencia puntual basada en la concentración de vapor sobre el plato, seguida de una conversión a eficiencia global de la columna.
- Uso de analogías directas para especificar la eficiencia de la columna de acuerdo al tipo de servicio.
- Uso de columnas a escala de planta piloto para determinar la eficiencia.

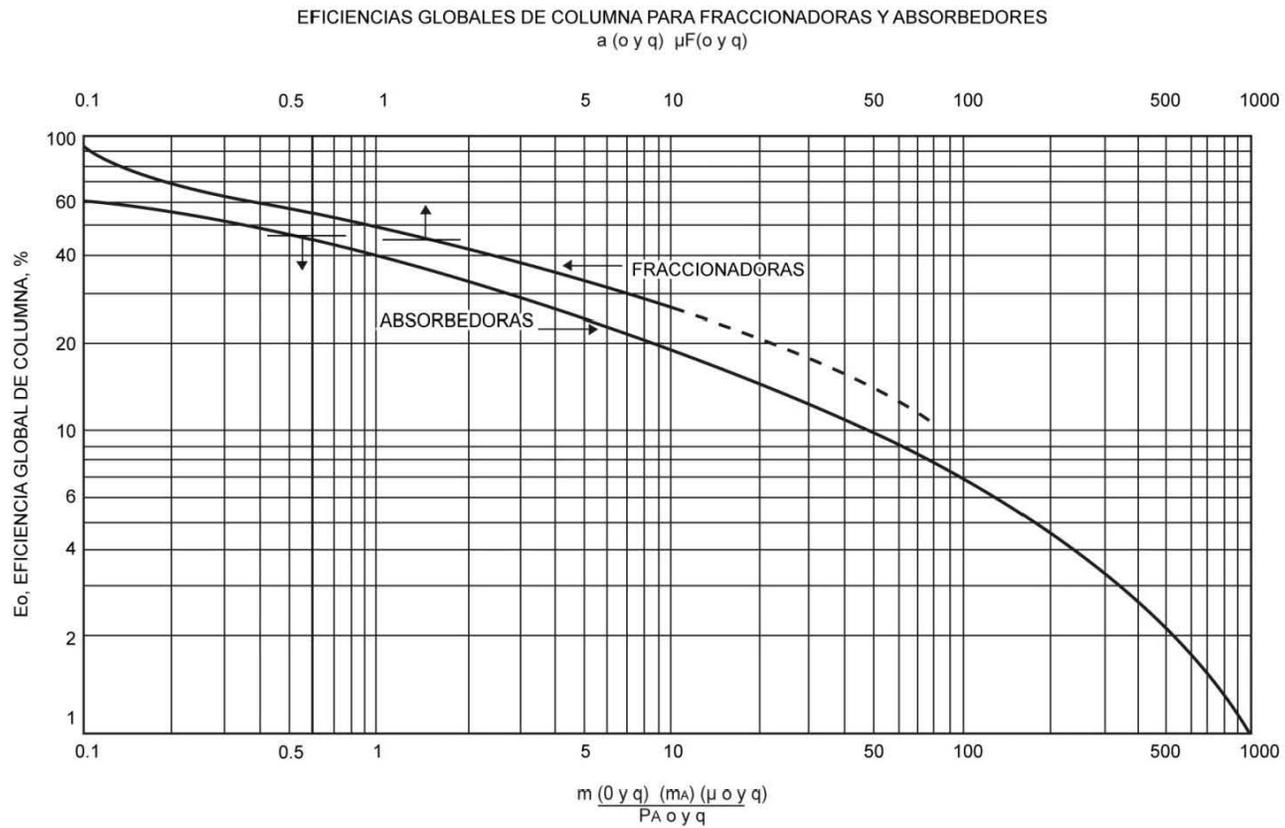
Los procedimientos se han escrito de menor a mayor confiabilidad.

#### **4.40 METODOS EMPIRICOS**

Para conocer la eficiencia global de una columna, una relación empírica que proporciona valores bastante aceptables para propósitos de diseño con la mayoría de los equipos comerciales es la de O'Connell quien correlacionó la eficiencia con la viscosidad del líquido y la volatilidad relativa (para columnas de fraccionamiento) ó la solubilidad del gas (para absorbedores), tal y como se muestra en la figura 4.12.

Si se consideran los efectos de la sumergencia del líquido y la relación entre los flujos de líquido y vapor para estimar la eficiencia global de una columna deberá emplearse, de las siguientes ecuaciones, la que aplique.

FIG. 4.12



a = VOLATILIDAD RELATIVA DE LOS COMPONENTES CLAVE  
 $\mu F$  = VISCOCIDAD PROMEDIO DE LA ALIMENTACIÓN, Cp.  
 $\mu$  = VISCOCIDAD PROMEDIO DEL LÍQUIDO, Cp.  
 $m_A$  = PESO MOLECULAR MEDIO DEL LÍQUIDO  
 $P_A$  = DENSIDAD DEL LÍQUIDO, LB / PIE<sup>3</sup>

m = FRACCIÓN MOL. DE SOLUTO EN EL GAS EN EQUILIBRIO  
 CON EL LÍQUIDO / FRACCIÓN MOL. DE SOLUTO EN EL LÍQUIDO  
 o y q = A LA TEMPERATURA Y PRESIÓN PROMEDIO DE LA COLUMNA

Para Fraccionadoras:

$$\log E_O = 1.67 - 0.25 \log(f_{PROM} \alpha_{PROM}) + 0.3 \log \frac{L'_m}{V'_m} + 0.09 \left( S_m + \frac{C}{2} \right)$$

Para Absorbedoras:

$$\log E_O = 1.60 - 0.38 \log \left( \frac{m_{PROM} M_A'' A_{PROM}}{P_{A PROM}} \right) + 0.25 \log \frac{L'_m}{V'_m} + 0.09 \left( S_m + \frac{C}{2} \right)$$

Donde:

$E_O$  = eficiencia global de la columna, porcentaje.

PROM = a la temperatura y presión promedio de la columna.

C = altura de ranura, pies.

$L'_m$  = flujo molar de líquido, lbmol/hr.

$V'_m$  = flujo molar de vapor, lbmol/hr.

$S_m$  = sumergencia estática, pies. (Distancia desde el borde superior del derramadero al punto en el cual el vapor emerge en el plato).

NOTA: Para platos perforados, reemplazar  $\left( S_m + \frac{C}{2} \right)$  por la altura del derramadero ó vertedero; para platos de válvulas, sustituir  $\left( S_m + \frac{C}{2} \right)$  por la altura del líquido sobre la tapa de la válvula abierta.

#### 4.41 MODELOS TEORICOS PARA DEFINIR LA EFICIENCIA DE UNA COLUMNA <sup>(1) (3) (10)</sup>.

El método AIChE permite la predicción de la eficiencia de un plato de destilación de cachuchas. El método está descrito en el manual de diseño de AIChE y Smith lo explica muy claramente en "Design of Equilibrium Stage Processes". Está basado en la teoría de la doble película ó doble resistencia, se enfoca a la predicción de eficiencias locales basada en la concentración del vapor sobre el plato.

De acuerdo a este modelo, la eficiencia puntual o local puede definirse:

$$E_{OG} = 1 - e^{-N_{OG}}$$

Donde:  $N_{OG}$  (número de unidades de transferencia globales en la fase vapor) es igual a una conductividad (o conductancia) global, la inversa de la cual es la suma de las resistencias de cada fase.

$$\frac{1}{N_{OG}} = \frac{1}{N_G} + \frac{\lambda}{N_L}$$

Donde:

$N_G$  = número de unidades de transferencia en la fase gaseosa.

$N_L$  = número de unidades de transferencia en la fase líquida.

$$\lambda = m \frac{G}{L}$$

$m$  = pendiente de la curva de equilibrio

$G$  = flujo molar de vapor

$L$  = flujo molar de líquido

El número de unidades de transferencia en ambas fases pueden evaluarse de las correlaciones obtenidas con este modelo las que muestran que tanto  $N_L$  como  $N_G$  dependen de las propiedades y flujos del líquido del vapor, de las dimensiones físicas del plato y del tiempo de contacto de cada una de las fases. Fig. 4.13 y 4.14.

Una vez conocido el valor de EOG, éste debe convertirse a una eficiencia de plato de Murphree, EMV, para el plato completo.

Si se considera el flujo de líquido como perfectamente mezclado, entonces de acuerdo a lo señalado en el modelo AIChE. EOG=EMV.

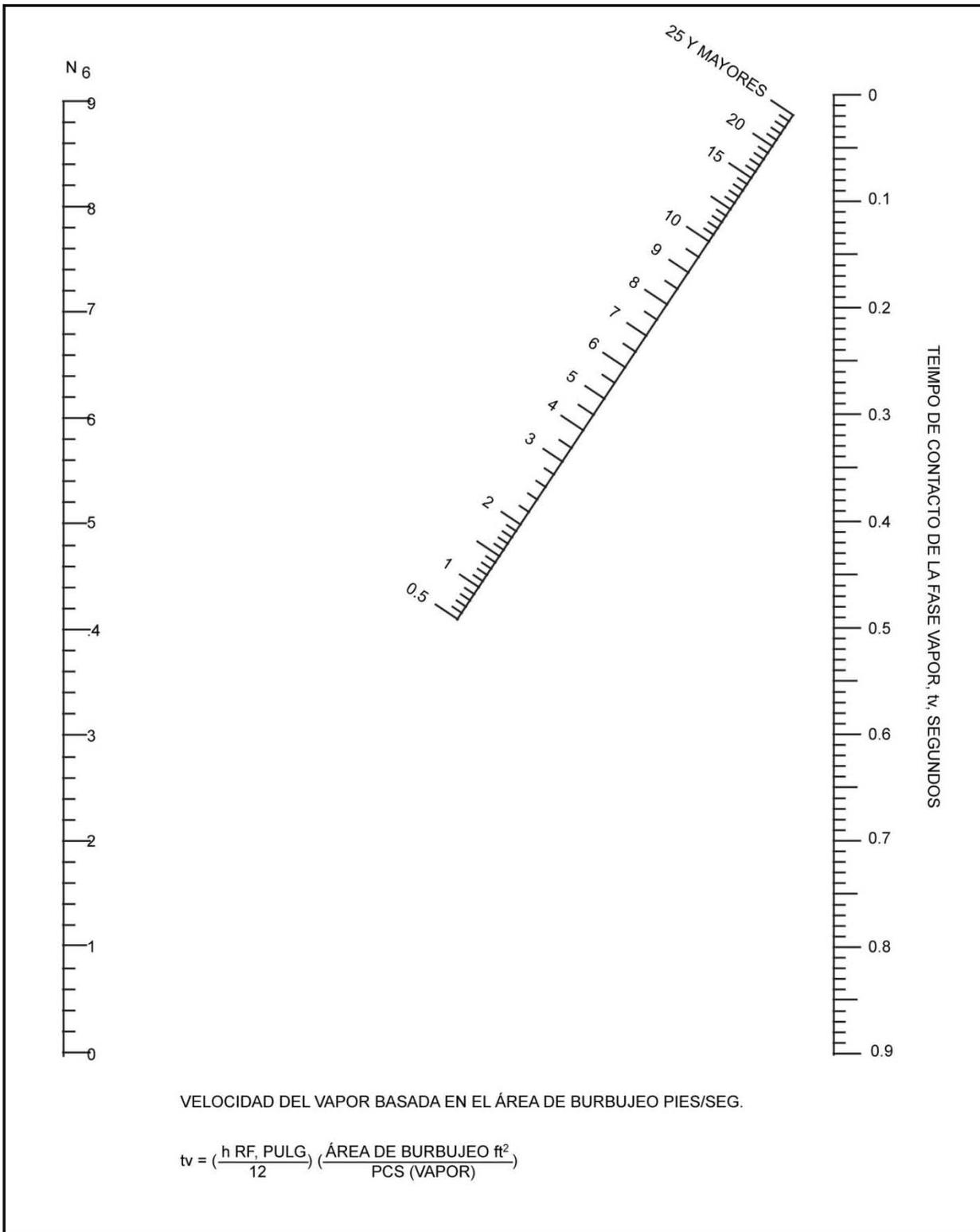
Pero si fuera el caso contrario, que no hubiera mezclado y el líquido fluyera en flujo tapón a través del plato, la equivalencia entre EMV y EOG la daría la expresión:

$$EMV = (exp(\lambda EOG) - 1) \frac{1}{\lambda}$$

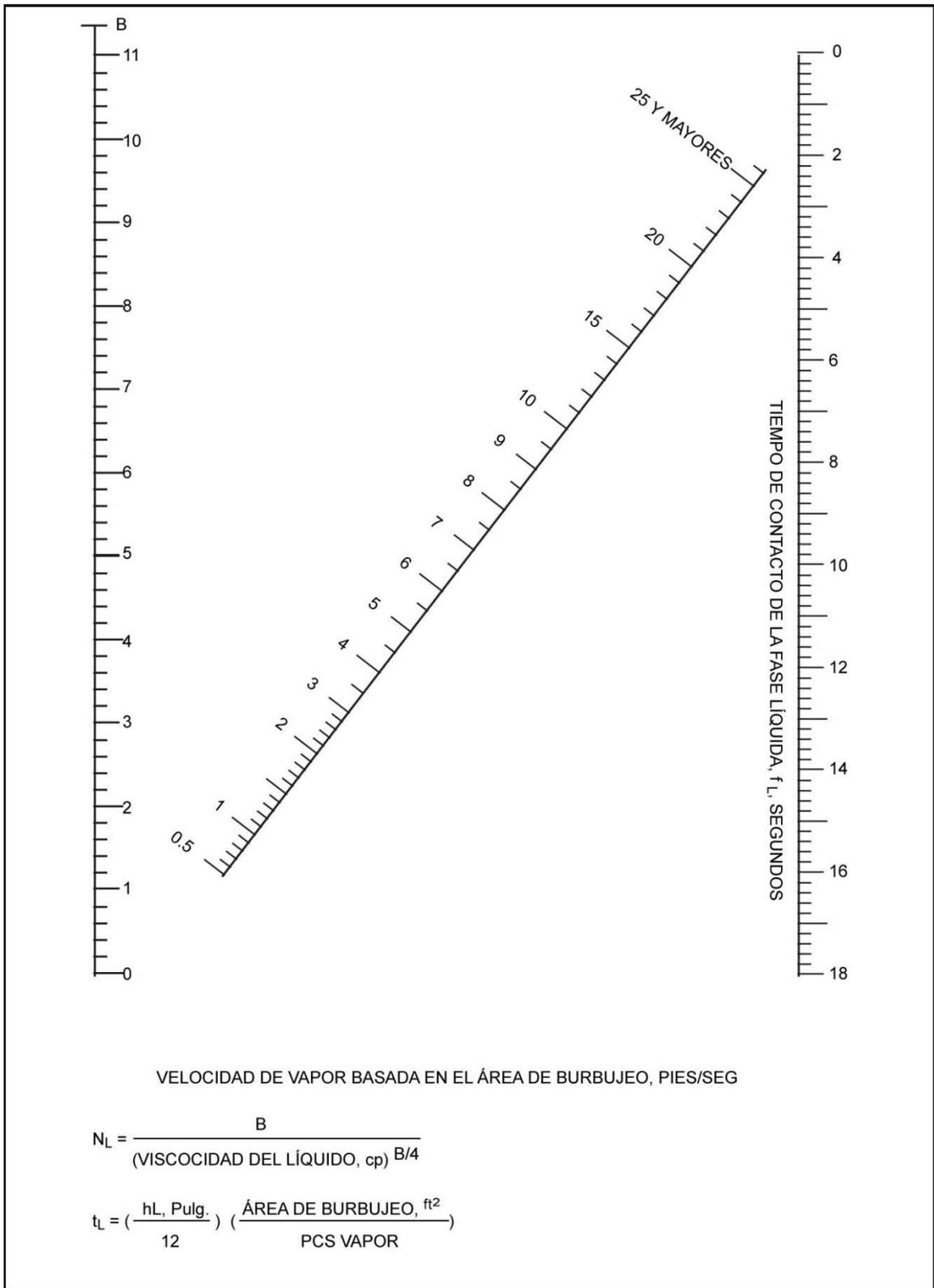
La eficiencia de plato de Murphree debe corregirse por el efecto del arrastre sobre la eficiencia, para ello se emplea la ecuación.

$$E_a = \frac{Emv}{1 + Emv \left( \frac{\Psi}{1 - \Psi} \right)}$$

El factor  $\Psi$ , arrastre fraccional, se obtiene de la figura 4.15.



**FIG. 4.13 NUMERO DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA, EN FASE VAPOR PARA PLATOS CACHUCHAS**



**FIG. 4.14 NUMERO DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA, EN FASE LIQUIDA PARA PLATOS DE CACHUCHAS**

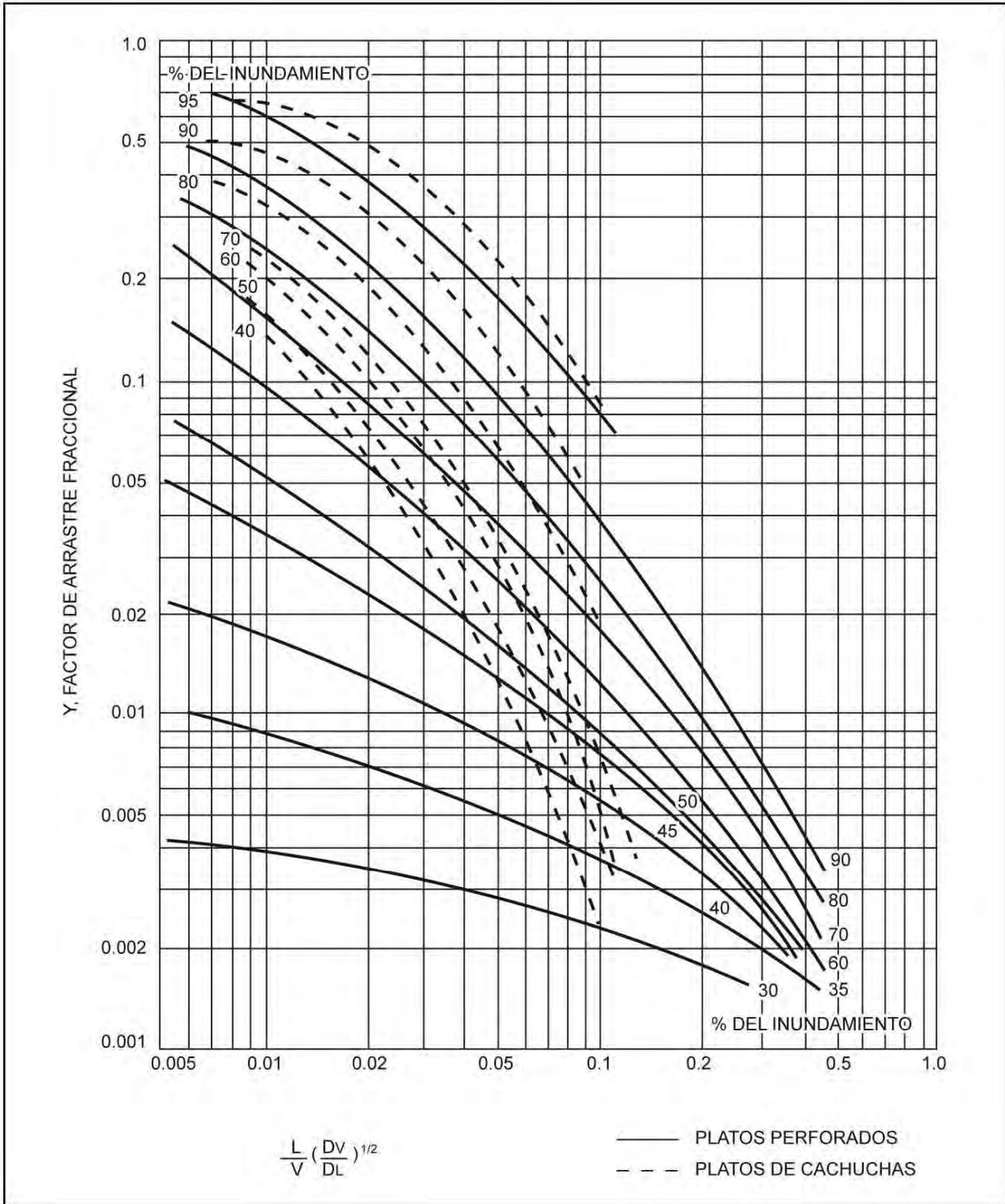


FIG. 4.15 CORRELACIÓN DE ARRASTRE

La eficiencia de Murphree corregida por arrastre,  $E_a$ , se transforma a una eficiencia global para la columna mediante la expresión:

$$E_o = \frac{\log(1 + E_a(\lambda - 1))}{\log \lambda}$$

Como este método aplica para platos de cachuchas de burbujeo únicamente, para propósitos de un diseño preliminar la eficiencia de otros tipos de platos puede estimarse mediante los factores que se enlistan a continuación:

TIPO DE PLATO	EFICIENCIA RELATIVA
Cachuchas	1.0
Perforado	1.1
Valvulado	1.1 – 1.2
Turbogrid	0.8
Kittel	1.0

Otra forma de determinar la eficiencia global de una columna es fijando el valor por medio de una analogía de acuerdo al servicio y basándose en la experiencia de operación. Este es el procedimiento más recomendable por ser económico y confiable. A continuación se enlistan algunas eficiencias para diferentes servicios:

SERVICIO	EFICIENCIA %
Desmetanizadora	50
Desetanizadora	70
Despropanizadora	70
Desbutanizadora	65
Despentanizadora	60
Benceno-Tolueno	80
Desisobutenizadora	78
Destilación Atmosférica de crudo	70
Destilación a Vacío de fracciones pesadas	50
Separación de Propano-I Buteno	71
Absorbedora y Agotadora de Butenos con aceite absorbente (BTX)	45

Eficiencias de plato que pueden correlacionarse para obtener eficiencias globales de columna empleando la ecuación que para ello se propone en el inciso anterior, son las siguientes:

SERVICIO	EFICIENCIA %
Desbutanizadora	59
Desisobutanizadora	77
Desisopentanizadora	64
Despropanizadora	66

Fraccionadora de Naftas	65
Fraccionadora de Gasolinas	82
Estabilizadora de Unidades de Craqueo	82

También puede obtenerse la eficiencia global de una columna, extrapolando los valores obtenidos en columnas a escala de planta piloto y empleando algún método como el desarrollado por Finch y Van Winkle que se describe en “Distillation” de Van Winkle, pág. 559.

Para platos de válvulas, los fabricantes en sus manuales de diseño presentan correlaciones mediante las cuales se pueden estimar la eficiencia de sus dispositivos.

En ocasiones se obtienen eficiencias superiores al 100%. Esto se deberá a que los cálculos de eficiencia estén basados en muestras de vapor y/o de líquido no representativos.

Por otra parte, si la columna es operada a una velocidad superficial del vapor tal que se mantenga una espuma que proporcione un área interfacial y tiempo de contacto adicionales a los del plato se obtendrán eficiencias superiores al 100% mientras no ocurra el arrastre.

## **CAPITULO 5.**

# **METODOLOGÍA DE CALCULO** **DE LOS PRINCIPALES** **FABRICANTES DE PLATOS** **VALVULADOS.**

**CAPITULO 5. METODOLOGÍA DE CALCULO DE LOS PRINCIPALES FABRICANTES DE PLATOS VALVULADOS.**

**5.1 DIMENSIONAMIENTO DE KOCH-GLITSCH USANDO PLATOS "BALLAST" <sup>(1) (3) (14) (17)</sup>.**

G.1 Disponer de la información requerida para el diseño como son: Flujos y densidades del líquido y vapor a las condiciones de operación de la columna. Además se requiere conocer la tendencia espumante del sistema para seleccionar un adecuado factor del sistema.

Calcular el factor carga de vapor,  $V_{LOAD}$  .

$$V_{LOAD} = CFS(D_V/(D_L - D_V))^{1/2} \dots\dots\dots(5.1)$$

Donde:

$CFS$  = pies cúbicos por segundo de vapor

$D_V$  = densidad del vapor, lb/pie<sup>3</sup>

$D_L$  = densidad del líquido, lb/pie<sup>3</sup>

G.2 Fijar un espaciamiento entre los platos, para estimar el número de pasos y el diámetro de la columna mediante la correlación mostrada en la figura 5.1 y seleccionar el valor del factor de inundamiento, F.F.

Koch-Glitsch recomienda los siguientes factores:

Para servicios en general	FF = 0.82
Para columnas que operan al vacío	FF = 0.77
Para columnas de diámetro inferior a 3 pies	FF = 0.65 – 0.75

Con estos valores se tendrá un arrastre menor al 10%.

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

G.3 Evaluar la longitud aproximada de la trayectoria de flujo (FPL):

$$FPL = 9 DT/NP$$

FPL = Longitud de la trayectoria de flujo, pulg.

DT = diámetro de la columna, pies.

NP = número de pasos del plato.

#### G.4 Factor capacidad del vapor, CAF.

Este factor puede obtenerse de la siguiente ecuación:

$$\text{CAF} = \text{CAFo (FS)} \dots\dots\dots (5.2)$$

CAFo = Factor capacidad del vapor no corregido por las tendencias espumantes del sistema.

FS = Factor del sistema.

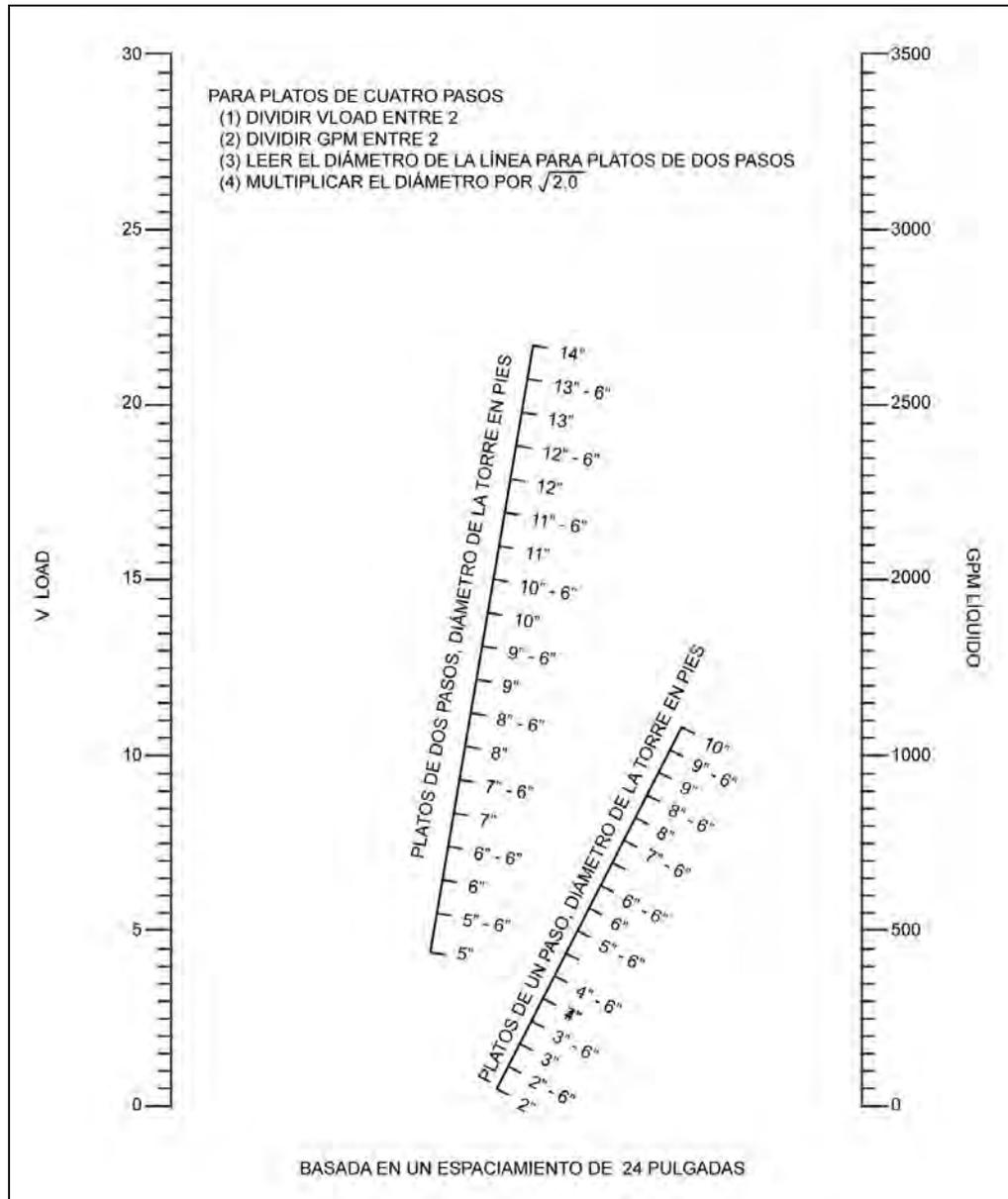
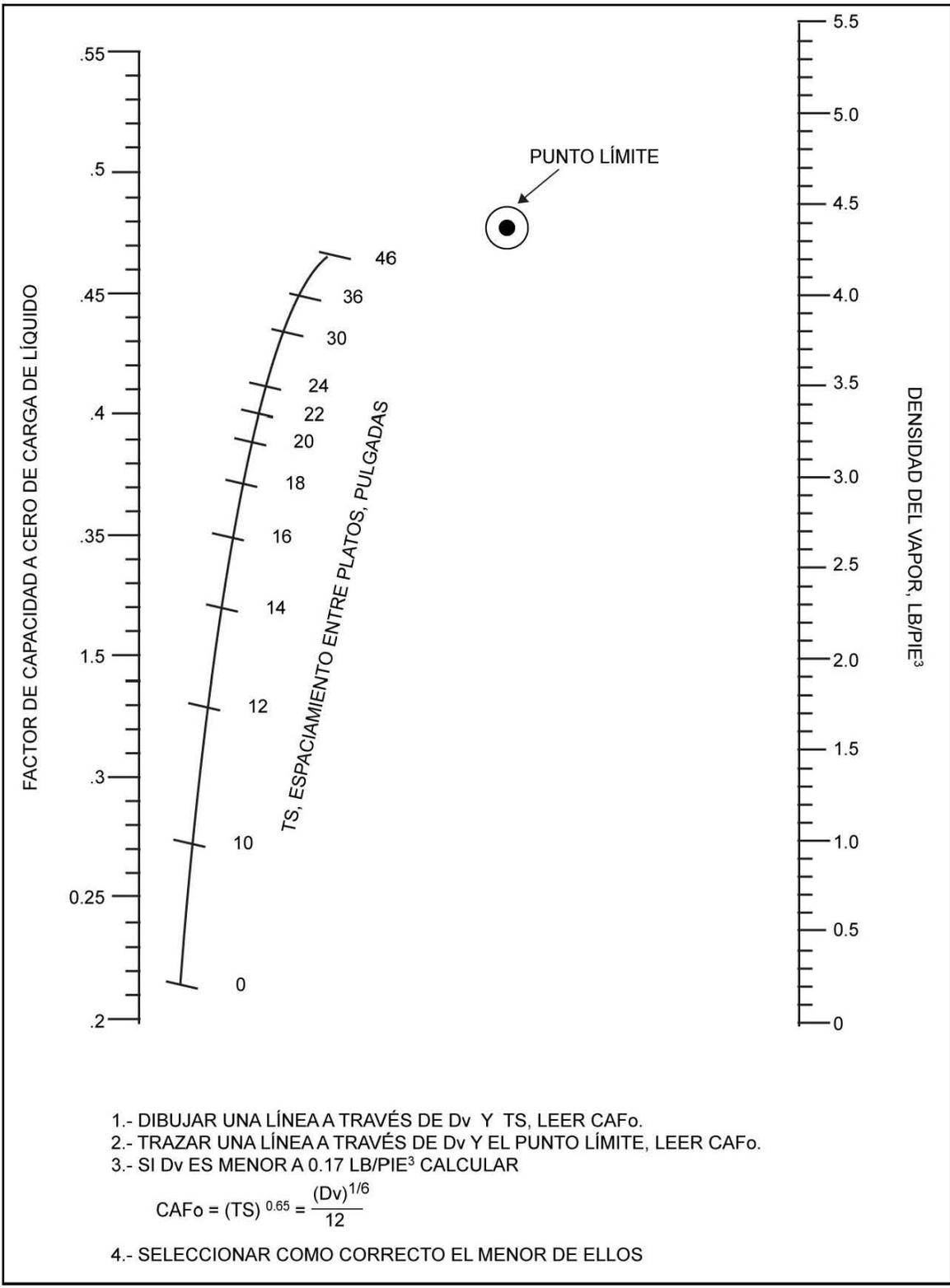


FIG. 5.1 DIÁMETRO DE LOS PLATOS "BALLAST"



**FIG. 5.2 CAPACIDAD DE LOS PLATOS "BALLAST"**

Tabla G.1 Factores del sistema.

Tendencias espumantes del Sistema	Factor del Sistema
NULA, sistemas que manejan hidrocarburos	1.0
BAJA, sistemas con fluoruros como $BF_3$ , FREON, etc.	0.9
MODERADA, como regeneradores de aminas y glicoles	0.85
ALTA, absorbedores de aminas y de glicoles	0.73
SEVERA, como las unidades que manejan metil etilcetona.	0.6
Sistemas con espuma estable como los regeneradores cáusticos.	0.3

CAFo puede obtenerse de las figuras 5.2 ó 5.3; se multiplica por el factor del sistema para obtener un valor corregido por espumado.

La cantidad de arrastre generada se incrementa conforme disminuye la densidad del vapor. En columnas a vacío la cantidad de arrastre producida causa una reducción en el factor de capacidad comparado con el que podría obtenerse para densidades mayores. Este efecto está considerado por la ecuación 3 de la figura 5.2.

La figura 5.3 muestra la misma relación que la figura 5.2, pero se recomienda su empleo para servicios a elevadas presiones en los que la densidad del vapor es muy elevada, ya que la línea límite podrá extrapolarse, siempre que la densidad del líquido sea mayor a 35 lb/pe<sup>3</sup>. Resumiendo, para servicios a vacío ó a presiones moderadas emplear la figura 5.2 y para servicios a presión (en los que la densidad del vapor es alta) usar la figura 5.3.

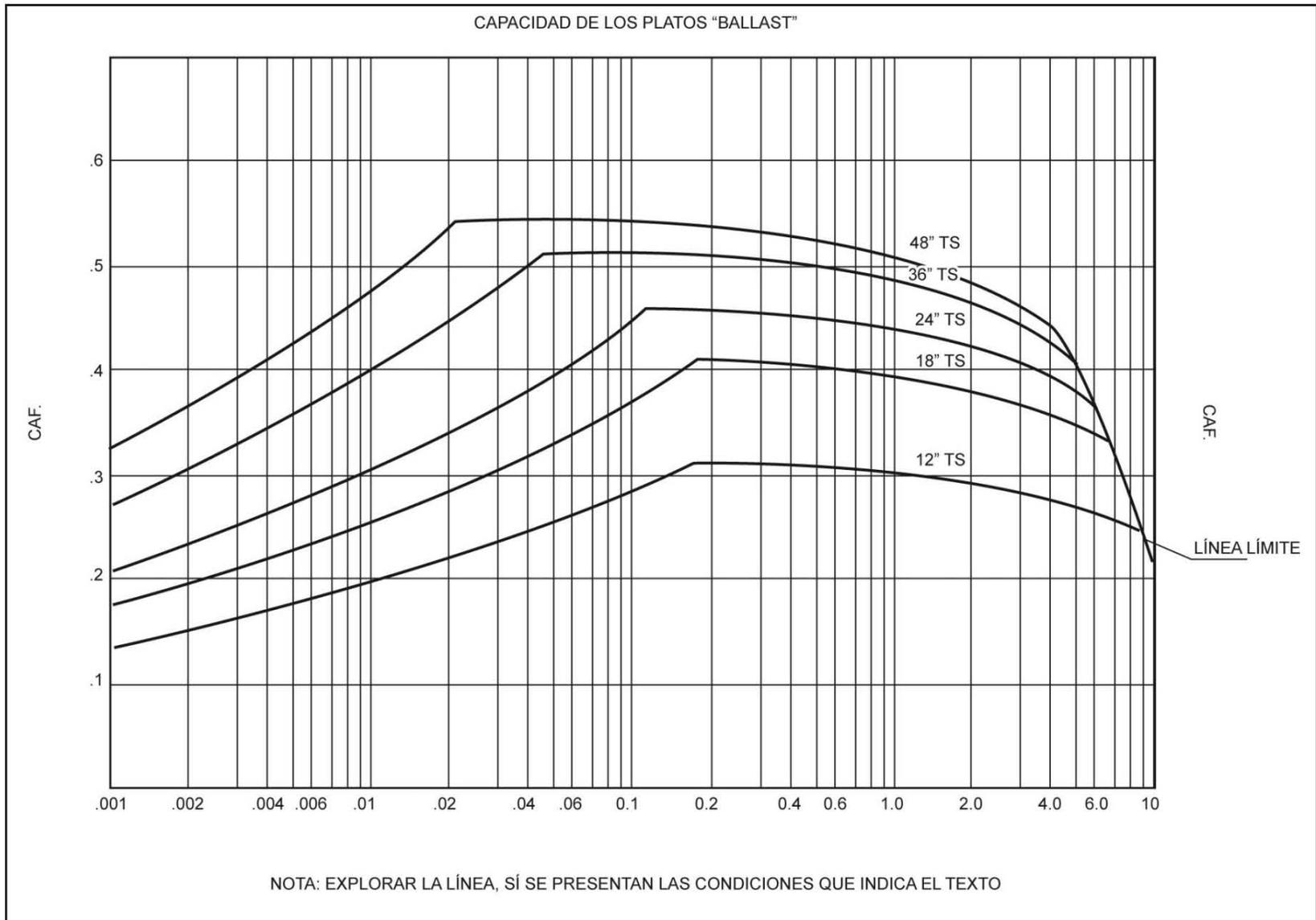
G.5 Área Activa Mínima, AAM.

$$AAM = \frac{V_{LOAD} + GPM(FPL/13000)}{(CAF)FF} \dots\dots\dots(5.3)$$

Debe evaluarse para el plato que maneje los mayores flujos de la sección.

AAM = Área activa mínima, pies<sup>2</sup>

FIG. 5.3 CAPACIDAD DE LOS PLATOS "BALLAST"



G.6 Velocidad de diseño en la bajante,  $VD_{DSG}$

Para disminuir las bajantes puede emplearse un tiempo de residencia o bien una velocidad máxima permisible. El procedimiento empleado por Koch-Glitsch para establecer el área de bajantes se basa en una velocidad dada por el menor de los valores obtenidos de las siguientes expresiones.

$$VD_{DSG} = 250(FS) \dots\dots\dots(5.4a)$$

$$VD_{DSG} = 41(D_L - D_V)^{1/2}(FS) \dots\dots\dots(5.4b)$$

$$VD_{DSG} = 7.5(TS)^{1/2}(D_L - D_V)^{1/2}(FS) \dots\dots\dots(5.4c)$$

Donde:

TS = espaciamiento entre los platos, pulgadas.

$D_L$  = densidad del líquido, lb/pie<sup>3</sup>

$D_V$  = densidad del vapor, lb/pie<sup>3</sup>

FS = factor del sistema

$VD_{DSG}$  = velocidad de diseño en la bajante, GPM/pie<sup>2</sup>

G.7 Área Mínima de Bajantes, ADM.

El área mínima de bajantes es función del flujo de líquido, la velocidad de diseño en la bajante y del factor de inundamiento. Debe determinarse para el plato que maneje la mayor carga de líquido en la sección, el cual no necesariamente es el mismo que requiere la mayor área activa.

$$ADM = \frac{GPM}{(VD_{DSG}(FF))} \dots\dots\dots(5.5)$$

ADM = área mínima de bajantes, pie<sup>2</sup>

$VD_{DSG}$  = velocidad de diseño en la bajante, GPM/pie<sup>2</sup>

FF = factor de inundamiento

Si el área calculada con la ecuación anterior es menor que el 11% del área activa mínima, emplear la menor de las siguientes:

$$ADM = 0.11 (AAM) \dots\dots\dots(5.6)$$

ADM = 2 (ADM de la ecuación 5.5)

G.8 Área Mínima de la columna, ATM.

El área transversal mínima de la columna puede estimarse con las siguientes ecuaciones:

$$ATM = AAM + 2 ADM \dots\dots\dots(5.7)$$

$$ATM = V_{LOAD} / (0.78 \times CAF \times FF) \dots\dots\dots(5.8)$$

ATM = área transversal mínima de la columna, pies<sup>2</sup>

El mayor valor aplica.

G.9 Diámetro mínimo de la columna.

Se calcula a partir del área mínima de la torre

DTM = pies

DTM se redondea al medio pie próximo superior y entonces será igual al diámetro de la columna, DT.

El diámetro de la torre es el estimado con la ecuación 5.9 ó puede ser otro valor; por ejemplo, el de una columna ya construida. Si éste es el caso y el área de la columna es menor que el área mínima calculada, debe hacerse un diseño a capacidad máxima; si es mayor que la mínima puede hacerse un diseño a mínimo costo ó a máxima capacidad.

Un diseño a mínimo costo se obtiene haciendo el área activa igual al área activa mínima, el área restante de la columna se destina al área de bajantes y al área de sello de las mismas. O bien, de la columna existente pueden reutilizarse las bajantes, pero siempre que ni el área activa ni las bajantes sean demasiado pequeñas comparadas con las mínimas requeridas.

Un diseño a capacidad máxima proporciona la mayor eficiencia, se obtiene distribuyendo las áreas activas y de bajantes de tal forma que el porcentaje de inundamiento para la carga de vapor sea igual al porcentaje de inundamiento para la carga de líquido. Si no se especifica lo contrario, es el tipo de diseño que emplea Glitsch para nuevas columnas.

Calcular el área de la columna, AT.

$$AT = \frac{\pi}{4} (DT)^2 \dots\dots\dots(5.10)$$

AT = pies<sup>2</sup>

G.10 Calcular el área total de bajantes, AD.

Para un diseño a capacidad máxima, se calcula como sigue:

$$AD = \frac{(AT) ADM}{ATM} \dots\dots\dots(5.11)$$

AD = Área total de bajantes, pies<sup>2</sup>

El área de bajantes es como mínimo, alrededor del 10% del área de la columna. Sin embargo, si el flujo de líquido es inusualmente bajo, un área más pequeña podrá emplearse si ésta es al menos el doble del área mínima de bajantes calculada.

G.11 Anchura de Bajantes

Habiendo establecido el diámetro de la columna y el área de bajantes, un croquis del plato es útil para fijar las dimensiones restantes. En la figura 5.4 se muestran esquemas típicos para platos de uno a cinco pasos. En esta figura los términos  $H_1, H_3, H_5$  y  $H_7$  se emplean para designar la anchura en pulgadas de las bajantes lateral, central, intermedia hacia el centro e intermedia hacia afuera respectivamente. Las áreas correspondientes a la parte superior de las bajantes se designan como  $A_1, A_3, A_5$  y  $A_7$  para la anchura de bajante correspondiente. El área total de bajantes debe dividirse entre las bajantes de los platos de varios pasos proporcionalmente al flujo de líquido que manejan y al área activa disponible. Para torres de gran diámetro teniendo varios pasos, el área activa de cada trayectoria de flujo debe ser la misma y la longitud de los derramaderos se ajustará para que fluya sobre ellos igual carga de líquido. La tabla G.2 es útil para distribuir el área de bajantes de acuerdo a lo señalado anteriormente. Así por ejemplo, cada una de las bajantes laterales de un plato de cuatro pasos tendrá un área de aproximadamente el 25% del área total de bajantes.

TABLA G.2							
DISTRIBUCIÓN DEL AREA DE BAJANTES Y FACTORES PARA LA ANCHURA DE BAJANTES							
Fracción del Área Total de Bajantes				Factores de anchura, WF			
Pasos	$AD_1$	$AD_3$	$AD_5$	$AD_7$	$H_3$	$H_5$	$H_7$
2	0.50 c/u	1.00	-	-	12.0	-	-
3	0.34	-	0.66	-	-	8.63	-
4	0.25 c/u	0.5	0.50 c/u	-	6.9	6.78 c/u	-
5	0.20	-	0.40	0.40	-	5.66	5.5

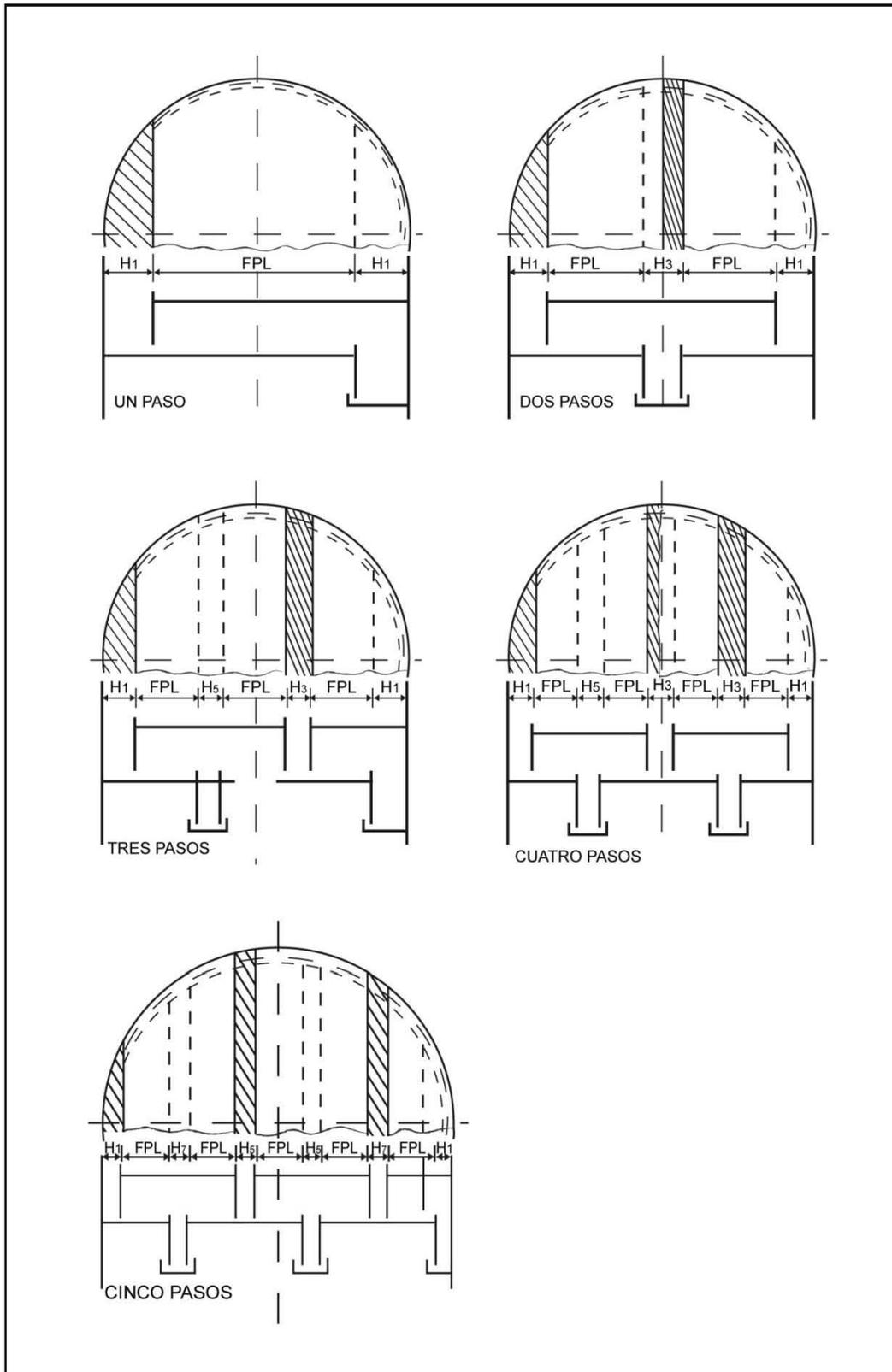


FIG. 5.4

La anchura de las bajantes laterales puede obtenerse de la tabla de funciones segmentales (tabla G.3). Una estimación precisa de la anchura de una bajante que no sea lateral puede obtenerse al sustituir los factores de anchura de la tabla G.2 en la ecuación

$$H_i = (WF)AD/DT \dots\dots\dots(5.12)$$

Donde:

$H_i$  = Anchura de la bajante, pulgadas.

AD = Área total de bajantes, pies<sup>2</sup>.

DT = Diámetro de la torre, pies.

WF = factor de anchura, de la tabla G.2.

G.12 La anchura de las bajantes usualmente se ajusta para dar una longitud modular a la trayectoria de flujo. Para propósitos preliminares la longitud de la trayectoria de flujo se hace igual a 8.5 pulgadas más un múltiplo de 1.5 pulgadas. La longitud de la trayectoria de flujo se calcula con la ecuación 5.13 y después se ajustan las anchuras de bajantes para tener una longitud modular.

$$FPL = \frac{12 DT - (2H_1 + H_3 + 2H_5 + 2H_7)}{NP} \dots\dots\dots(5.13)$$

DT en pies y  $H_i$  en pulg.

Si se requiere de un manway en el plato la mínima longitud de la trayectoria de flujo serán 16 pulgadas. Algunos servicios tienen tan alta carga de líquido relativa a la carga de vapor que la longitud de la trayectoria de flujo mínima de 16 pulgadas puede hacer necesario emplear una torre de mayor diámetro que el calculado por la ecuación 5.9. Para esta condición la mínima área de bajantes requerida y la longitud mínima de la trayectoria de flujo establecen el diseño de menor costo.

G.13 Cálculo del Área de Bajantes

Con las anchuras de bajantes ajustadas a sus dimensiones modulares, o establecidas por otras consideraciones (bajantes ya construidas), el área real de las bajantes laterales puede calcularse empleando la tabla G.3 y para el área de las bajantes centrales, intermedias hacia el centro e intermedias hacia afuera se empleará la siguiente ecuación:

$$AD_i = (H_i)(SF)(DT/12) \dots\dots\dots(5.14)$$

Donde:

$AD_i$  = Área de la bajante, pies<sup>2</sup>.

$H_i$  = Anchura de la bajante, pulgadas.

$SF$  = Factor de extensión, fraccionario.

$DT$  = Diámetro de la torre, pies.

El factor de extensión empleado en esta ecuación es la distancia de pared a pared en el punto medio de la bajante, expresada como una fracción del diámetro de la torre. La tabla G.4 da factores de extensión y es además útil para estimar longitudes de derramadero.

TABLA G.4			
FACTORES DE EXTENSIÓN APROXIMADOS, S.F.			
FRACCIÓN DE DIAMETRO DE LA COLUMNA			
Pasos	$H_3$	$H_5$	$H_7$
2	1.00	-	-
3	-	0.95	-
4	1.00	0.885	-
5	-	0.98	0.88

El área de bajantes de los platos nones es algo diferente que la de los platos pares en los platos de dos y cuatro pasos. Un valor promedio puede emplearse como el área total de bajantes para cálculos posteriores.

#### G.14 AREA ACTIVA

El área activa es el área disponible para unidades “Ballast” entre los bordes de entrada y salida del plato. Cualquiera de las siguientes dos ecuaciones aplica para bajantes rectas ó inclinadas con charola de sello a la entrada.

$$AA = AT - (2AD_1 + AD_3 + 2AD_5 + 2AD_7) \dots\dots\dots(5.15)$$

$$AA = AT - 2AD_{AVG} \dots\dots\dots(5.16)$$

$AD_{AVG}$  es el promedio de las áreas de bajantes de los platos nones y pares.

#### G.15 Porcentaje de Inundamiento para una relación $\frac{V}{L}$ constante para la carga de vapor.

La carga de vapor de diseño expresada como un porcentaje de la carga de vapor en el punto de inundamiento puede calcularse con las ecuaciones 5.17 y 5.18. El mayor valor aplica.

$$\frac{\% FLOOD}{100} = \frac{V_{LOAD} + GPM (FPL/13000)}{(AA) CAF} \dots\dots\dots(5.17)$$

$$\frac{\% FLOOD}{100} = \frac{V_{LOAD}}{(AT) (CAF)^{0.78}} \dots\dots\dots(5.18)$$

Las siguientes ecuaciones pueden emplearse en columnas donde las bajantes son inusualmente pequeñas en relación al área de bajantes requerida, como por ejemplo al emplear una columna ya existente para un nuevo servicio.

$$\frac{\% FLOOD}{100} = \left( \frac{V_{LOAD}}{(AA * CAF - AD * VD_{DSG} * FPL/13000) DLF} \right)^{0.625} \dots\dots\dots(5.19)$$

$$DLF = (AD * VD_{DSG} / GPM)^{0.6} \dots\dots\dots(5.20)$$

DLF es el factor de carga en la bajante y será menor que la unidad si el área de bajantes es menor que la requerida. La ecuación 5.19 también puede aplicarse a condiciones en las que el área de bajantes sea mayor que la requerida; pero el valor máximo que puede tener el término DLF es 1.2. Las ecuaciones 5.17 y 5.18 son las más comúnmente empleadas para estimar el % FLOOD del plato.

G.16 Cálculo del porcentaje de inundamiento en las bajantes para la carga de líquido.

$$\frac{\% FLOOD DC}{100} = \frac{GPM}{VD_{DSG} * AD}$$

En un plato bien diseñado el % FLOOD y el % FLOOD DC serán similares. La excepción son los servicios a vacío en los cuales el flujo de líquido es muy pequeño comparado con el de vapor, en estos casos no es posible tener un diseño balanceado y basta con checar que el % FLOOD no exceda los límites recomendados.

G.17 Si los porcentajes de inundamiento no están balanceados y son muy diferentes (más del 10%), se corregirán el área de la columna y el área de bajantes mediante las relaciones:

$$\frac{D_{NVO}^2}{D^2} = \frac{\% FLOOD}{\% FLOOD FACTOR} \dots\dots\dots(5.22)$$

$$\frac{AD_{NVO}}{ADC} = \frac{\% FLOOD DC}{\% FLOOD FACTOR} \dots\dots\dots(5.23)$$

Una vez hecho lo anterior, calcular el área de la columna y retornar al paso G.11 para proseguir la secuencia, esto se repite hasta tener balanceadas las inundaciones.

Cuando las inundaciones no sean mayores al factor de inundamiento, la diferencia entre ellos sea menor al 10% y aún se deseen balancear las inundaciones, se deberán emplear las siguientes ecuaciones:

$$\% F_{AVE} = \frac{\% F + \% F_{DC}}{2} \dots\dots\dots(5.24)$$

Para cuando %F > %FDC

$$\frac{AD_{NVO}}{AD} = \frac{\% F_{AVE}}{FLOOD\ FACTOR} \dots\dots\dots(5.25)$$

Para cuando %F DC > %F

$$\frac{AD_{NVO}}{AD} = \frac{FLOOD\ FACTOR}{\% F_{AVE}} \dots\dots\dots(5.26)$$

G.18 Anchura de la trayectoria de flujo, WFP.

$$WFP = AA * 144 / FPL \dots\dots\dots(5.27)$$

WFP = Pulg.

AA = pies<sup>2</sup>.

FPL = Pulg.

G.19 Número aproximado de válvulas en el plato

El número de unidades “Ballast” que pueden colocarse dentro del área activa (NU) es el número de filas de válvulas multiplicado por el número promedio de válvulas por fila, corrigiendo por las válvulas que no pueden acomodarse a causa de la entrada de hombre. Puede estimarse con las ecuaciones que se señalan a continuación:

- Con las canales de soporte paralelas al flujo de líquido.

$$\text{Número de filas} = \left( \frac{FPL - 8.5}{0.5 * Base} + 1 \right) (NP) \dots\dots\dots(5.28)$$

$$\text{Número de Válvulas/Fila} = \frac{WFP}{5.75 NP} - 0.8 \text{ (Número de } V_i + 1) \dots\dots\dots(5.29)$$

- Con las canales de soporte perpendiculares al flujo de líquido.

$$\text{Número de filas} = \left( \frac{FPL - 1.75 * \text{número de canales} - 6.0}{2.5} \right) (NP) \dots\dots\dots(5.30)$$

$$\text{Número de Válvulas/Fila} = \frac{WFP}{Base * NP} - 2 \text{ (Número de } V_i + 1) \dots\dots\dots(5.31)$$

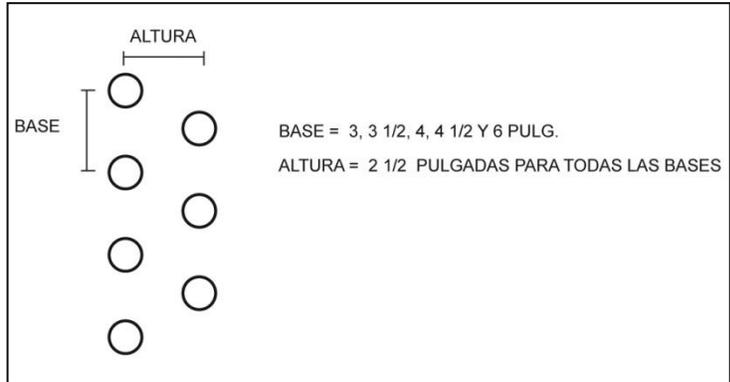
Donde:

FPL = Longitud de la trayectoria de flujo, pulgadas.

WFP = Anchura de la trayectoria de flujo, pulgadas.

NP = Número de pasos.

BASE = Distancia entre perforaciones, tal como se muestra en la figura.



Habrá aproximadamente de 12 a 14 válvulas por pie cuadrado de área activa usando una base de 3 pulgadas. Se tendrán menos unidades si se omiten filas  si se cambia la base por otra de las dimensiones estándar.

Las canales de soporte son usualmente paralelas al flujo de líquido en columnas sin viga soporte, como son las menores a 12 pies de diámetro. Restar 12 válvulas por paso por pérdidas en la entrada de hombre si la longitud de la trayectoria de flujo es mayor que 43 pulgadas. Las canales de soporte son perpendiculares al flujo de líquido en platos con viga soporte, restar 6 unidades "Ballast" por la entrada de hombre.

Los derramaderos escalonados  de relevo disminuyen la cantidad de válvulas que pueden colocarse en el área activa del plato.

G.20 rea Perforada. El rea usada en el cálculo de la velocidad a través de las perforaciones a emplearse en la evaluación de la caída de presión del plato seco se estima mediante la siguiente ecuación:

$$A_H = NU/78.5 \dots\dots\dots(5.32)$$

Donde:

NU = número total de unidades Ballast

$A_H$  = rea perforada, pies<sup>2</sup>

G.21 Evaluar el término  $V_H^2 \frac{D_V}{D_L}$

$$V_H = \frac{PCS Vapor}{A_H} \dots\dots\dots(5.33)$$

$V_H$  = Velocidad del vapor a través del área perforada, pps.

G.22 Seleccionar un tipo de válvula de acuerdo al tipo de servicio y a la flexibilidad deseados, ver capítulo 4.

Se recomienda checar la decisión con lo indicado en el capítulo 4 en el inciso de caída de presión total del plato.

G.23 Caída de presión del Plato seco

La capacidad de los platos “Ballast” es además función de la caída de presión del plato seco. Columnas con una longitud de la trayectoria de flujo muy corta, columnas con pequeño diámetro, ó columnas con obstrucciones en el área activa tendrán menos válvulas por pie<sup>2</sup> de área activa que las columnas sin estas limitantes. El número de unidades “Ballast” usadas en un plato puede reducirse también para obtener un diseño a costo mínimo ó por razones de proceso como sería el obtener una operación eficiente a flujos de vapor muy reducidos.

La caída de presión del plato seco para los platos de válvulas de los tipos mas empleados, V-1 y V-4, puede obtenerse de la figura 5.5. El nomograma está basado en una densidad del metal de la válvula de 510 lb/pie<sup>3</sup>.

Las siguientes ecuaciones pueden emplearse a condiciones no cubiertas por el nomograma. El mayor valor aplica.

$$\Delta P_{DRY} = 1.35 t_m D_M/D_L + K_1 V_H^2 D_V/D_L \dots\dots\dots(5.34)$$

$$\Delta P_{DRY} = K_2 V_H^2 D_V/D_L \dots\dots\dots(5.35)$$

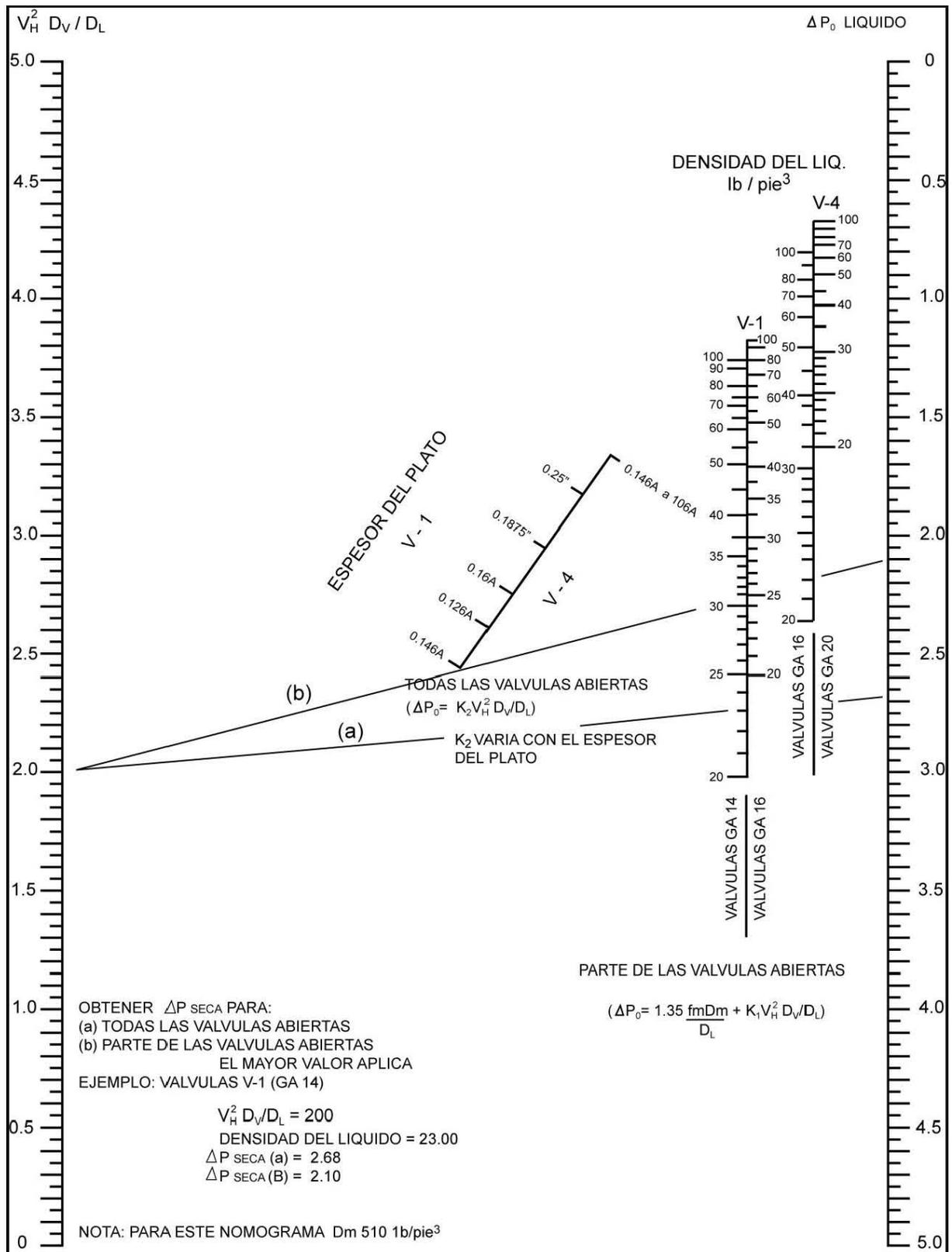


FIG. 5.5 CAIDA DE PRESIÓN SECA PARA PLATOS BALLAST TIPO V-1 Y V-4

Si el mayor de los valores se obtiene de la ecuación 5.34 las válvulas están parcialmente abiertas, si de la ecuación 5.35 todas las válvulas están abiertas.

$\Delta P_{DRY}$  = Pulgadas de líquido

$t_m$  = Espesor de la válvula, pulgadas.

$D_M$  = Densidad del metal de la válvula, lb/pie<sup>3</sup>

$K_1, K_2$  = Coeficientes de las ecuaciones de caída de presión

$V_H$  = Velocidad a través de las perforaciones, pps.

COEFICIENTES DE CAIDA DE PRESION					
$K_2$ PARA PLATOS CON ESPESOR DE					
TIPO DE VALVULA	K1	0.074"	0.104"	0.134"	0.25"
V-1	0.2	1.05	0.92	0.82	0.58
V-2	0.1	0.50	0.50	0.50	No disponible

ESPESORES	
CALIBRE	PULGADAS
20	0.037
18	0.050
16	0.060
14	0.074
12	0.104
10	0.134

MATERIAL DE LA VALVULA	
METAL	DENSIDAD, lb/PIE <sup>3</sup>
Acero al Carbón	480
Acero Inoxidable	510
Níquel	553
Monel 400	550
Titanio	283
Hastelloy	560
Aluminio	168
Cobre	560
Plomo	708

#### G.24 Caída de Presión total del Plato

Se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \Delta P_{DRY} + 0.4(GPM/L_{Wi})^{2/3} + 0.4 h_W \dots\dots\dots(5.36)$$

$\Delta P$  = Caída de presión total, pulgadas de líquido

$h_w$  = Altura del derramadero, pulgadas.

$L_{wi}$  = Longitud del derramadero, pulgadas.

Para la mayoría de los servicios se emplean derramaderos con 2 pulgadas de altura. Para servicios a vacío se recomienda emplear una altura mínima de ¼ de pulgada. Cuando se requiere un alto tiempo de residencia como en los servicios con reacción química se han empleado alturas hasta de 6 pulgadas.

Si la altura del derramadero es mayor al 15% del espaciamiento entre los platos, el espaciamiento efectivo a fin de calcular el porcentaje de inundamiento debe reducirse por lo que exceda la altura del derramadero al 15% del espaciamiento de los platos.

Las longitudes del derramadero pueden obtenerse de la tabla G.3. Para calcular la caída de presión en platos de dos o cuatro pasos debe emplearse una longitud de derramadero que sea el promedio de la de los platos nones y los pares. Para disminuir la caída de presión puede aumentarse la longitud del derramadero mediante el empleo de derramaderos escalonados.

$$\Delta P, \text{psi} = (\Delta P, \text{pulgadas de líquido})D_L/1728 \dots\dots\dots(5.37)$$

$$\Delta P, \text{mmHg} = (\Delta P, \text{pulgadas de líquido})D_L/33.3 \dots\dots\dots(5.38)$$

$$\Delta P, \text{pulg } H_2O = (\Delta P, \text{pulgadas de líquido})D_L/62.4 \dots\dots\dots(5.39)$$

#### G.25 Carga Perdida bajo la Bajante, $H_{UD}$

Para evaluar la velocidad del líquido bajo la bajante se empleará el área mas restringida del fondo de ésta. Esta área se denomina  $A_{UD}$  y se establece comúnmente fijando el claro bajo la bajante como ½ pulgada menos que la altura del derramadero de salida. Si se tuviera una excesiva retención en la bajante se recomienda emplear charolas de sello que permitirán usar mayores claros bajo la bajante.

Carga perdida bajo la bajante,  $H_{UD}$

$$A_{UD} = 0.65(V_{UD})^2 = 0.65(PCS_{L/Q}/AUD)^2 \dots\dots\dots(5.40)$$

$H_{UD}$  = Carga perdida bajo la bajante, pulgadas de líquido

$V_{UD}$  = Velocidad del líquido bajo la bajante, pps

$A_{UD}$  = Área bajo la bajante, pies<sup>2</sup>

G.26 Retención de Líquido en la bajante, DCBU

La retención en la bajante no debe exceder al 40% de espaciamento entre platos, para sistemas con densidades del vapor mayores a 3 lb/pie³, 50% para densidades de vapor entre 1 y 3 lb/pie³ y 60% para densidades del vapor menores a 1 lb/pie³. De lo contrario las bajantes serán incapaces de manejar los flujos de líquido y la columna se inundará.

$$H_{DC} = h_w + 0.4(GPM/L_{wi})^{2/3} + (\Delta P + H_{UD})(D_L/(D_L - D_V)) \dots\dots\dots(5.41)$$

$H_{DC}$  = Altura del líquido retenido en la bajante, pulg.

G.27 Flexibilidad

La velocidad estimada del vapor a la cual se tendrá el punto de goteo en un plato de válvulas convencional, de un paso, está expresada por los siguientes valores de  $V_H(D_V/D_L)^{1/2}$  contra el nivel de líquido en el plato (carga hidrostática):

TABLA G.5							
Nivel de líq. Pulg.	1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
V-1	0.35	0.45	0.53	0.59	0.69	0.75	0.82
V-4	0.63	0.81	0.97	1.11	1.24	1.36	1.48

Estas velocidades corresponden a diseños estándar y pueden reducirse ó incrementarse de acuerdo al tipo de válvulas que se empleen. Estos valores son únicamente una guía, dado que un goteo del 25% del líquido sobre el plato normalmente representa una disminución del 10% en la eficiencia del plato.

Si cuando se usa un arreglo con el máximo número posible de válvulas sobre el plato no se tiene la flexibilidad deseada puede hacerse alguna de las siguientes modificaciones para extender el límite inferior de operación: 1) Incrementar el espaciamento entre las válvulas para reducir el número de éstas ó bien omitir filas de válvulas a la entrada y/o a la salida del plato. 2) Usar válvulas pesadas, con cero de abertura inicial, en algunas filas si lo permite la caída de presión. Estas válvulas se consideran como inactivas. Las válvulas A-1 ó V-2 pueden emplearse para muy bajos flujos de líquido ó donde se desee cero de abertura inicial.

Para estimar el comportamiento del plato se recomienda emplear lo señalado anteriormente.

TABLA G.3 <sup>(14)</sup>

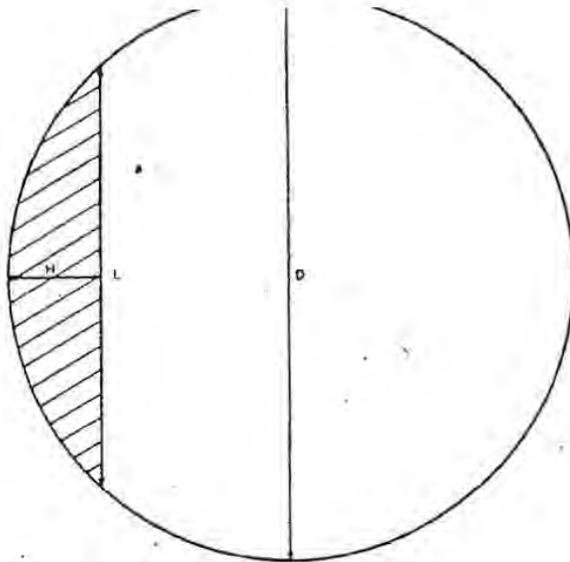


TABLA G.3

D = DIAMETRO DE TORRE  
 H = ANCHURA DE LA CUERDA  
 L = LONGITUD DE LA CUERDA  
 A = AREA DE LA CUERDA  
 AT = AREA DE TORRE

H/D FROM .0 TO .1											
H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>
.0000	.0000	.0000	.0200	.2800	.0048	.0400	.3619	.0134	.0600	.4750	.0245
.0005	.0447	.0000	.0205	.2834	.0050	.0405	.3643	.0137	.0605	.4768	.0248
.0010	.0632	.0001	.0210	.2868	.0051	.0410	.3666	.0139	.0610	.4787	.0251
.0015	.0774	.0001	.0215	.2901	.0053	.0415	.3693	.0142	.0615	.4805	.0254
.0020	.0894	.0002	.0220	.2934	.0055	.0420	.3724	.0144	.0620	.4823	.0257
.0025	.0999	.0002	.0225	.2966	.0057	.0425	.3755	.0147	.0625	.4841	.0260
.0030	.1094	.0003	.0230	.2998	.0059	.0430	.3787	.0149	.0630	.4859	.0263
.0035	.1181	.0004	.0235	.3030	.0061	.0435	.3818	.0152	.0635	.4877	.0266
.0040	.1262	.0004	.0240	.3061	.0063	.0440	.3850	.0155	.0640	.4895	.0270
.0045	.1339	.0005	.0245	.3092	.0065	.0445	.3882	.0157	.0645	.4913	.0273
.0050	.1411	.0006	.0250	.3122	.0067	.0450	.3914	.0160	.0650	.4931	.0276
.0055	.1479	.0007	.0255	.3153	.0069	.0455	.3946	.0162	.0655	.4948	.0279
.0060	.1545	.0008	.0260	.3183	.0071	.0460	.3978	.0165	.0660	.4966	.0282
.0065	.1607	.0009	.0265	.3212	.0073	.0465	.4010	.0168	.0665	.4983	.0285
.0070	.1667	.0010	.0270	.3242	.0075	.0470	.4042	.0171	.0670	.5000	.0288
.0075	.1726	.0011	.0275	.3271	.0077	.0475	.4074	.0173	.0675	.5018	.0292
.0080	.1782	.0012	.0280	.3299	.0079	.0480	.4106	.0176	.0680	.5035	.0295
.0085	.1836	.0013	.0285	.3328	.0081	.0485	.4138	.0179	.0685	.5052	.0298
.0090	.1889	.0014	.0290	.3356	.0083	.0490	.4170	.0181	.0690	.5069	.0301
.0095	.1940	.0016	.0295	.3384	.0085	.0495	.4202	.0184	.0695	.5086	.0304
.0100	.1990	.0017	.0300	.3412	.0087	.0500	.4234	.0187	.0700	.5103	.0308
.0105	.2039	.0018	.0305	.3439	.0090	.0505	.4266	.0190	.0705	.5120	.0311
.0110	.2086	.0020	.0310	.3466	.0092	.0510	.4298	.0193	.0710	.5136	.0314
.0115	.2132	.0021	.0315	.3493	.0094	.0515	.4330	.0195	.0715	.5153	.0318
.0120	.2178	.0022	.0320	.3520	.0096	.0520	.4362	.0198	.0720	.5170	.0321
.0125	.2222	.0024	.0325	.3546	.0098	.0525	.4394	.0201	.0725	.5186	.0324
.0130	.2265	.0025	.0330	.3573	.0101	.0530	.4426	.0204	.0730	.5203	.0327
.0135	.2308	.0027	.0335	.3599	.0103	.0535	.4458	.0207	.0735	.5219	.0331
.0140	.2350	.0028	.0340	.3625	.0105	.0540	.4490	.0210	.0740	.5235	.0334
.0145	.2391	.0030	.0345	.3650	.0108	.0545	.4522	.0212	.0745	.5252	.0337
.0150	.2431	.0031	.0350	.3676	.0110	.0550	.4554	.0215	.0750	.5268	.0341
.0155	.2471	.0033	.0355	.3701	.0112	.0555	.4586	.0218	.0755	.5284	.0344
.0160	.2510	.0034	.0360	.3726	.0115	.0560	.4618	.0221	.0760	.5300	.0347
.0165	.2548	.0036	.0365	.3751	.0117	.0565	.4650	.0224	.0765	.5316	.0351
.0170	.2585	.0037	.0370	.3775	.0119	.0570	.4682	.0227	.0770	.5332	.0354
.0175	.2622	.0039	.0375	.3800	.0122	.0575	.4714	.0230	.0775	.5348	.0358
.0180	.2659	.0041	.0380	.3824	.0124	.0580	.4746	.0233	.0780	.5363	.0361
.0185	.2695	.0042	.0385	.3848	.0127	.0585	.4778	.0236	.0785	.5379	.0364
.0190	.2730	.0044	.0390	.3872	.0129	.0590	.4810	.0239	.0790	.5395	.0368
.0195	.2765	.0046	.0395	.3896	.0132	.0595	.4842	.0242	.0795	.5410	.0371

M/D FROM .1 TO .2														
M/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	M/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	M/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	M/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	M/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>
.1000	.6000	.0570	.1200	.6499	.0620	.1400	.6940	.0651	.1600	.7332	.1013	.1800	.7684	.1224
.1005	.6013	.0524	.1205	.6511	.0624	.1405	.6950	.0655	.1605	.7341	.1037	.1805	.7692	.1229
.1010	.6027	.0528	.1210	.6523	.0628	.1410	.6960	.0659	.1610	.7351	.1042	.1810	.7700	.1234
.1015	.6040	.0532	.1215	.6534	.0632	.1415	.6971	.0664	.1615	.7360	.1047	.1815	.7709	.1239
.1020	.6053	.0536	.1220	.6546	.0636	.1420	.6981	.0669	.1620	.7369	.1051	.1820	.7717	.1244
.1025	.6066	.0540	.1225	.6557	.0701	.1425	.6991	.0673	.1625	.7378	.1056	.1825	.7725	.1249
.1030	.6079	.0544	.1230	.6569	.0705	.1430	.7001	.0678	.1630	.7387	.1061	.1830	.7733	.1253
.1035	.6092	.0547	.1235	.6580	.0709	.1435	.7012	.0682	.1635	.7396	.1066	.1835	.7742	.1258
.1040	.6105	.0551	.1240	.6592	.0713	.1440	.7022	.0686	.1640	.7406	.1070	.1840	.7750	.1263
.1045	.6118	.0555	.1245	.6603	.0717	.1445	.7032	.0691	.1645	.7415	.1075	.1845	.7758	.1268
.1050	.6131	.0559	.1250	.6614	.0721	.1450	.7042	.0695	.1650	.7424	.1080	.1850	.7766	.1273
.1055	.6144	.0563	.1255	.6626	.0726	.1455	.7052	.0700	.1655	.7433	.1084	.1855	.7774	.1278
.1060	.6157	.0567	.1260	.6637	.0730	.1460	.7062	.0704	.1660	.7442	.1089	.1860	.7782	.1283
.1065	.6170	.0571	.1265	.6648	.0734	.1465	.7072	.0709	.1665	.7451	.1094	.1865	.7790	.1288
.1070	.6183	.0575	.1270	.6659	.0738	.1470	.7082	.0713	.1670	.7460	.1099	.1870	.7798	.1293
.1075	.6195	.0579	.1275	.6671	.0743	.1475	.7092	.0718	.1675	.7468	.1103	.1875	.7806	.1298
.1080	.6208	.0583	.1280	.6682	.0747	.1480	.7102	.0722	.1680	.7477	.1108	.1880	.7814	.1303
.1085	.6220	.0587	.1285	.6693	.0751	.1485	.7112	.0727	.1685	.7486	.1113	.1885	.7822	.1308
.1090	.6233	.0591	.1290	.6704	.0755	.1490	.7122	.0732	.1690	.7495	.1118	.1890	.7830	.1313
.1095	.6245	.0595	.1295	.6715	.0760	.1495	.7132	.0736	.1695	.7504	.1122	.1895	.7838	.1318
.1100	.6258	.0598	.1300	.6726	.0764	.1500	.7141	.0741	.1700	.7513	.1127	.1900	.7846	.1323
.1105	.6270	.0602	.1305	.6737	.0768	.1505	.7151	.0745	.1705	.7521	.1132	.1905	.7854	.1328
.1110	.6281	.0606	.1310	.6748	.0773	.1510	.7161	.0750	.1710	.7530	.1137	.1910	.7862	.1333
.1115	.6293	.0610	.1315	.6759	.0777	.1515	.7171	.0754	.1715	.7539	.1142	.1915	.7870	.1338
.1120	.6307	.0614	.1320	.6770	.0781	.1520	.7180	.0759	.1720	.7548	.1146	.1920	.7877	.1343
.1125	.6320	.0619	.1325	.6781	.0785	.1525	.7190	.0763	.1725	.7556	.1151	.1925	.7885	.1348
.1130	.6332	.0623	.1330	.6791	.0790	.1530	.7200	.0768	.1730	.7565	.1156	.1930	.7893	.1353
.1135	.6344	.0627	.1335	.6802	.0794	.1535	.7209	.0773	.1735	.7574	.1161	.1935	.7901	.1358
.1140	.6356	.0631	.1340	.6813	.0798	.1540	.7219	.0777	.1740	.7582	.1166	.1940	.7909	.1363
.1145	.6368	.0635	.1345	.6824	.0803	.1545	.7229	.0782	.1745	.7591	.1171	.1945	.7916	.1368
.1150	.6380	.0639	.1350	.6834	.0807	.1550	.7238	.0786	.1750	.7599	.1175	.1950	.7924	.1373
.1155	.6392	.0643	.1355	.6845	.0811	.1555	.7248	.0791	.1755	.7608	.1180	.1955	.7932	.1378
.1160	.6404	.0647	.1360	.6856	.0816	.1560	.7257	.0796	.1760	.7616	.1185	.1960	.7939	.1383
.1165	.6416	.0651	.1365	.6866	.0820	.1565	.7267	.0800	.1765	.7625	.1190	.1965	.7947	.1388
.1170	.6428	.0655	.1370	.6877	.0825	.1570	.7276	.0805	.1770	.7633	.1195	.1970	.7955	.1393
.1175	.6440	.0659	.1375	.6887	.0829	.1575	.7285	.0809	.1775	.7642	.1200	.1975	.7962	.1398
.1180	.6452	.0663	.1380	.6898	.0833	.1580	.7295	.0814	.1780	.7650	.1204	.1980	.7970	.1403
.1185	.6464	.0667	.1385	.6908	.0838	.1585	.7304	.0819	.1785	.7659	.1209	.1985	.7977	.1409
.1190	.6476	.0671	.1390	.6919	.0842	.1590	.7314	.0823	.1790	.7667	.1214	.1990	.7985	.1414
.1195	.6488	.0676	.1395	.6929	.0847	.1595	.7323	.0828	.1795	.7675	.1219	.1995	.7992	.1419
M/D FROM .2 TO .3														
.2000	.8000	.1474	.2200	.8285	.1631	.2400	.8542	.1845	.2600	.8773	.2066	.2800	.8980	.2292
.2005	.8007	.1479	.2205	.8292	.1636	.2405	.8548	.1851	.2605	.8778	.2072	.2805	.8985	.2298
.2010	.8015	.1484	.2210	.8298	.1642	.2410	.8554	.1856	.2610	.8784	.2077	.2810	.8990	.2304
.2015	.8022	.1489	.2215	.8305	.1647	.2415	.8560	.1862	.2615	.8789	.2083	.2815	.8995	.2309
.2020	.8030	.1494	.2220	.8312	.1652	.2420	.8566	.1867	.2620	.8794	.2088	.2820	.8999	.2315
.2025	.8037	.1499	.2225	.8319	.1658	.2425	.8572	.1873	.2625	.8800	.2094	.2825	.9004	.2321
.2030	.8045	.1504	.2230	.8325	.1663	.2430	.8578	.1878	.2630	.8805	.2100	.2830	.9009	.2326
.2035	.8052	.1510	.2235	.8331	.1668	.2435	.8584	.1884	.2635	.8811	.2105	.2835	.9014	.2332
.2040	.8059	.1516	.2240	.8338	.1674	.2440	.8590	.1889	.2640	.8816	.2111	.2840	.9019	.2338
.2045	.8067	.1520	.2245	.8345	.1679	.2445	.8596	.1895	.2645	.8821	.2116	.2845	.9024	.2344
.2050	.8074	.1525	.2250	.8352	.1684	.2450	.8602	.1900	.2650	.8827	.2122	.2850	.9028	.2349
.2055	.8081	.1530	.2255	.8358	.1689	.2455	.8608	.1906	.2655	.8832	.2128	.2855	.9033	.2355
.2060	.8089	.1535	.2260	.8365	.1695	.2460	.8614	.1911	.2660	.8837	.2133	.2860	.9038	.2361
.2065	.8096	.1540	.2265	.8371	.1700	.2465	.8619	.1917	.2665	.8843	.2139	.2865	.9043	.2367
.2070	.8103	.1546	.2270	.8378	.1705	.2470	.8625	.1922	.2670	.8848	.2145	.2870	.9047	.2372
.2075	.8110	.1551	.2275	.8384	.1711	.2475	.8631	.1927	.2675	.8853	.2150	.2875	.9052	.2378
.2080	.8118	.1556	.2280	.8391	.1716	.2480	.8637	.1933	.2680	.8858	.2156	.2880	.9057	.2384
.2085	.8125	.1561	.2285	.8397	.1721	.2485	.8643	.1938	.2685	.8864	.2161	.2885	.9061	.2390
.2090	.8132	.1566	.2290	.8404	.1727	.2490	.8649	.1944	.2690	.8869	.2167	.2890	.9066	.2395
.2095	.8139	.1571	.2295	.8410	.1732	.2495	.8654	.1949	.2695	.8874	.2173	.2895	.9071	.2401
.2100	.8146	.1577	.2300	.8417	.1738	.2500	.8660	.1955	.2700	.8879	.2178	.2900	.9075	.2407
.2105	.8153	.1582	.2305	.8423	.1743	.2505	.8666	.1961	.2705	.8884	.2184	.2905	.9080	.2413
.2110	.8160	.1587	.2310	.8429	.1748	.2510	.8671	.1966	.2710	.8890	.2190	.2910	.9084	.2419
.2115	.8167	.1592	.2315	.8436	.1754	.2515	.8678	.1972	.2715	.8895	.2195	.2915	.9089	.2424
.2120	.8174	.1597	.2320	.8442	.1759	.2520	.8683	.1977	.2720	.8900	.2201	.2920	.9094	.2430
.2125	.8182	.1603	.2325	.8449	.1764	.2525	.8689	.1983	.2725	.8905	.2207	.2925	.9098	.2436
.2130	.8189	.1608	.2330	.8455	.1770	.2530	.8695	.1988	.2730	.8910	.2212	.2930	.9103	.2442
.2135	.8196	.1613	.2335	.8461	.1775	.2535	.8700	.1994	.2735	.8915	.2218	.2935	.9107	.2448
.2140	.8203	.1618	.2340	.8467	.1781	.2540	.8706	.1999	.2740	.8920	.2224	.2940	.9112	.2453
.2145	.8210	.1623	.2345	.8474	.1786	.2545	.8712	.2005	.2745	.8925	.2229	.2945	.9116	.2459
.2150	.8216	.1629	.2350	.8480	.1791	.2550	.8717	.2010	.2750	.8930	.2235	.2950	.9121	.2465
.2155	.8223	.1634	.2355	.8486	.1797	.2555	.8723	.2016	.2755	.8935	.2241	.2955	.9125	.2471
.2160	.8230	.1639	.2360	.8492	.1802	.2560	.8728	.2021	.2760	.8940	.2246	.2960	.9130	.2477
.2165	.8237	.1644	.2365	.8499	.1808	.2565	.8734	.2027	.2765	.8945	.2252	.2965	.9134	.2483
.2170	.8244	.1650	.2370	.8505	.1813	.2570	.8740	.2033	.2770	.8950	.2258	.2970	.9139	.2488
.2175	.8251	.1655	.2375	.8511	.1818	.2575	.8745	.2038	.2775	.8955	.2264	.2975	.9143	.2494
.2180	.8258	.1660	.2380	.8517	.1824	.2580	.8751	.2044	.2780	.8960	.2269	.2980	.9148	.2500
.2185	.8265	.1665	.2385	.8523	.1829	.2585	.8756	.2049	.2785	.8965	.2275	.2985	.9152	.2506
.2190	.8271	.1671	.2390	.8529	.1835	.2590	.8762	.2055	.2790	.8970	.2281	.2990	.9156	.2511
.2195	.8278	.1676	.2395	.8536	.1840	.2595	.8767	.2060	.2795	.8975	.2286	.2995	.9161	.2517

H/D FROM .J TO .A			H/D FROM .J TO .A			H/D FROM .J TO .A			H/D FROM .J TO .A			H/D FROM .J TO .A		
H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>
.3000	.9165	.2523	.3200	.9330	.2759	.3400	.9474	.2998	.3600	.9600	.3241	.3800	.9708	.3487
.3005	.9170	.2529	.3205	.9333	.2765	.3405	.9478	.3004	.3605	.9603	.3247	.3805	.9710	.3491
.3010	.9174	.2535	.3210	.9337	.2771	.3410	.9481	.3010	.3610	.9606	.3253	.3810	.9713	.3495
.3015	.9178	.2541	.3215	.9341	.2777	.3415	.9484	.3016	.3615	.9609	.3259	.3815	.9715	.3500
.3020	.9183	.2547	.3220	.9345	.2782	.3420	.9488	.3022	.3620	.9612	.3265	.3820	.9718	.3512
.3025	.9187	.2552	.3225	.9349	.2788	.3425	.9491	.3028	.3625	.9614	.3271	.3825	.9720	.3518
.3030	.9191	.2558	.3230	.9352	.2794	.3430	.9494	.3034	.3630	.9617	.3277	.3830	.9722	.3524
.3035	.9195	.2564	.3235	.9356	.2800	.3435	.9498	.3040	.3635	.9620	.3284	.3835	.9725	.3530
.3040	.9200	.2570	.3240	.9360	.2806	.3440	.9501	.3046	.3640	.9623	.3290	.3840	.9727	.3536
.3045	.9204	.2576	.3245	.9364	.2812	.3445	.9504	.3053	.3645	.9626	.3296	.3845	.9730	.3543
.3050	.9208	.2582	.3250	.9367	.2818	.3450	.9507	.3059	.3650	.9629	.3302	.3850	.9732	.3549
.3055	.9212	.2588	.3255	.9371	.2824	.3455	.9511	.3065	.3655	.9631	.3308	.3855	.9734	.3555
.3060	.9217	.2594	.3260	.9375	.2830	.3460	.9514	.3071	.3660	.9634	.3315	.3860	.9737	.3561
.3065	.9221	.2599	.3265	.9379	.2836	.3465	.9517	.3077	.3665	.9637	.3321	.3865	.9739	.3567
.3070	.9225	.2605	.3270	.9382	.2842	.3470	.9520	.3083	.3670	.9640	.3327	.3870	.9741	.3574
.3075	.9229	.2611	.3275	.9386	.2848	.3475	.9524	.3089	.3675	.9642	.3333	.3875	.9744	.3580
.3080	.9233	.2617	.3280	.9390	.2854	.3480	.9527	.3095	.3680	.9645	.3339	.3880	.9746	.3586
.3085	.9237	.2623	.3285	.9393	.2860	.3485	.9530	.3101	.3685	.9648	.3345	.3885	.9748	.3592
.3090	.9242	.2629	.3290	.9397	.2866	.3490	.9533	.3107	.3690	.9651	.3351	.3890	.9750	.3598
.3095	.9246	.2635	.3295	.9401	.2872	.3495	.9536	.3113	.3695	.9653	.3357	.3895	.9753	.3605
.3100	.9250	.2640	.3300	.9404	.2878	.3500	.9539	.3119	.3700	.9656	.3364	.3900	.9755	.3611
.3105	.9254	.2646	.3305	.9408	.2884	.3505	.9543	.3125	.3705	.9659	.3370	.3905	.9757	.3617
.3110	.9258	.2652	.3310	.9411	.2890	.3510	.9546	.3131	.3710	.9661	.3376	.3910	.9759	.3623
.3115	.9262	.2658	.3315	.9415	.2896	.3515	.9549	.3137	.3715	.9664	.3382	.3915	.9762	.3629
.3120	.9266	.2664	.3320	.9419	.2902	.3520	.9552	.3143	.3720	.9667	.3388	.3920	.9764	.3636
.3125	.9270	.2670	.3325	.9422	.2908	.3525	.9555	.3150	.3725	.9669	.3394	.3925	.9766	.3642
.3130	.9274	.2676	.3330	.9426	.2914	.3530	.9558	.3156	.3730	.9672	.3401	.3930	.9768	.3648
.3135	.9278	.2682	.3335	.9429	.2920	.3535	.9561	.3162	.3735	.9675	.3407	.3935	.9771	.3654
.3140	.9282	.2688	.3340	.9433	.2926	.3540	.9564	.3168	.3740	.9677	.3413	.3940	.9773	.3661
.3145	.9286	.2693	.3345	.9436	.2932	.3545	.9567	.3174	.3745	.9680	.3419	.3945	.9775	.3667
.3150	.9290	.2699	.3350	.9440	.2938	.3550	.9570	.3180	.3750	.9682	.3425	.3950	.9777	.3673
.3155	.9294	.2705	.3355	.9443	.2944	.3555	.9573	.3186	.3755	.9685	.3431	.3955	.9779	.3679
.3160	.9298	.2711	.3360	.9447	.2950	.3560	.9576	.3192	.3760	.9688	.3438	.3960	.9781	.3685
.3165	.9302	.2717	.3365	.9450	.2956	.3565	.9579	.3198	.3765	.9690	.3444	.3965	.9783	.3692
.3170	.9306	.2723	.3370	.9454	.2962	.3570	.9582	.3204	.3770	.9693	.3450	.3970	.9786	.3698
.3175	.9310	.2729	.3375	.9457	.2968	.3575	.9585	.3211	.3775	.9695	.3456	.3975	.9788	.3704
.3180	.9314	.2735	.3380	.9461	.2974	.3580	.9588	.3217	.3780	.9698	.3462	.3980	.9790	.3710
.3185	.9318	.2741	.3385	.9464	.2980	.3585	.9591	.3223	.3785	.9700	.3468	.3985	.9793	.3717
.3190	.9322	.2747	.3390	.9467	.2986	.3590	.9594	.3229	.3790	.9703	.3475	.3990	.9794	.3723
.3195	.9326	.2753	.3395	.9471	.2992	.3595	.9597	.3235	.3795	.9705	.3481	.3995	.9796	.3729
H/D FROM .A TO .S														
H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>	H/D	L/D	A <sub>0</sub> /A <sub>T</sub>
.4000	.9798	.3735	.4200	.9871	.3986	.4400	.9928	.4238	.4600	.9968	.4491	.4800	.9992	.4745
.4005	.9800	.3742	.4205	.9873	.3992	.4405	.9929	.4244	.4605	.9969	.4498	.4805	.9992	.4752
.4010	.9802	.3748	.4210	.9874	.3998	.4410	.9930	.4251	.4610	.9970	.4504	.4810	.9993	.4758
.4015	.9804	.3754	.4215	.9876	.4005	.4415	.9931	.4257	.4615	.9970	.4510	.4815	.9993	.4765
.4020	.9806	.3760	.4220	.9879	.4011	.4420	.9932	.4263	.4620	.9971	.4517	.4820	.9994	.4771
.4025	.9808	.3767	.4225	.9879	.4017	.4425	.9934	.4270	.4625	.9972	.4523	.4825	.9994	.4777
.4030	.9810	.3773	.4230	.9881	.4023	.4430	.9935	.4276	.4630	.9973	.4529	.4830	.9994	.4784
.4035	.9812	.3779	.4235	.9882	.4029	.4435	.9936	.4282	.4635	.9973	.4536	.4835	.9995	.4790
.4040	.9814	.3785	.4240	.9884	.4036	.4440	.9937	.4288	.4640	.9974	.4542	.4840	.9995	.4796
.4045	.9816	.3791	.4245	.9885	.4042	.4445	.9938	.4295	.4645	.9975	.4548	.4845	.9995	.4803
.4050	.9818	.3797	.4250	.9887	.4049	.4450	.9939	.4301	.4650	.9975	.4555	.4850	.9995	.4809
.4055	.9820	.3804	.4255	.9888	.4055	.4455	.9940	.4307	.4655	.9976	.4561	.4855	.9996	.4815
.4060	.9822	.3810	.4260	.9890	.4061	.4460	.9942	.4314	.4660	.9977	.4567	.4860	.9996	.4822
.4065	.9824	.3816	.4265	.9891	.4068	.4465	.9943	.4320	.4665	.9978	.4574	.4865	.9996	.4828
.4070	.9825	.3823	.4270	.9893	.4074	.4470	.9944	.4326	.4670	.9978	.4580	.4870	.9997	.4834
.4075	.9827	.3829	.4275	.9894	.4080	.4475	.9945	.4333	.4675	.9979	.4586	.4875	.9997	.4841
.4080	.9829	.3835	.4280	.9896	.4086	.4480	.9946	.4339	.4680	.9979	.4593	.4880	.9997	.4847
.4085	.9831	.3842	.4285	.9897	.4093	.4485	.9947	.4345	.4685	.9980	.4599	.4885	.9997	.4854
.4090	.9833	.3848	.4290	.9899	.4099	.4490	.9948	.4352	.4690	.9981	.4606	.4890	.9998	.4860
.4095	.9835	.3854	.4295	.9900	.4105	.4495	.9949	.4358	.4695	.9981	.4612	.4895	.9998	.4866
.4100	.9837	.3860	.4300	.9902	.4112	.4500	.9950	.4364	.4700	.9982	.4618	.4900	.9998	.4873
.4105	.9838	.3867	.4305	.9903	.4118	.4505	.9951	.4371	.4705	.9983	.4625	.4905	.9999	.4879
.4110	.9840	.3873	.4310	.9904	.4124	.4510	.9952	.4377	.4710	.9983	.4631	.4910	.9999	.4885
.4115	.9842	.3879	.4315	.9906	.4131	.4515	.9953	.4383	.4715	.9984	.4637	.4915	.9999	.4892
.4120	.9844	.3885	.4320	.9907	.4137	.4520	.9954	.4390	.4720	.9984	.4644	.4920	.9999	.4898
.4125	.9846	.3892	.4325	.9908	.4143	.4525	.9955	.4396	.4725	.9985	.4650	.4925	.9999	.4905
.4130	.9847	.3898	.4330	.9910	.4149	.4530	.9956	.4402	.4730	.9985	.4656	.4930	.9999	.4911
.4135	.9849	.3904	.4335	.9911	.4156	.4535	.9957	.4409	.4735	.9986	.4663	.4935	.9999	.4917
.4140	.9851	.3910	.4340	.9912	.4162	.4540	.9958	.4415	.4740	.9986	.4669	.4940	.9999	.4924
.4145	.9853	.3917	.4345	.9914	.4168	.4545	.9959	.4421	.4745	.9987	.4675	.4945	.9999	.4930
.4150	.9854	.3923	.4350	.9915	.4175	.4550	.9959	.4428	.4750	.9987	.4682	.4950	1.0000	.4936
.4155	.9856	.3929	.4355	.9916	.4181	.4555	.9960	.4434	.4755	.9988	.4688	.4955	1.0000	.4943
.4160	.9858	.3936	.4360	.9918	.4187	.4560	.9961	.4440	.4760	.9988	.4695	.4960	1.0000	.4949
.4165	.9860	.3942	.4365	.9919	.4194	.4565	.9962	.4447	.4765	.9989	.4701	.4965	1.0000	.4955
.4170	.9861	.3948	.4370	.9920	.4200	.4570	.9963	.4453	.4770	.9989	.4707	.4970	1.0000	.4962
.4175	.9863	.3954	.4375	.9922	.4206	.4575	.9964	.4460	.4775	.9990	.4714	.4975	1.0000	.4968
.4180	.9865	.3961	.4380	.9923	.4213	.4580	.9965	.4466	.4780	.9990	.4720	.4980	1.0000	.4975
.4185	.9866	.3967	.4385	.9924	.4219	.4585	.9965	.4473	.4785	.9991	.4726	.4985	1.0000	.4981
.4190	.9868	.3973	.4390	.9925	.4225	.4590	.9966	.4479	.4790	.9991	.4733	.4990	1.0000	.4987
.4195	.9870	.3979	.4395	.9927	.4232	.4595	.9967	.4485	.4795	.9992	.4739	.4995	1.0000	.4994
.5000														

## 5.2 METODOLOGIA DE KOCH GLITSCH USANDO PLATOS “FLEXITRAY” <sup>(1)(3)(17)</sup>.

Antes de empezar el diseño deben obtenerse las cargas reales de líquido y de vapor que maneja cada plato.

La carga de vapor y los GPM de líquido se calculan para los platos críticos de cada sección en la columna. El espaciamiento y el número de pasos deberán fijarse para continuar el diseño. El espaciamiento normal se recomienda como 24 pulgadas. Si se requieren más de 40 ó 50 platos en una columna, convendrá emplear menores espaciamientos para reducir la altura total de la columna; sin embargo, los espaciamientos menores a 12 pulgadas no son recomendables.

El número de pasos se selecciona de acuerdo a la cantidad de líquido que manejará el plato. Se recomienda como punto inicial escoger un plato de un paso.

### SECUENCIA DE CÁLCULO PARA LOS PLATOS KOCH-GLITSCH FLEXITRAY

#### KA. Dimensionamiento Preliminar.

Empleando las gráficas 5.6 y 5.7 se pueden determinar las características del plato en una forma preliminar. Los pasos para usar estas gráficas son los siguientes:

KA1. Determinar el flujo de vapor en PCS, el flujo de líquido en GPM y las densidades del líquido y del vapor en lb/pe<sup>3</sup> (todo a las condiciones de operación de la columna). Asignar un valor al espaciamiento entre platos.

KA2. De la gráfica 5.6, leer el factor raíz cuadrada  $(D_V/(D_L - D_V))^{1/2}$ .

KA3. Calcular el factor carga de vapor como producto del gasto de vapor (en PCS) por el factor raíz cuadrada.

KA4. Graficar el factor carga de vapor,  $PCS(D_V/(D_L - D_V))^{1/2}$  contra el gasto de líquido (en GPM) en la gráfica 5.7. Si el sistema es otro diferente al de aceite ligero (no espumante) con 24 pulgadas de espaciamiento, graficar los valores pero ajustados como se indica en los incisos KA6 y KA7.

KA5. Para Fraccionadora de aceites ligeros (no espumantes) y torres similares con espaciamientos de 24 pulgadas, leer el diámetro mínimo de diseño de la gráfica 5.7. En muchos casos, el diámetro mínimo depende del número de pasos de líquido en el plato.

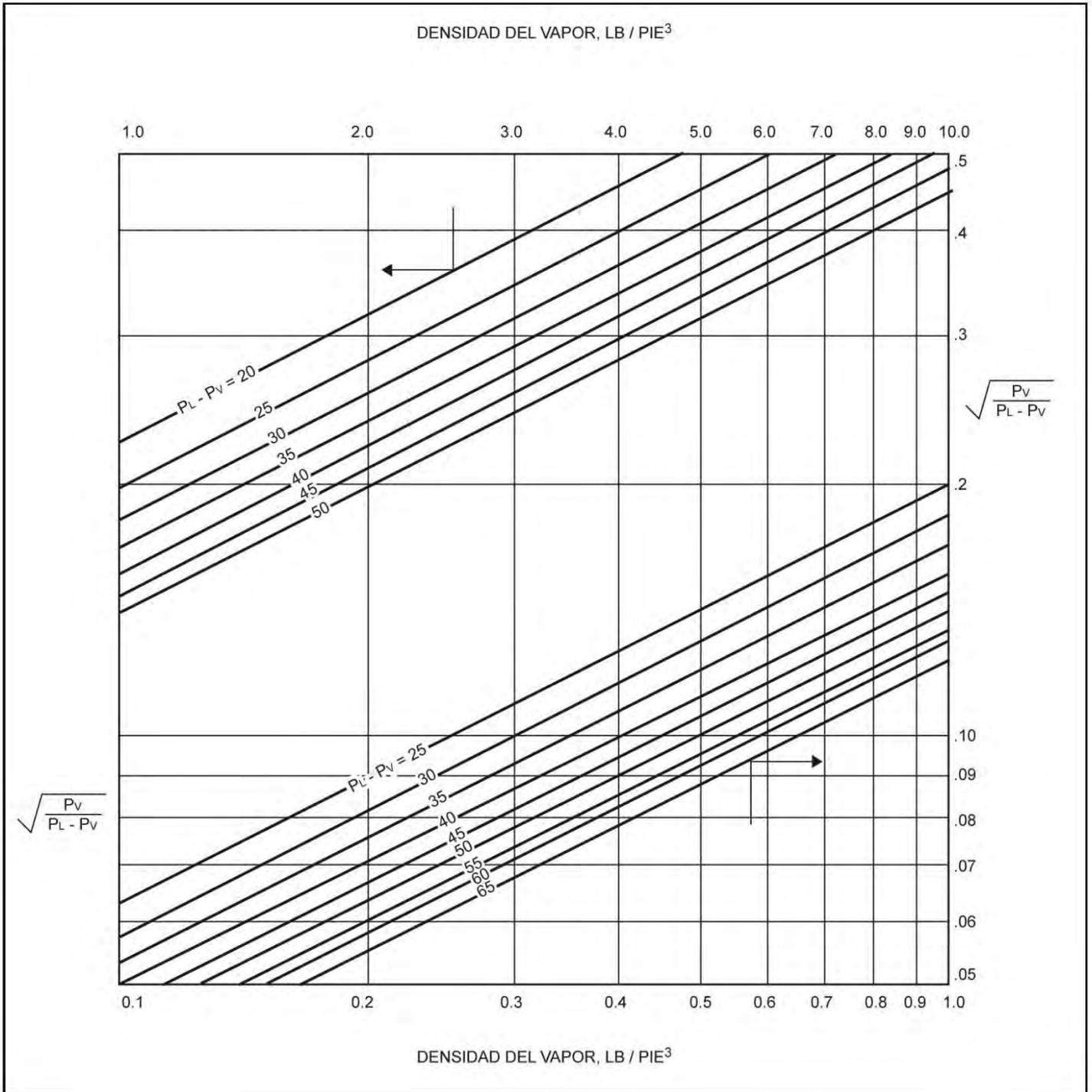
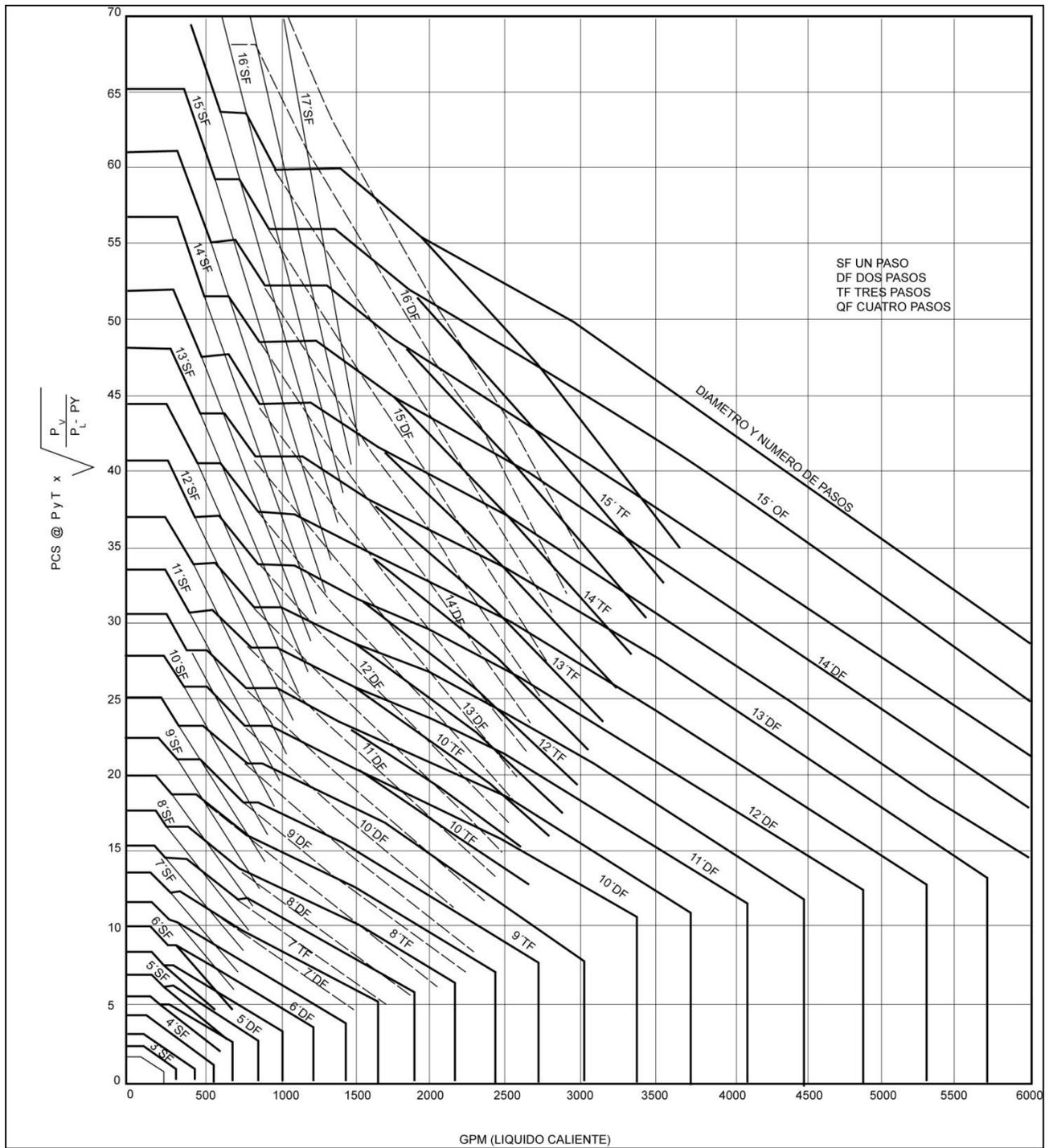


FIG. 5.6



**FIG. 5.7 DIMENSIONAMIENTO DE LOS PLATOS FLEXITRAY (PARA SISTEMAS NO ESPUMANTES CON ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS DE 24 PULGADAS)**

KA6. Para otros sistemas tales como absorbedores, contactores de amina y glicol, torres de vacío, fraccionadoras a alta presión, etc. Usar los factores apropiados de disminución de capacidad (Derating factors) tal como se indica en el inciso KB7 del procedimiento detallado de arreglo y dimensionamiento para platos Flexitray. Para leer el diámetro de la columna directamente de la gráfica 5.7, dividir ambas la cargas de vapor y los GPM entre el factor de disminución de capacidad y graficar los valores resultantes en la gráfica 5.7.

KA7. Para espaciamentos diferentes a 24 pulgadas, usar los factores de espaciamento (TSF) del inciso KB7 del procedimiento detallado de arreglo y dimensionamiento para platos Flexitray. Para leer el diámetro de la columna directamente en la gráfica 5.7, dividir la carga de vapor y los GPM entre el factor de espaciamento y localizar los valores resultantes sobre la gráfica.

KB. Procedimiento detallado de arreglo y dimensionamiento para Platos Flexitray.

Después que el diámetro, el número de pasos de líquido y el espaciamento se han establecido en forma preliminar, se hace un arreglo detallado y se checa contra la correlación de capacidad y por “backup”.

KB1. Verificar el número de pasos de líquido. Para capacidad máxima, considerar un plato de más pasos si el flujo de líquido excede a 80 GPM por paso por pie de diámetro de la columna.

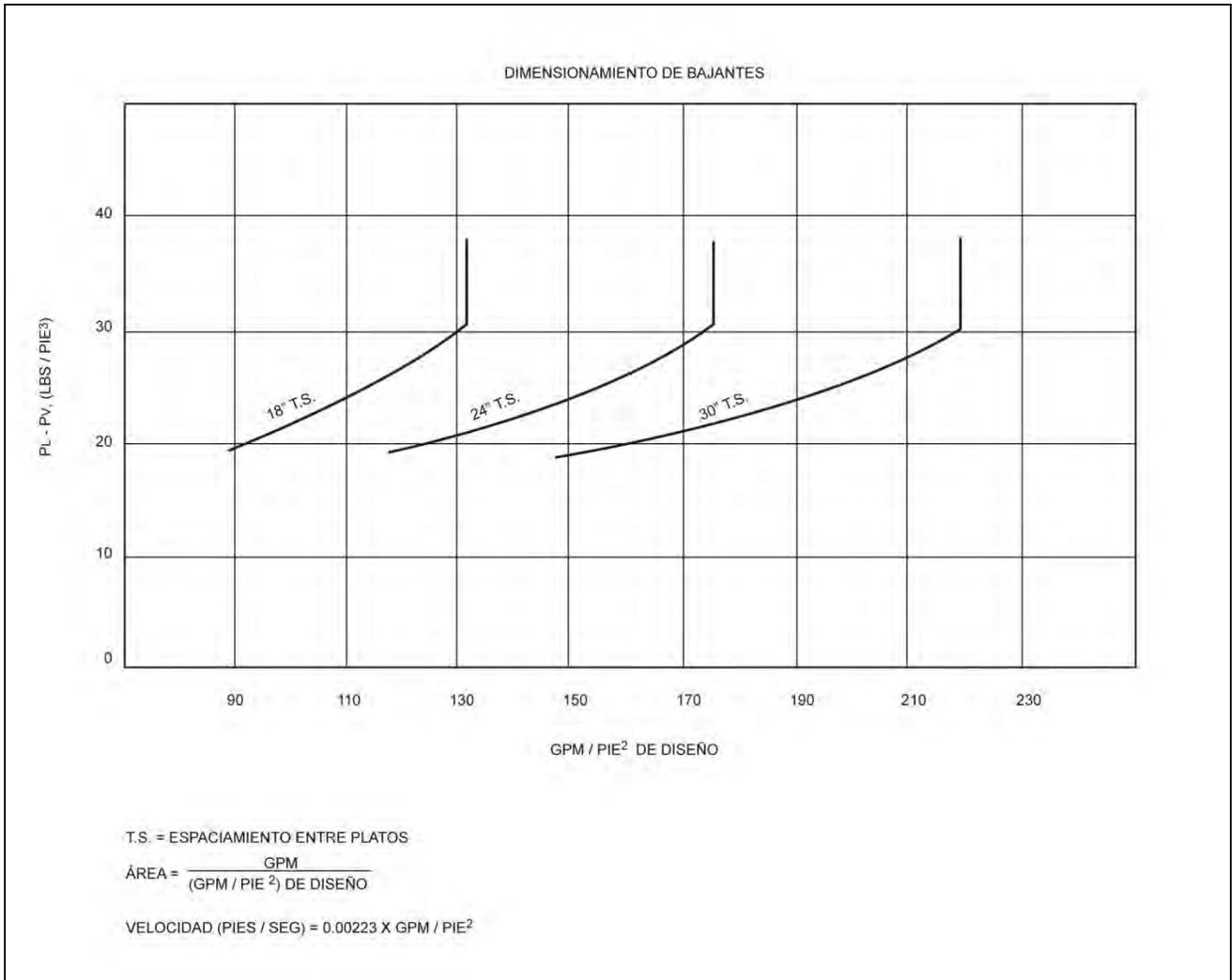
KB2. Dimensionamiento de las Bajantes. Se basa en asumir una carga de diseño equivalente al 85% del inundamiento calculado, pero si se emplea algún otra carga de diseño, el área de bajantes deberá ajustarse proporcionalmente.

Para la mayoría de los sistemas que manejen hidrocarburos con 24 pulgadas de espaciamento, el dimensionamiento del área en la parte superior de la bajante está basado en un gasto de líquido caliente de 175 GPM/pie<sup>2</sup>. Esto es equivalente a 5.13 segundos de tiempo de residencia con una bajante recta.

Sistemas con tendencias espumantes se deben diseñar con bajantes más grandes que las usuales. Velocidades en la bajante (VDC) recomendadas para sistemas espumantes típicos, son las siguientes:

SERVICIO	VDC
Absorbedores y columnas a vacío	150 GPM/pie <sup>2</sup>
Sistemas de Aminas	125 – 140 GPM/pie <sup>2</sup>
Contactores de Glicol	125 GPM/pie <sup>2</sup>

En general  $VDC = 175 \text{ GPM/pie}^2 \times D.F.$



**FIG. 5.8**

Cuando el valor de  $(D_L - D_V)$  sea menor que 30 lb/pie<sup>3</sup>, usar la gráfica 5.8 la cual compensa con área las dificultades que tiene el líquido para separarse del vapor y asentarse cuando disminuye la diferencia de densidades, para comparar el valor de  $(GPM/pie^2)_{DSG}$  resultante con el valor de VDC obtenido anteriormente y emplear el menor de ellos en el cálculo del área mínima de bajantes.

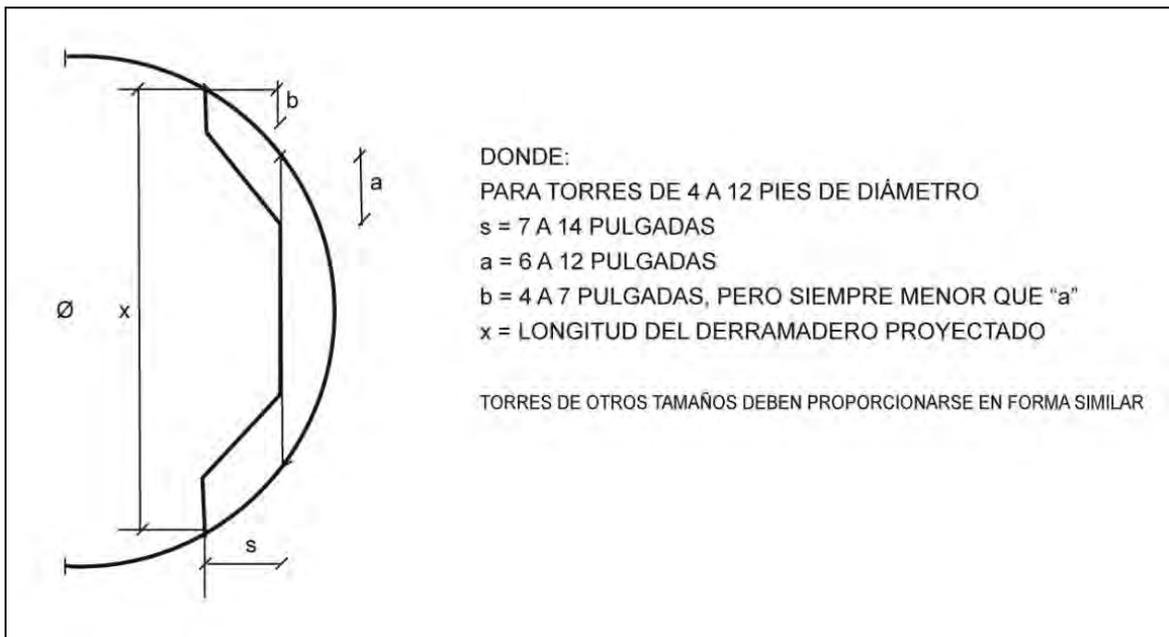
$$\text{Área mínima de bajantes, pies}^2 = \frac{GPM}{VDC} \times \frac{24}{TS, PULG.}$$

Cuando el espaciamiento entre platos sea mayor que 30 pulgadas no deberá considerarse el factor  $(24/TS)$ .

Una vez conocida el área mínima de bajantes, de las gráficas 5.9 y 5.10 obtener la anchura de la bajante y la longitud del derramadero, para las diferentes bajantes del plato.

Seleccionar el tipo de derramadero. Cuando la carga del derramadero excede de 50 a 60 GPM/pie sobre un derramadero recto, es conveniente instalar un derramadero escalonado ó de relevo. Las gráficas 5.9 y 5.10 permiten la determinación de áreas y anchuras segmentales así como de longitudes de cuerdas para dimensionar los derramaderos escalonados.

El derramadero de relevo está construido sobre la superficie del plato y encierra un área sin válvulas localizada entre el derramadero y la bajante segmentada. Este es un medio de incrementar la longitud del derramadero y obtener un flujo de líquido más uniforme a través del plato. El área del plato encerrada por el derramadero es usualmente de 15% a 25% del área de la bajante lateral en su parte superior. Para propósitos de dimensionamiento considerar hasta un máximo del 25% del área de la bajante en su parte superior (área de relevo + área de la bajante segmentada). El arreglo típico de un derramadero escalonado se muestra en la figura 5.11.



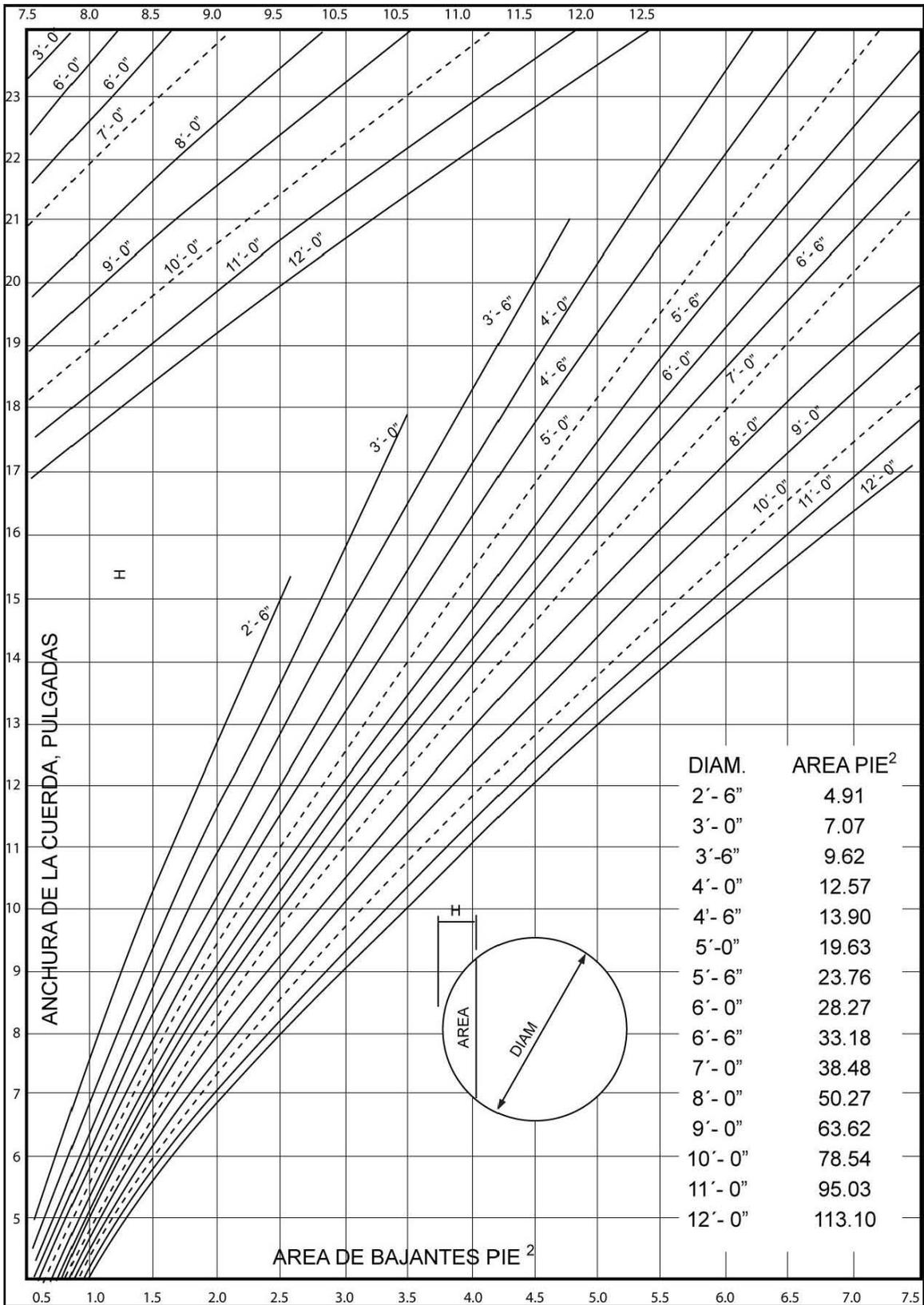


FIG. 5.9

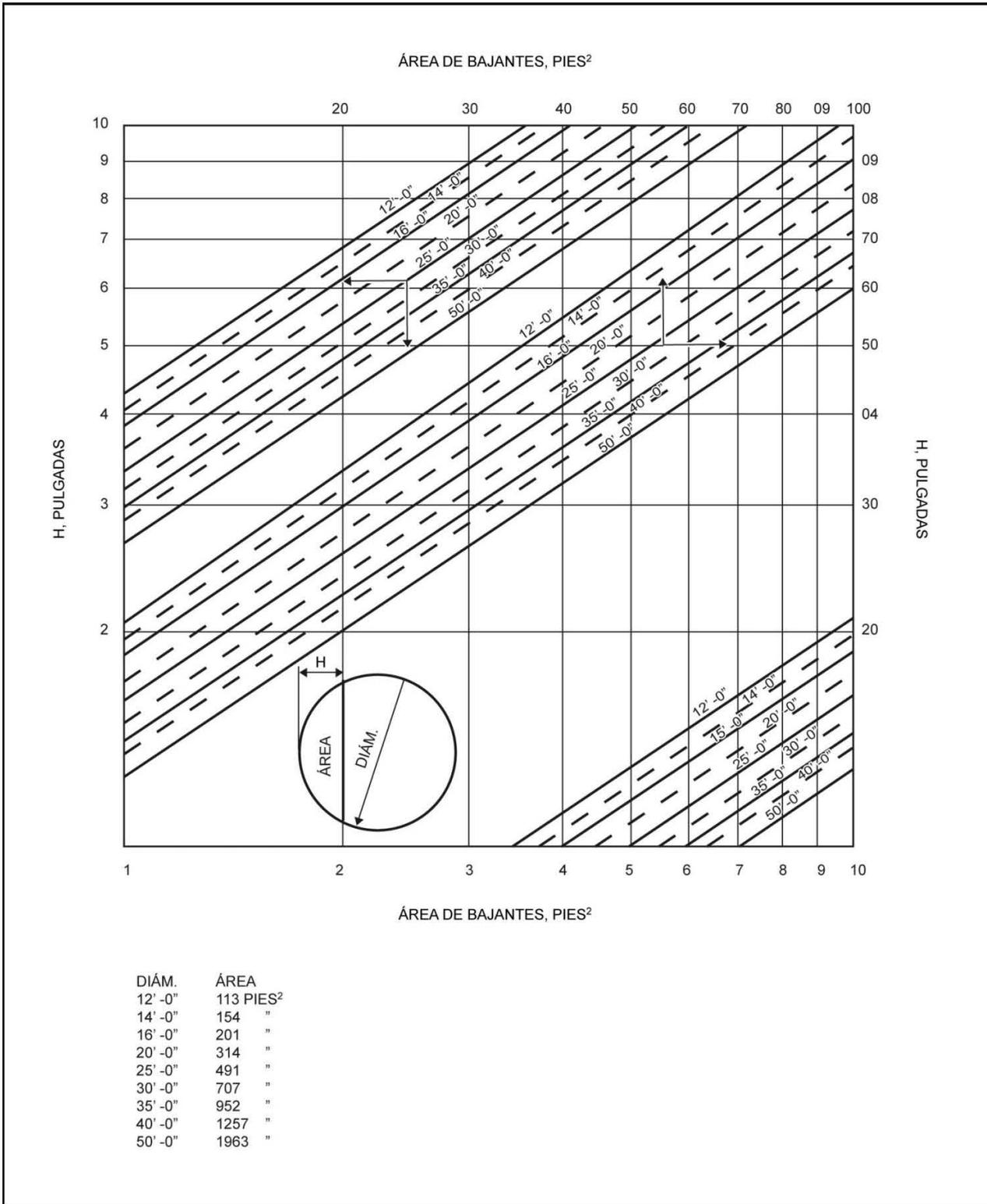


FIG. 5.9

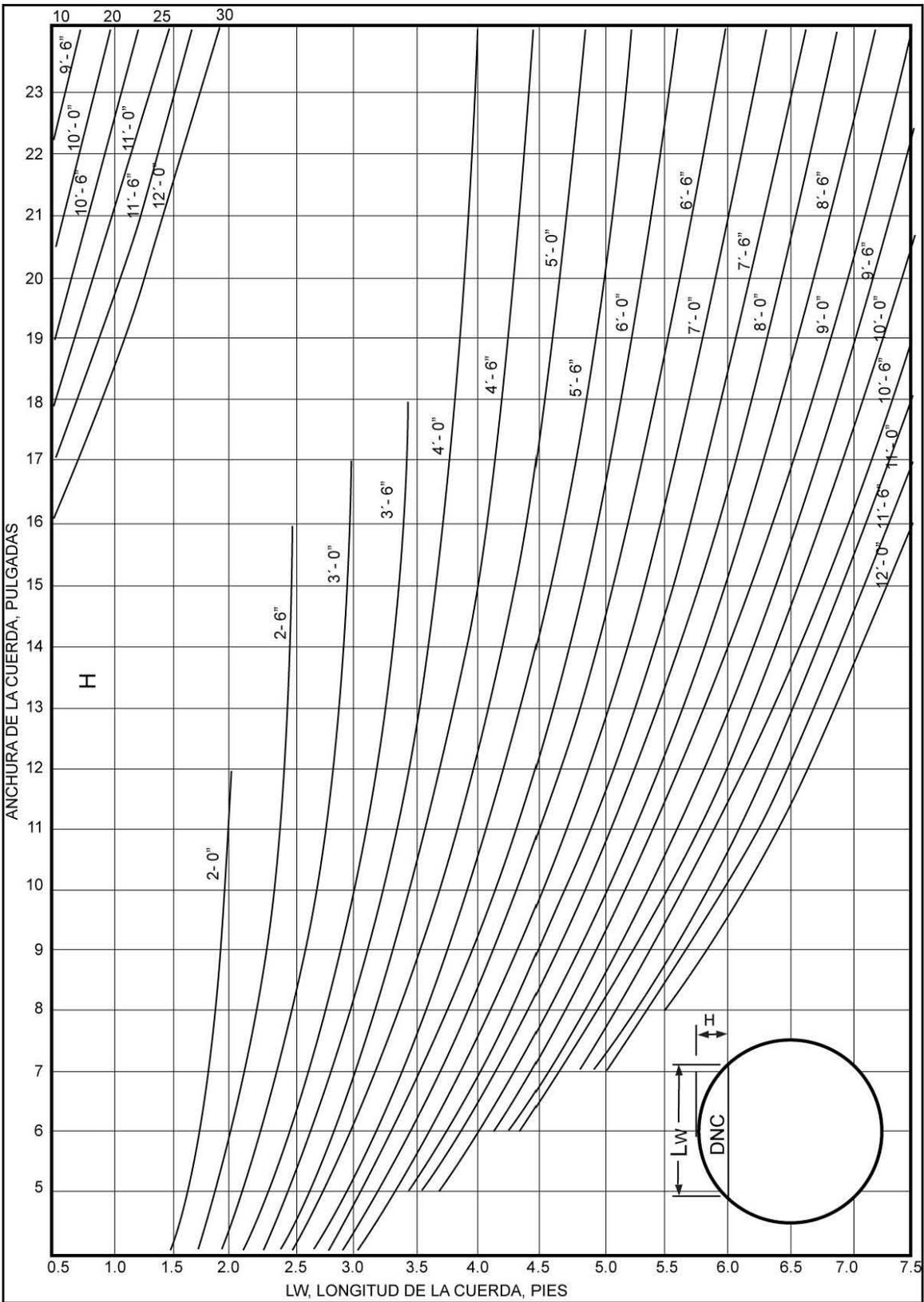


FIG. 5.10

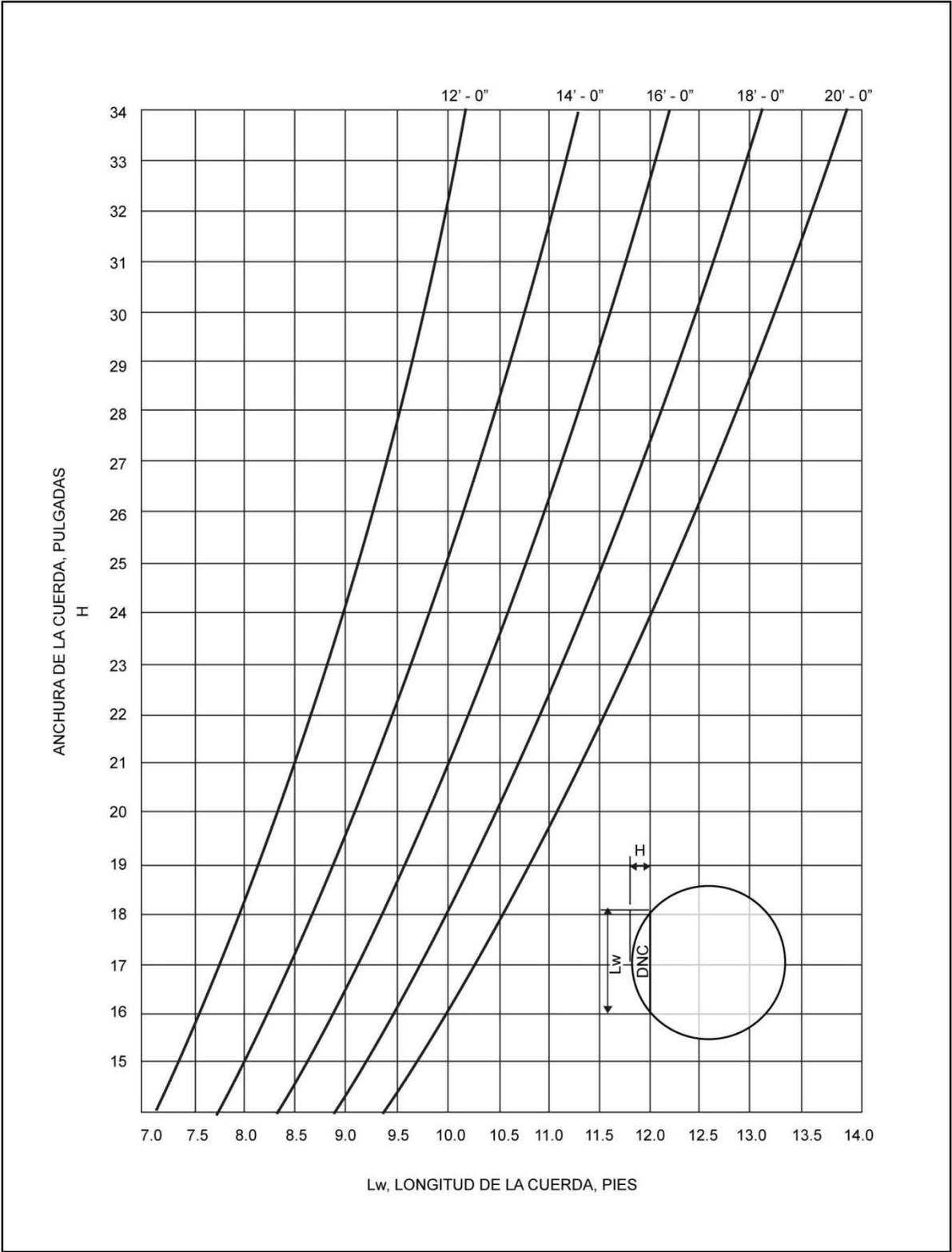


FIG. 5.10

ALTURA DE LA CRESTA SOBRE EL DERRAMADERO Y CAÍDA DE PRESIÓN A TRAVÉS DEL CLARO BAJO LA BAJANTE

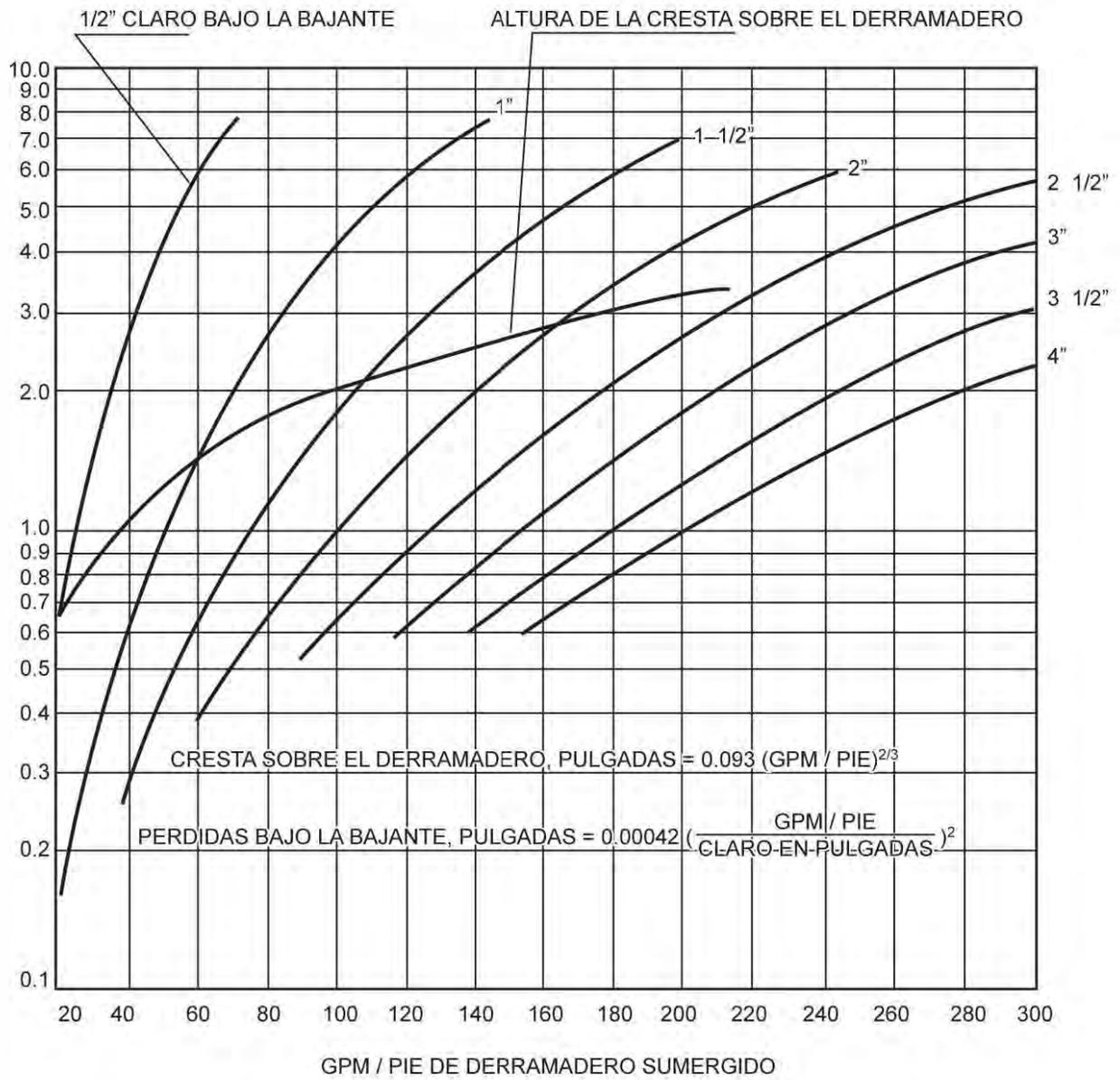


FIG. 5.12

Torres de otros tamaños deben proporcionarse en forma similar.

La bajante puede estar inclinada, así que el área en el fondo de ésta será menor que la existente en la parte superior. Generalmente el área del fondo es el 60% del área en la parte superior, (área segmentada + área de relevo) aunque puede llegar al 50% sin restringir la capacidad de la bajante.

- KB3. Fijar el claro de la bajante y la altura del derramadero. Para Fraccionadoras a Presión, la altura del derramadero son generalmente 3 pulgadas usando espaciamentos de 24 pulgadas ó mayores, 2 ½ pulgadas para espaciamentos de 18 pulg. y 2 pulg. para 12 pulgadas de espaciamiento. Para todos los servicios en general se recomienda una altura mínima de 2 pulgadas excepto para servicios a vacío en los que la altura del derramadero es de 1 a 1 ½ pulgadas.

Con el claro bajo la bajante fijo a ½ pulg. menos que la altura del derramadero, checar la caída de presión bajo la bajante empleando la gráfica 5.12. Si la caída de presión excede 1.5 pulgadas de líquido caliente, el claro bajo la bajante deberá incrementarse, en estos casos también se incrementa la altura del derramadero para mantener el sello de ½ pulgada. Sin embargo, para servicios en los cuales el flujo de líquido siempre será alto, se admite un sello hasta de 0 pulgadas. Por otro parte, cuando el flujo de líquido es extremadamente bajo, debe mantenerse un sello de ¾ a 1 pulgada.

- KB4. Calcular la carga de líquido sobre el derramadero en GPM por pie de longitud del derramadero proyectado. En el caso de un derramadero recto, la longitud del derramadero proyectado es igual que la longitud del derramadero. Para los derramaderos de relevo, la longitud proyectada es la de la cuerda que pasa por los puntos del derramadero más alejado de la bajante, tal como se muestra en la figura 5.11.

- KB5. Determinar el área neta de válvulas. Esta se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\text{Área neta de válvulas} = A_T - A_{DC} - A_I - A_E, \text{ pies}^2.$$

Donde:

$A_T$  = Área transversal total de la columna, pies<sup>2</sup>.

$A_{DC}$  = Área en la parte superior de la bajante, incluyendo toda el área de relevo.

$A_I$  = Área de entrada ó de sello. Igual al área en el fondo de la bajante, a menos que se empleen derramaderos de entrada ó pocetas.

$A_E$  = Área desperdiciada en los bordes. Esta área considera posibles malas distribuciones de las válvulas en la periferia de columnas pequeñas. (3 ½ pies ó menores).

El área desperdiciada en los bordes puede estimarse por la siguiente fórmula:

$$A_E = \frac{2.2 * h_i * R}{144}$$

$h_i$  = Distancia desde el punto, borde ó derramadero de entrada hasta el derramadero de salida, pulgadas.

R = Anchura del arillo de sello (1.5 pulgadas).

KB6. Determinar el factor capacidad tal como se muestra:

$$CSF_{(neto)} = \frac{PCS_{vapor} (D_V / (D_L - D_V))^{1/2}}{\text{Area neta de válvulas}}$$

KB7. Determinar la carga de la columna como un porcentaje del inundamiento, para ello, emplear la siguiente expresión:

$$\% \text{ Inundación} = \frac{100}{0.51 * TSF * DF} \left( CSF_{(neto)} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{Pie de derramadero proyectado}} \right)$$

Donde:

TSF = Factor de corrección para espaciamentos diferentes a 24 pulgadas.

DF = Factor de disminución de capacidad ó del sistema.

$CSF_{neto}$  = Factor capacidad.

Se recomienda diseñar para una inundación máxima del 85% de la del punto de inundamiento, para obtener elevadas eficiencias y permitir fluctuaciones de operación, instalaciones inexactas, etc.

TABLA K.1 FACTOR DE ESPACIEMIENTOS, TSF.

Espaciamiento Entre platos, Pulg.	Densidad del vapor Menor que 1.5 lb/pie <sup>3</sup> .	Densidad del vapor Mayor que 1.5 lb/pie <sup>3</sup>
12	0.65	0.65
15	0.75	0.75
18	0.84	0.84
21	0.92	0.92
24	1.00	1.00
27	1.073	1.06
30	1.142	1.12
36	1.22	1.15

Factor de disminución de capacidad, DF.

Sistemas no espumantes se diseñan considerando al factor del sistema como igual a la unidad. Para sistemas que se sabe son espumantes, se debe disminuir su capacidad empleando los factores que se enlistan a continuación de acuerdo al tipo de servicio.

TABLA K.2	
Servicio	Factor de Disminución
Columnas a Vacío	0.85
Absorbedoras de Aminas (MEA,DEA)	0.80
Regenerador de Aminas	0.85
Desetanizadoras a presión	0.90 – 0.95
Despropanizadoras	0.85 – 0.95
Absorbedoras (sobre 0°F)	0.85
Absorbedoras (bajo 0°F)	0.80
Regenerador de Carbonato Caliente	0.90
Contactador de Carbonato Caliente	0.85
Absorbedor de $CO_2$	0.80
Lavado Cáustico	0.65
Regenerador Cáustico	0.60
Agotador de $H_2S$	0.85
Fraccionador de Furfural	0.85
Contactores de Glicol	0.7

Para mezclas de hidrocarburos en Fraccionadoras a alta presión:

$$\ln DF = 0.1878719 - 0.32302676 \ln D_V$$

Para una mezcla binaria:

$$\ln DF = 0.10154176 - 0.17275177 \ln D_V$$

KB8. Calcular el % de inundamiento por el líquido de acuerdo a:

$$\% \text{ inundamiento}_{LIQ} = \frac{(85)ADO_{min}}{ADC_{TOP \text{ disponible}}}$$

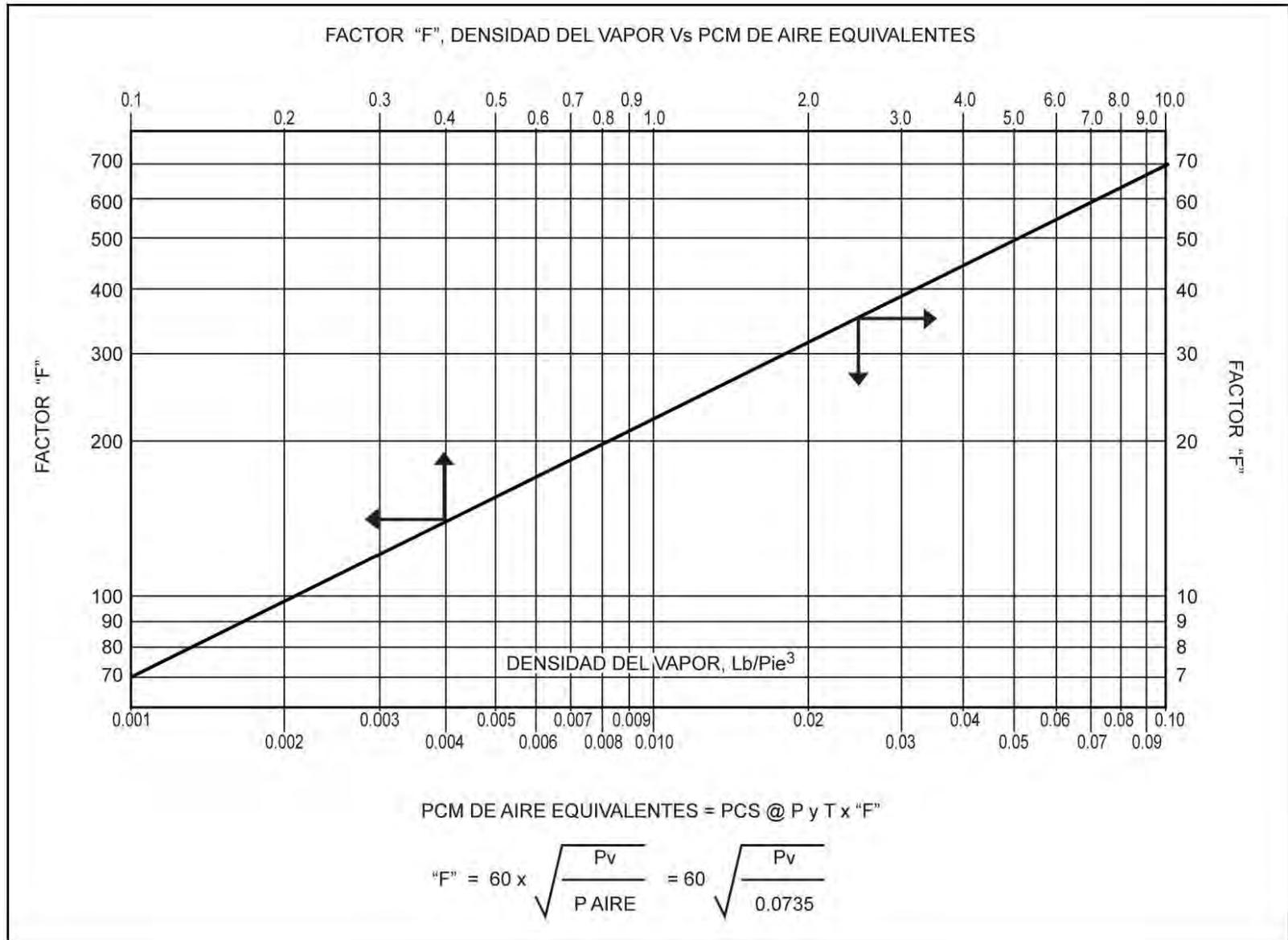
Si las inundaciones no están balanceadas ó si se excede la inundación máxima permisible, redimensionar.

KC. Caída de Presión.

Las correlaciones para estimar la caída de presión se derivaron de determinaciones efectuadas en un simulador con aire y agua. La caída de presión total del plato se determina al sumar la caída de presión efectiva del líquido a la del plato seco.

El gradiente hidráulico se considera despreciable.

FIG. 5.13



KCI. Cálculo del flujo de vapor en las válvulas.

- a) Estimar el número de válvulas del plato como el producto del área neta de válvulas por 12 ó 14 válvulas/pie<sup>2</sup> dependiendo del pitch empleado 3 ¼" x 2 ¾" ó 3" x 2 ½". Para torres de vacío ó de gran diámetro (15 a 20 pies de diámetro ó mayores) el número de válvulas será alrededor de 15 a 15.5 válvulas/pie<sup>2</sup> del área neta de válvulas. Para platos de más de 4 pies de diámetro, restar un 15% por pérdidas en el aro soporte, vigas, canales y entradas de hombre.
- b) Convertir el flujo de vapor a PCM de aire equivalentes, para ello multiplicar los PCS de vapor por el factor leído en la gráfica 5.13.
- c) Calcular los PCM de aire equivalentes/válvula.

KC2. Calcular el flujo de líquido como GPM/pie de derramadero. En el caso de un derramadero de relevo, la longitud total deberá emplearse. La longitud total del vertedero puede estimarse como 1.14 veces la longitud proyectada del derramadero.

KC3. Leer la caída de presión del plato seco ( $\Delta P_{DRY}$ ) de la gráfica 5.14, usando la línea apropiada de acuerdo al tipo y peso de las válvulas. Esto se checará junto con el comportamiento del plato de acuerdo a lo indicado en el capítulo 5 en la sección caída de presión total del plato, al final del cálculo.

KC4. Leer la altura equivalente del líquido ( $\Delta P_{WET}$ ) en las gráficas 5.15 a 5.19, empleando la gráfica que más se aproxime a la altura del derramadero. Si por la altura del derramadero se requiriese interpolar, emplear la gráfica 5.20.

KC5. Corregir las caídas de presión obtenidas en los incisos KC3 y KC4 a las mismas unidades ya que la caída de presión del plato seco se lee en pulgadas de agua, mientras que la altura equivalente del líquido se lee en pulgadas de líquido claro (caliente).

KC6. Sumar las caídas de presión corregidas para obtener la caída de presión total a través del plato.

KD. Cálculo de la altura del líquido retenido en la bajante (Downcomer Backup).

KD1. La altura del líquido retenido en la bajante puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$DCBU = 2\Delta P_{WET} + \Delta P_{DRY} + \Delta P_{Claro\ bajo\ la\ bajante} = \text{pulg. de líquido}$$

FIG. 5.14

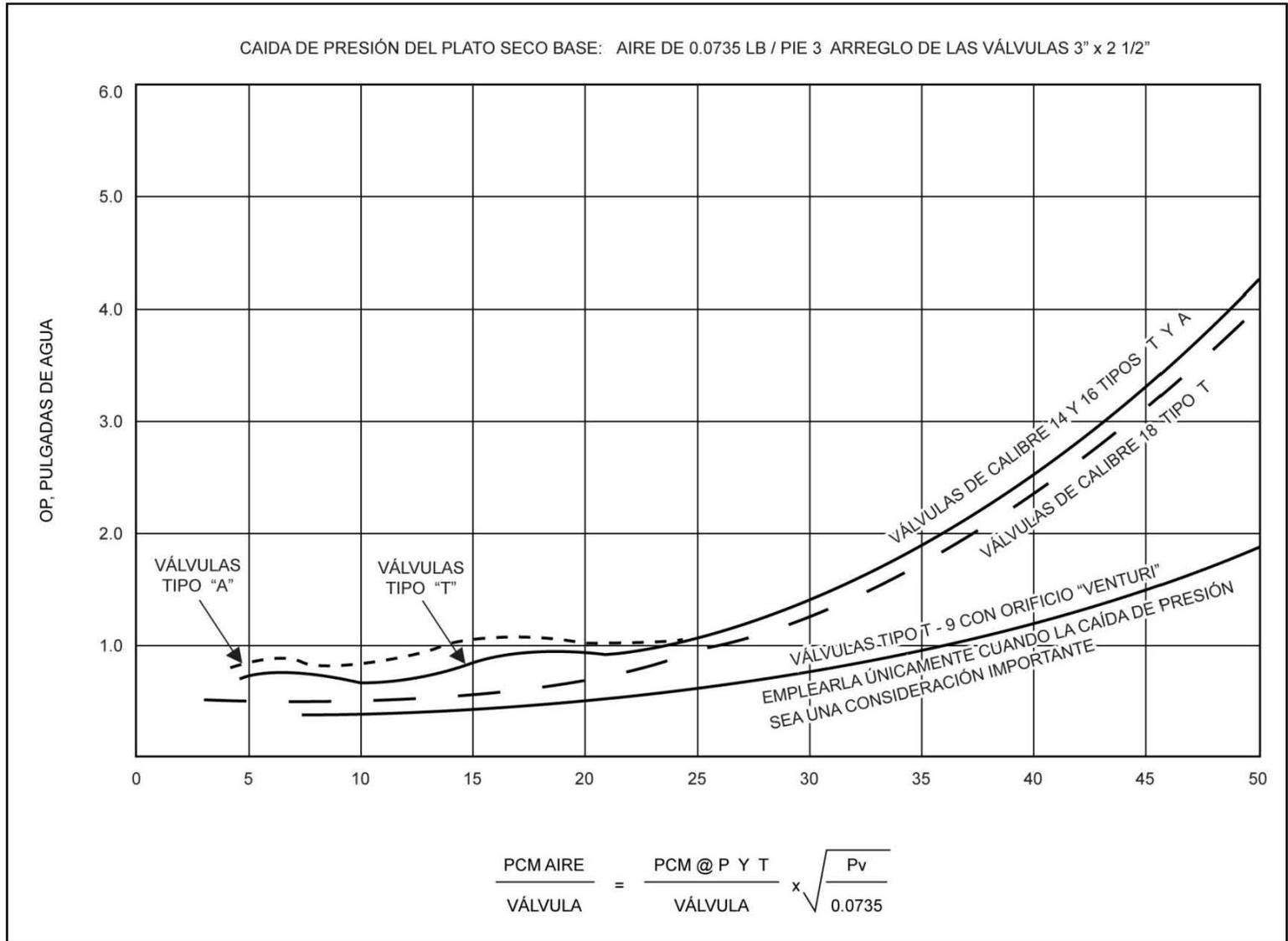


FIG. 5.15

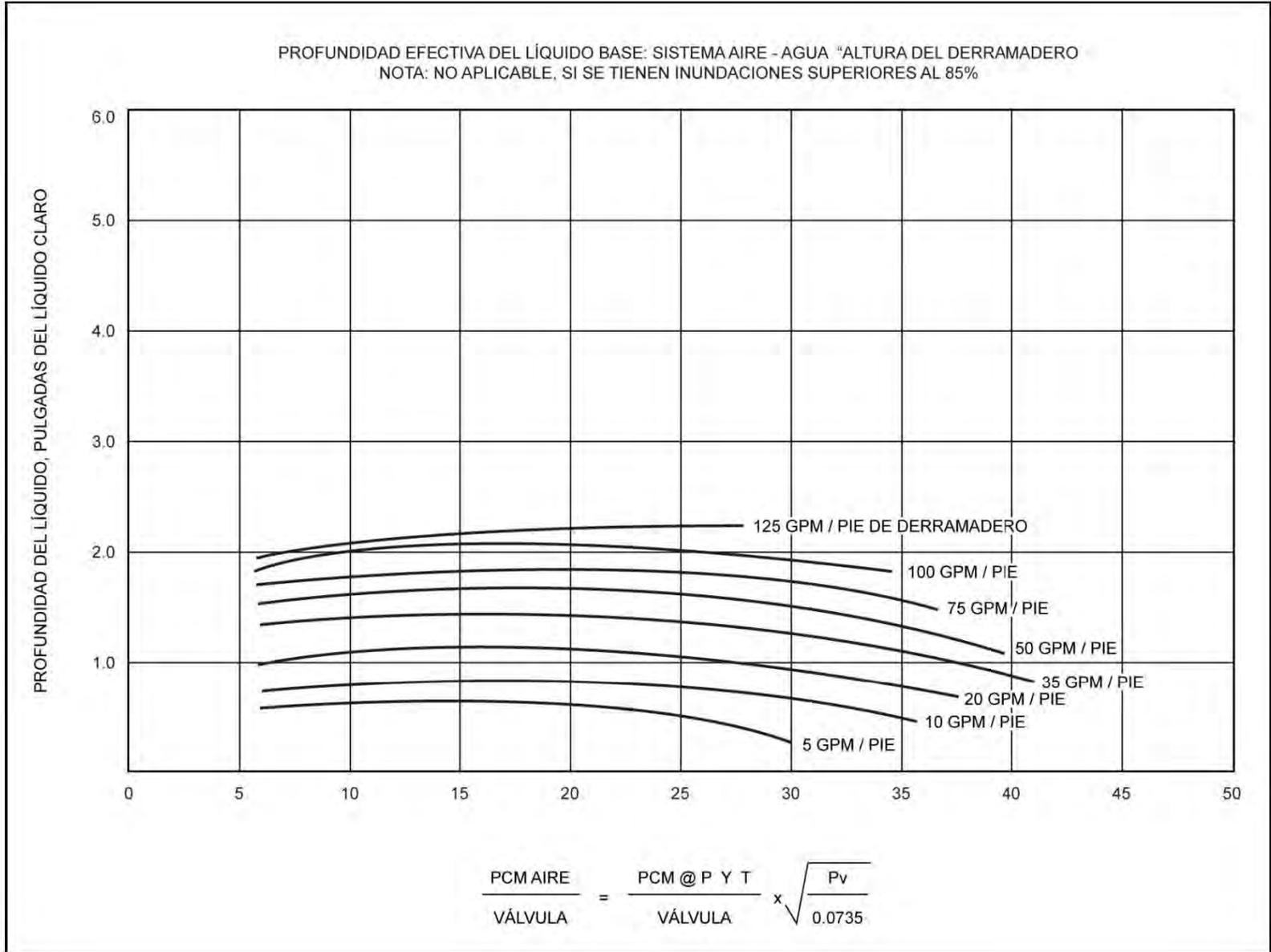


FIG. 5.16

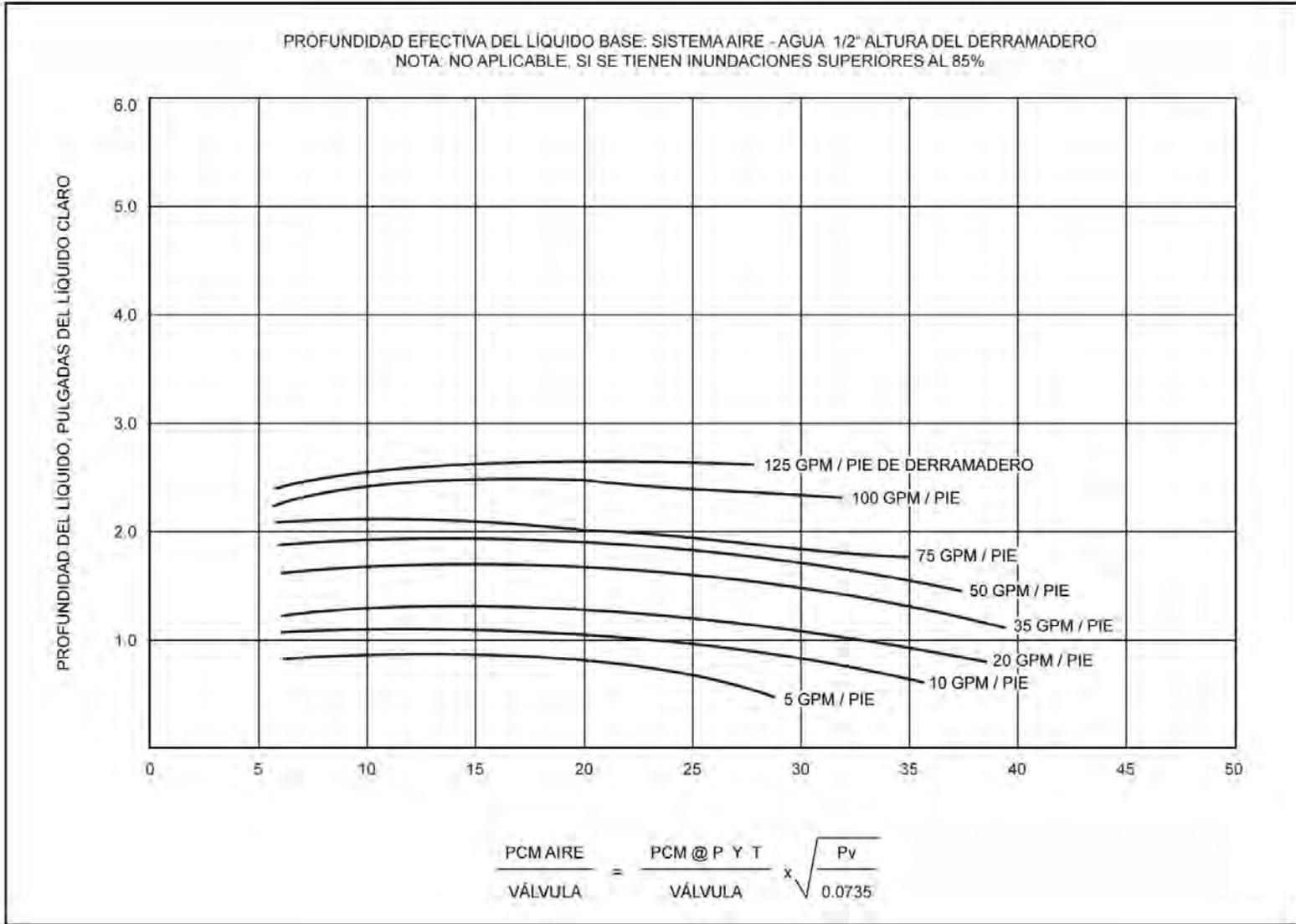


FIG. 5.17

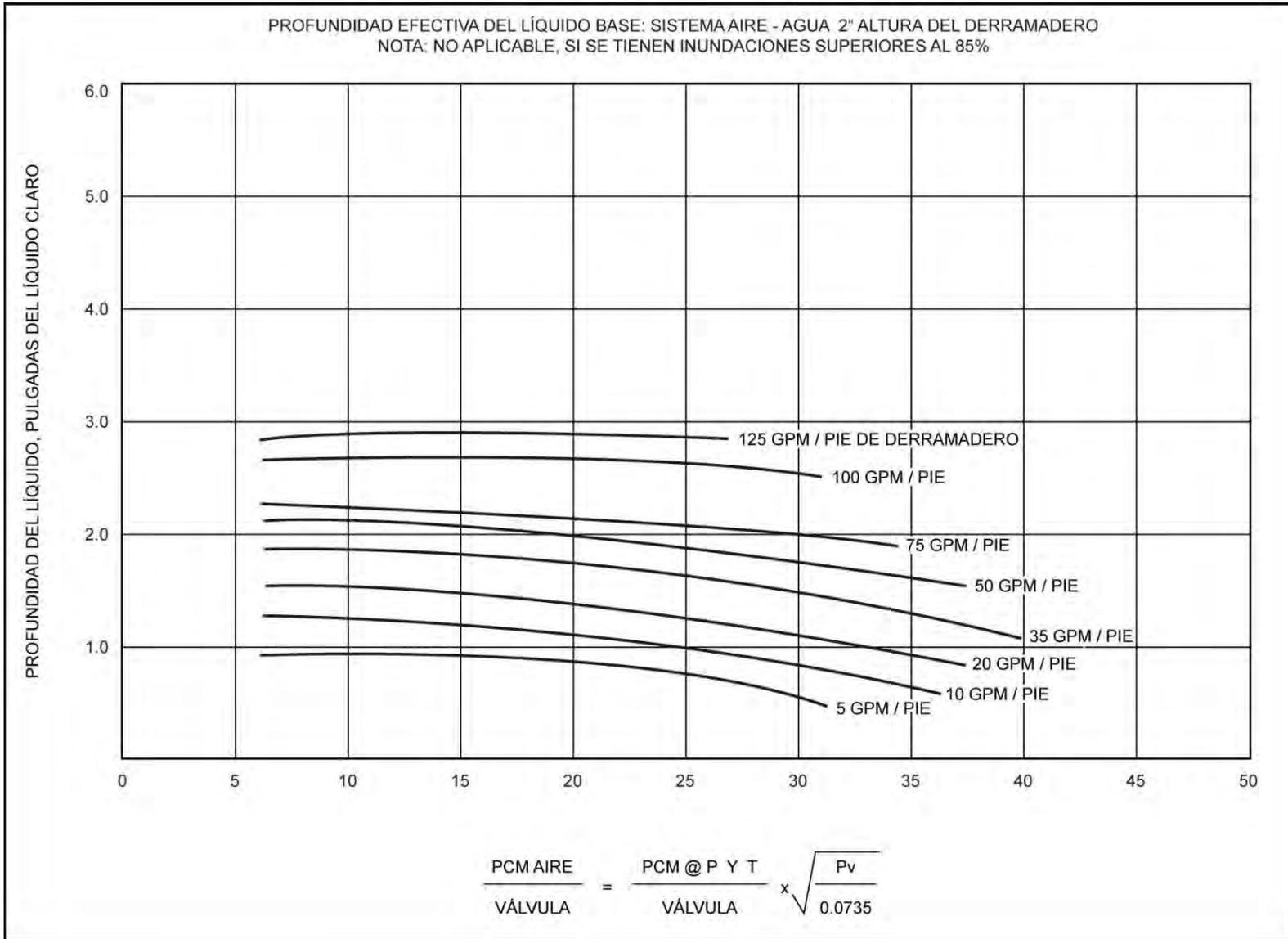


FIG. 5.18

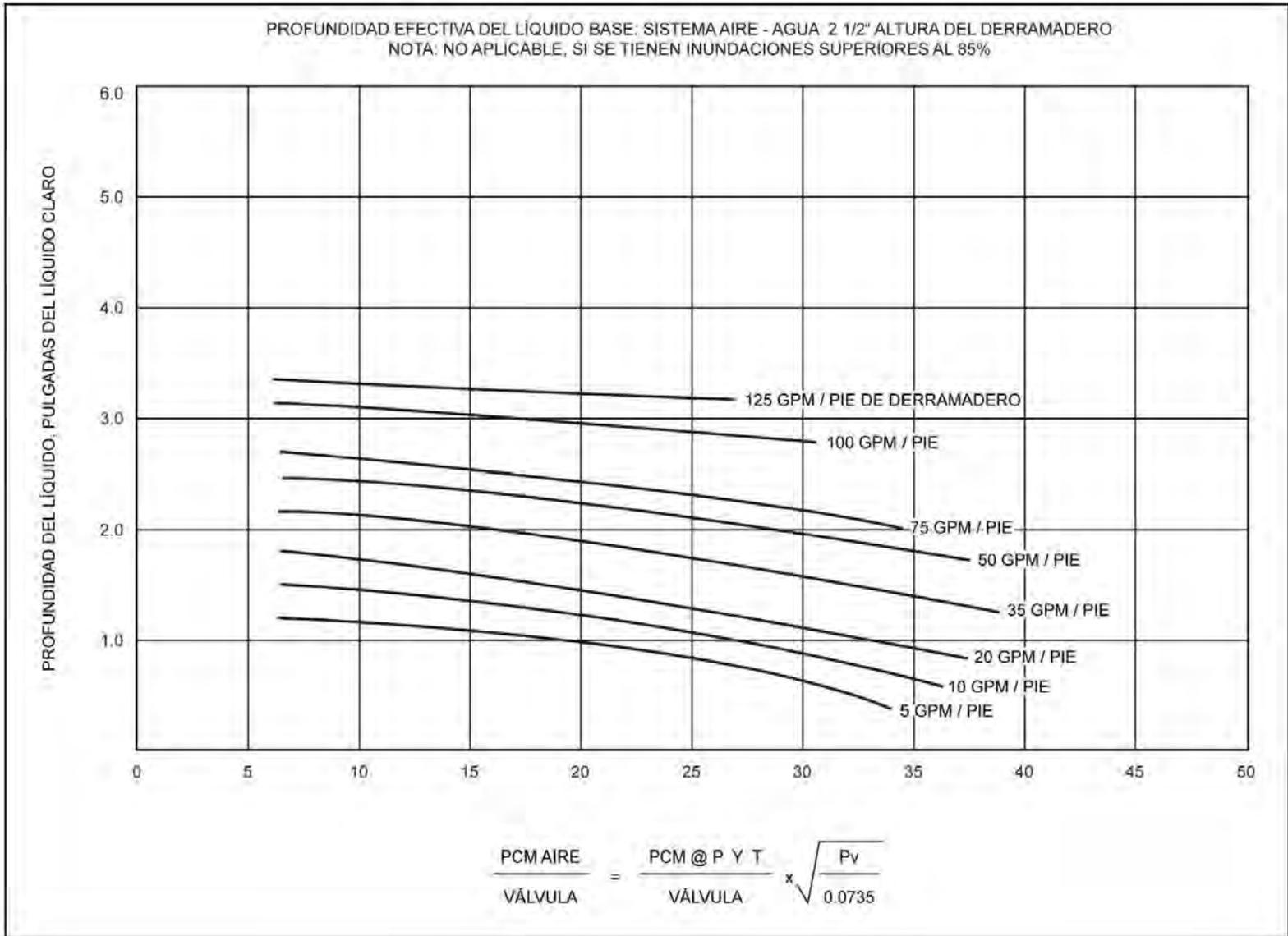


FIG. 5.19

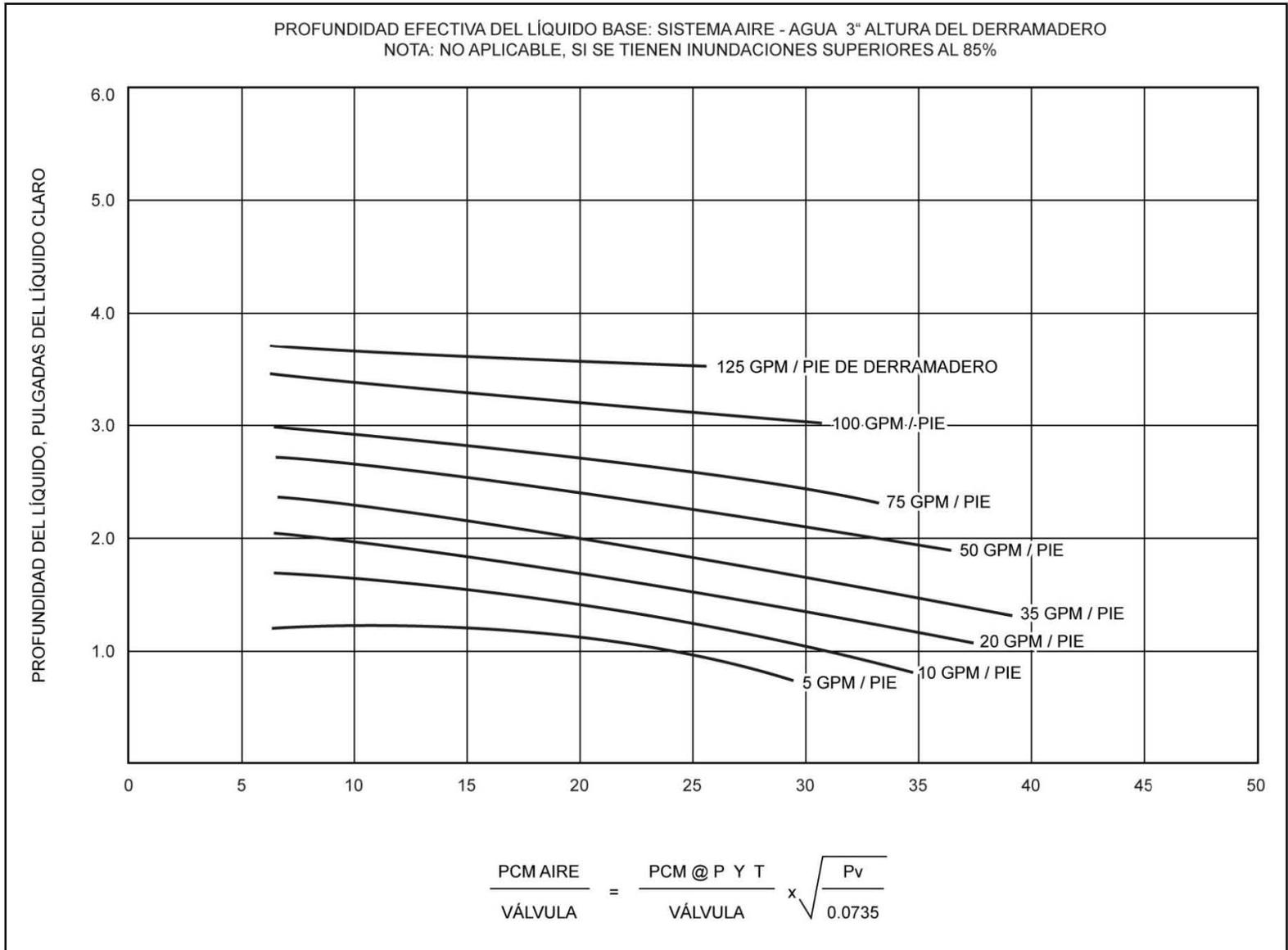


FIG. 5.20

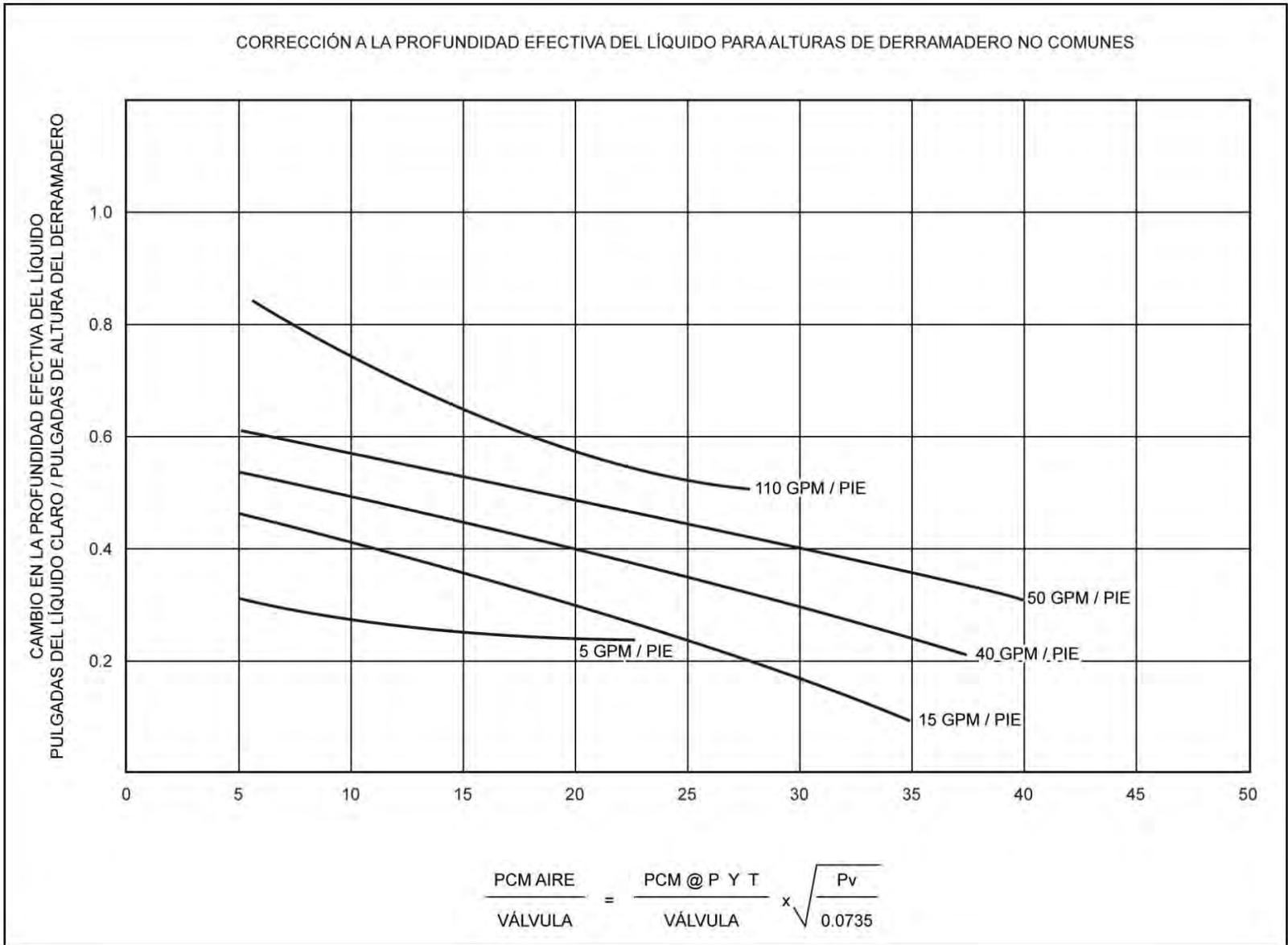
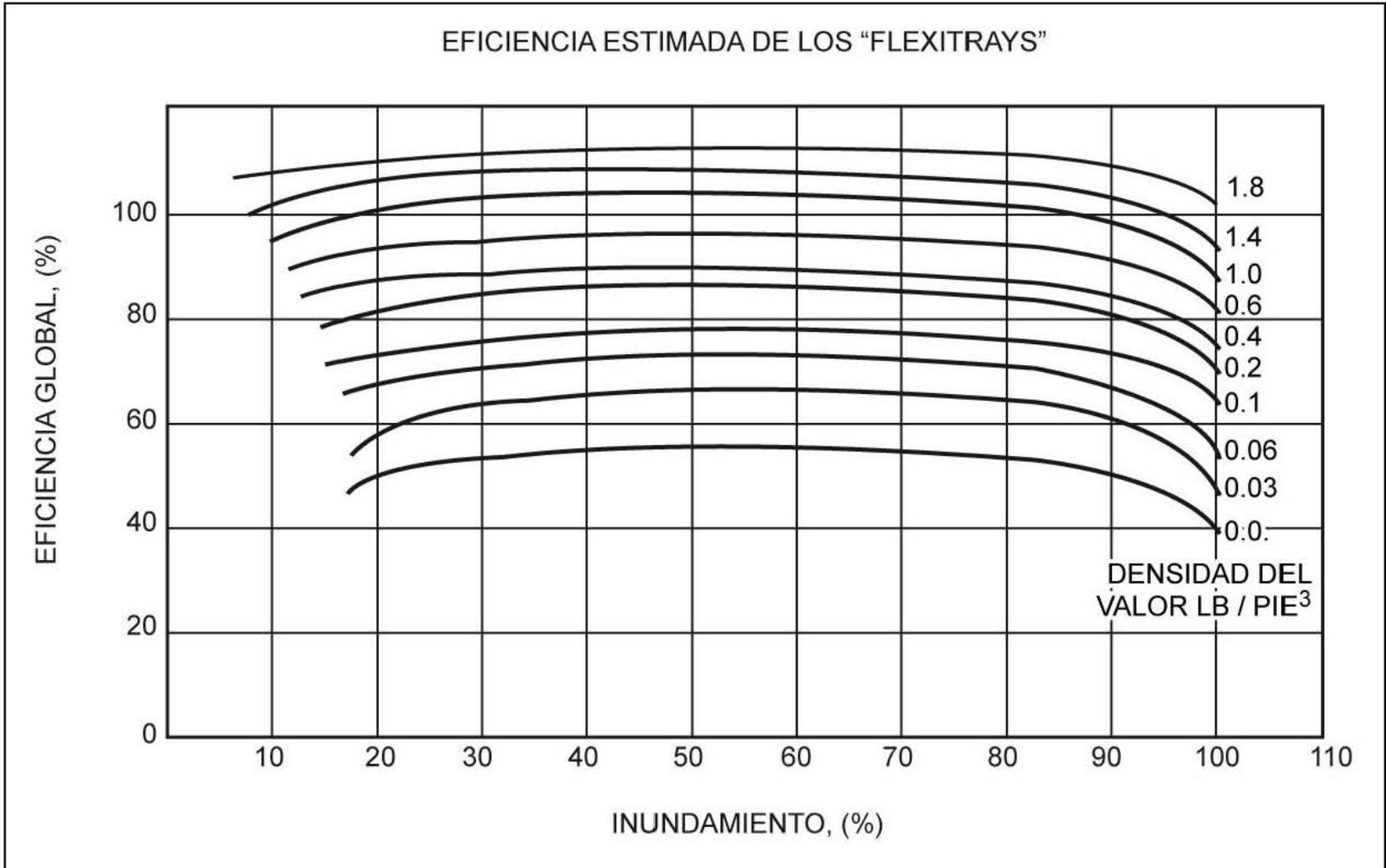


FIG. 5.21



KD2. El porcentaje del líquido retenido en la bajante con respecto a la altura disponible, está definido por:

$$\% DCBU = \frac{DCBU}{TS + h_W}$$

Donde:

$DCBU$  = Altura del líquido retenido en la bajante, pulg, líq.

$TS$  = Espaciamiento entre platos, pulgadas.

$h_W$  = Altura del derramadero, pulgadas.

DENSIDAD DEL VAPOR	% DCBU máx
Mayor a 3 lb/pie <sup>3</sup>	40
Entre 1 y 3 lb/pie <sup>3</sup>	50
Menor a 1 lb/pie <sup>3</sup>	60

KE. Estimación de la eficiencia del plato.

Para ello puede emplearse la gráfica 5.21 la cual nos da una idea de la eficiencia esperada con este tipo de platos. La correlación es para Fraccionadoras de Hidrocarburos y no se recomienda para absorbedores u otros sistemas que tengan propiedades del líquido y del vapor muy diferentes. La gráfica aplica igualmente para Flexitrays tipo "T", "A" solas ó combinadas con perforaciones.

Para otros sistemas la eficiencia puede considerarse como similar a la que se obtiene con platos perforados.

### 5.3 METODOLOGIA DE SULZER CHEMTECH USANDO PLATOS "FLOAT VALVE" <sup>(1)</sup> <sup>(3)</sup> <sup>(18)</sup> .

- N. Para proceder al dimensionamiento de los platos valvulados tipos "FLOAT VALVE" de SULZER CHEMTECH, se precisa contar con los siguientes datos y propiedades:

Flujo de líquido, galones por minuto.

Flujo de vapor, pies cúbicos por segundo.

Densidad del líquido, libras por pie cúbico.

Densidad del vapor, libras por pie cúbico.

Tensión superficial del líquido, dinas/cm.

Para sistemas compuestos por mezclas de hidrocarburos, la tensión superficial puede estimarse empleando la gráfica 5.22 ó bien la siguiente ecuación:

$$\sigma = \left[ \left( \frac{Pc}{Mw} \right) \left( \frac{D_L - D_V}{62.4} \right) \right]^4 = \text{dinas/cm.}$$

Donde:

$\sigma$  = Tensión superficial, dinas/cm.

$Pc$  = Paracoro =  $K_2(Mw) + K_1$

$Mw$  = Peso molecular del líquido

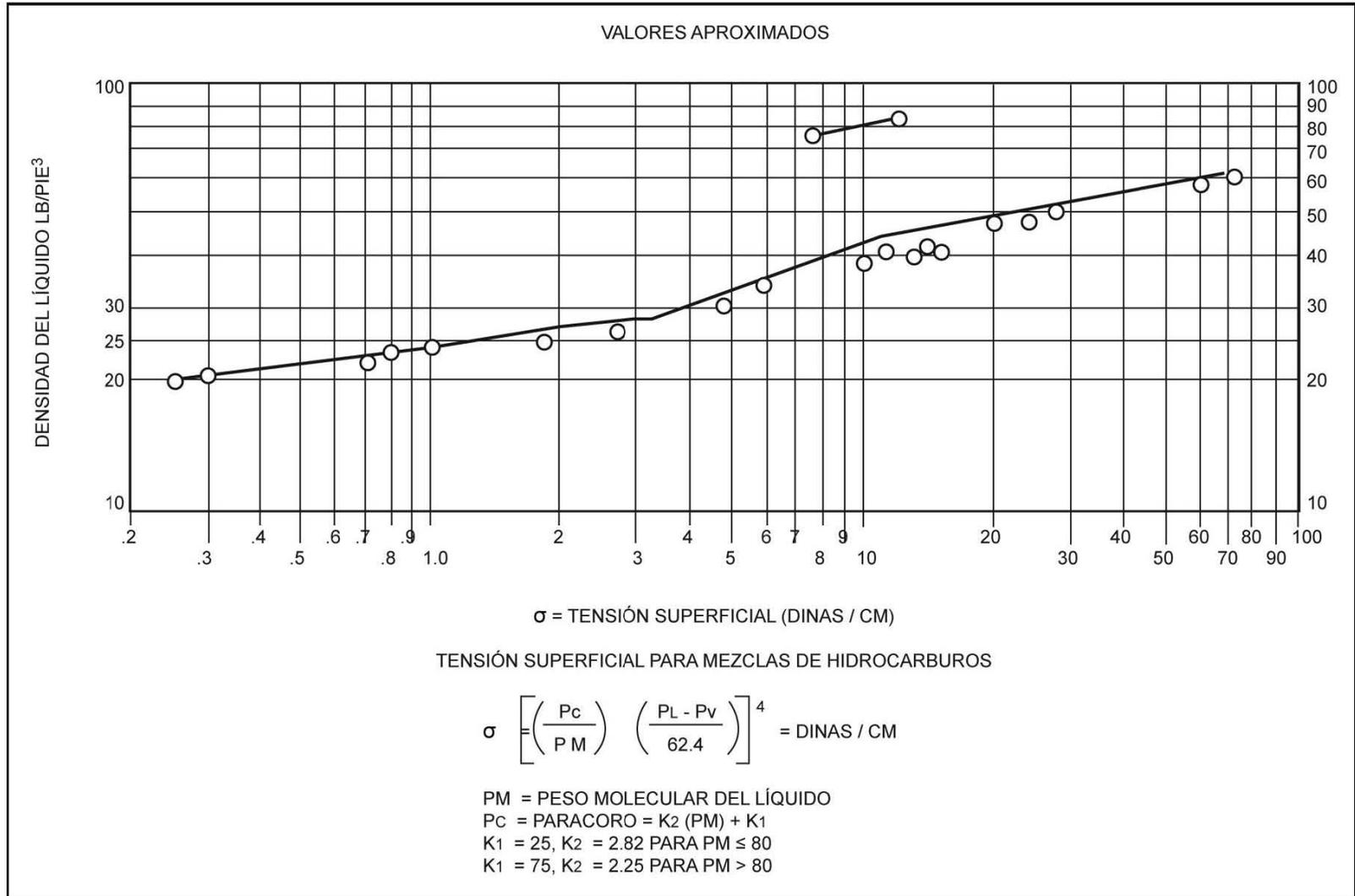
Si  $Mw \leq 80$

$$K_1 = 25, K_2 = 2.82$$

Si  $Mw > 80$

$$K_1 = 75, K_2 = 2.25$$

FIG. 5.22



PREDIMENSIONAMIENTO

$$N.1 \text{ Área requerida de bajantes, pies}^2 = DCA_{REQ} = \frac{CFS_{LIQ}(TIEMPO DE RESIDENCIA)}{(FACTOR DE ESPUMA)(TS, \text{pies})}$$

El tiempo de residencia puede obtenerse de la gráfica 5.23. El valor del factor de espuma y del tiempo de residencia para diferentes servicios puede obtenerse de la siguiente tabla.

TABLA N-1		
Servicio	Factor de Espuma	Tiempo Residencia en la bajante, seg.
Destilación al vacío	1.0	5.0
Fraccionadoras de Hidrocarburos	1.0	4.0
Fraccionadoras de Crudo	1.0	4.5
Alcoholes de bajo peso molecular	1.0	3.5
Desmetanizadoras ó Desetanizadoras operando en procesos criogénicos (domo)	0.8	8.0
Desmetanizadoras ó Desetanizadoras operando en procesos criogénicos (fondos)	1.0	5.0
Destiladora de Hidrocarburos (domos)	1.0	4.0
Destiladora de Hidrocarburos (fondos)	1.0	4.5
Regeneradores de Aminas	0.85	4.5
Regeneradores de Glicoles	0.8	4.5
Agotadora de Acido sulfhídrico	0.9	4.0
Agotadora de Aguas Amargas	0.5 – 0.7	4.5
Agotadora de Oxígeno	1.0	3.0
Contactador de Aminas	0.75	4.5
Contactador de Glicol	0.65	5.0
Contactador de Sulfinol	1.0	5.0
Absorbedor de aceites a temperaturas ambiente (mayor a 0°F)	0.85	4.5
Absorbedor de aceites a bajas temperaturas (inferior a 0°F)	0.95	4.5

TABLA N.2.	
Clasificación General del espumado	Factor de espuma
No espumante	1.0
Poco espumante	0.9
Moderadamente espumante	0.75
Altamente espumante	0.6

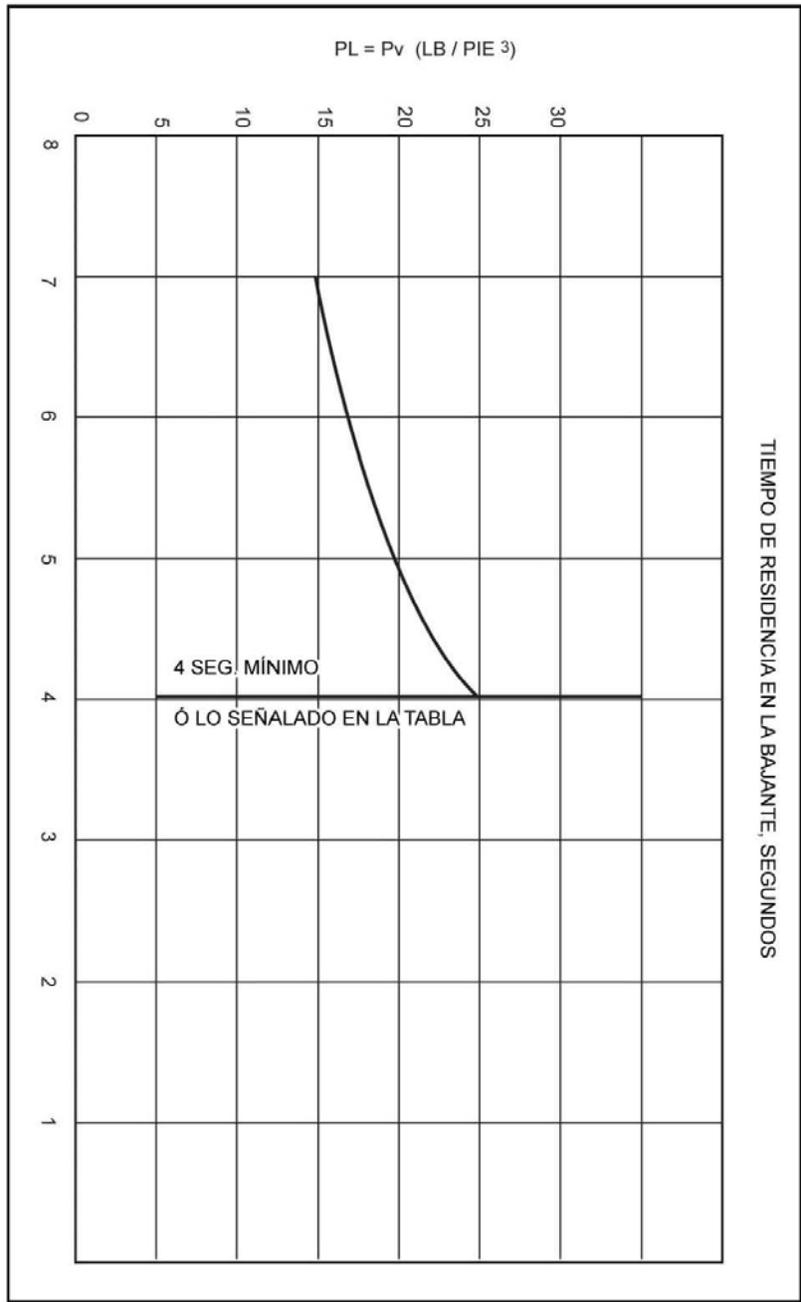
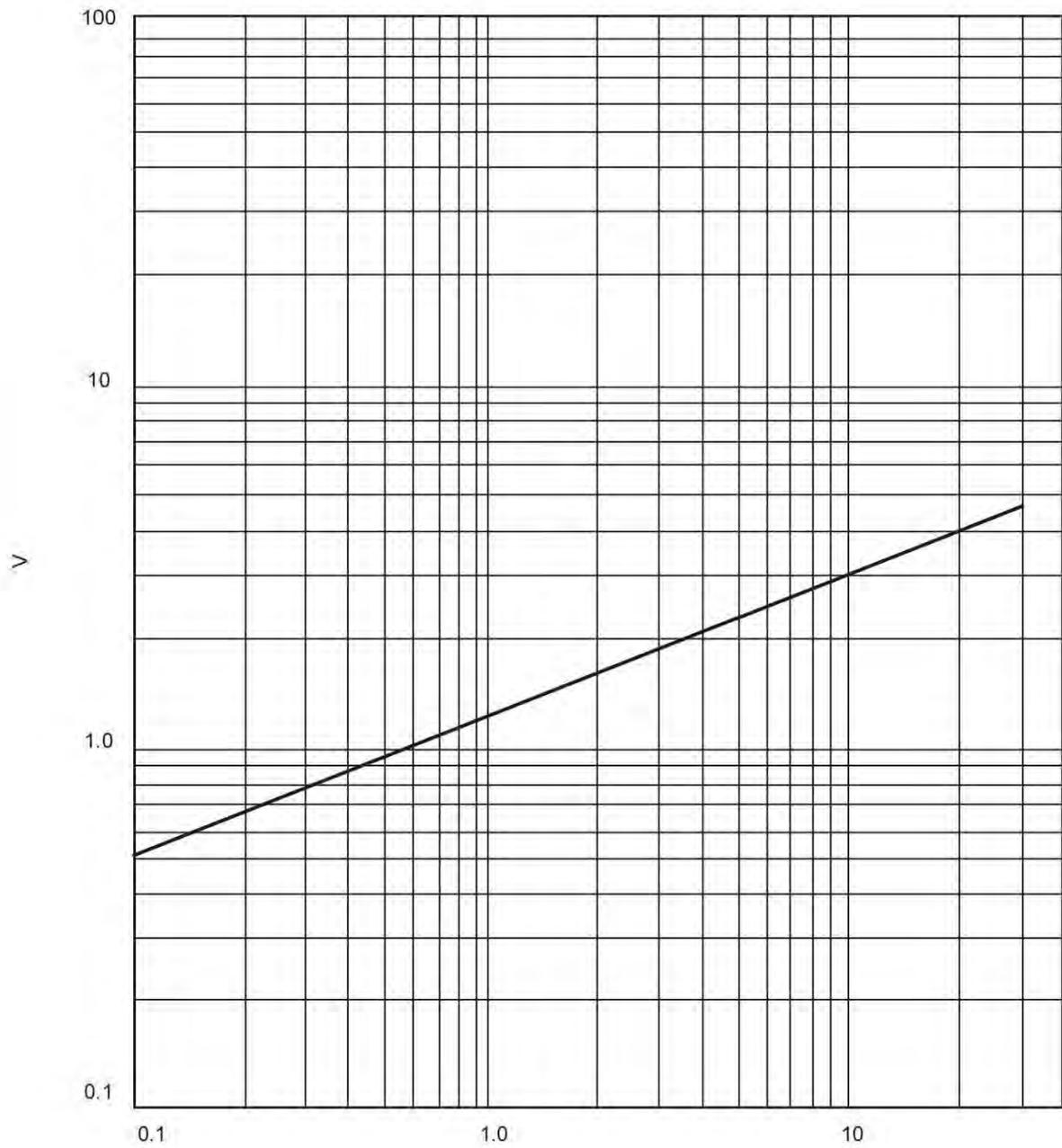


FIG. 5.23



$$\frac{\sigma}{P_v} = \frac{\text{TENSIÓN SUPERFICIAL (DINAS / CM)}}{\text{DENSIDAD DEL VAPOR (LB / PIE}^3\text{)}}$$

FIG. 5.24

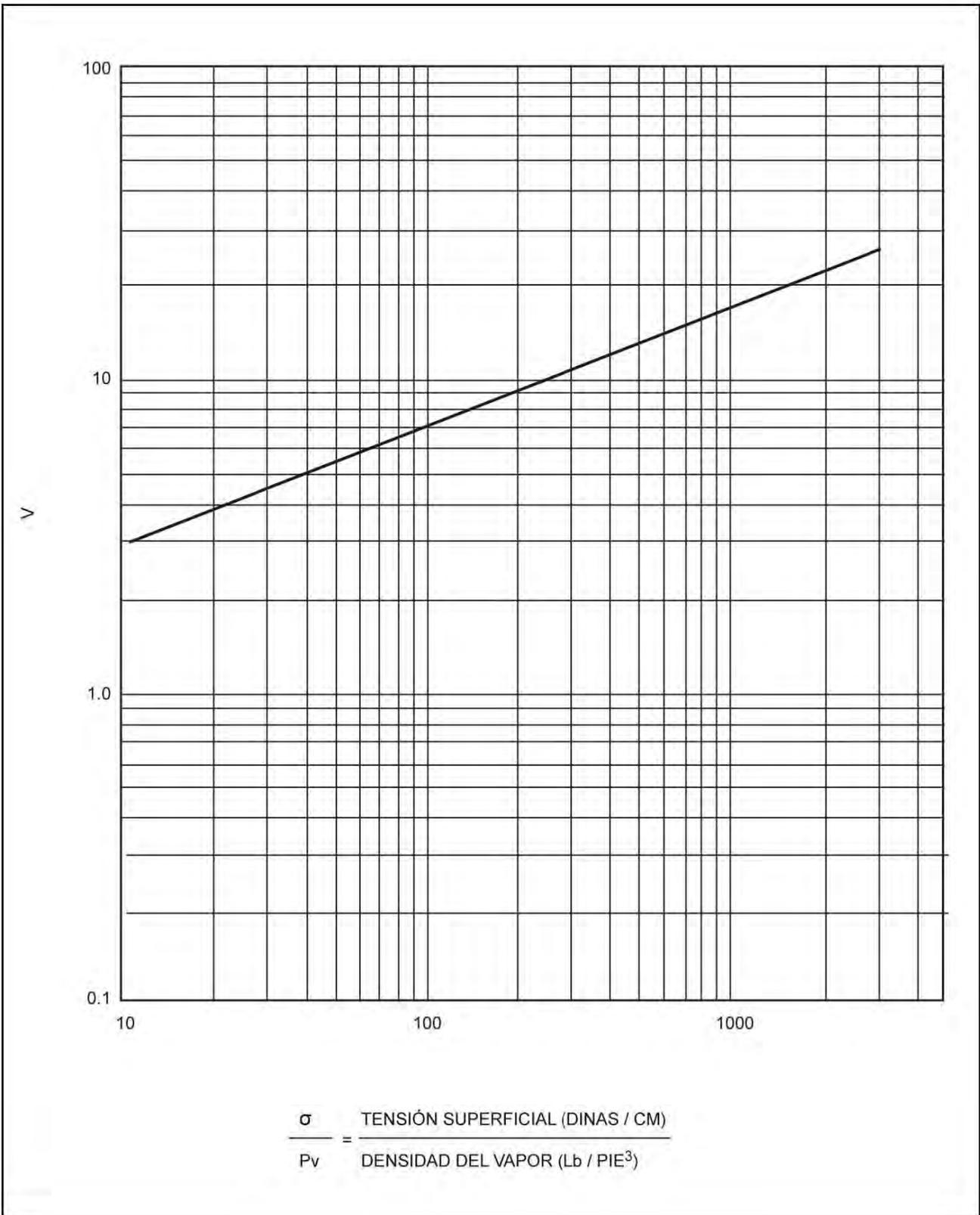


FIG. 5.25

FIG. 5.26

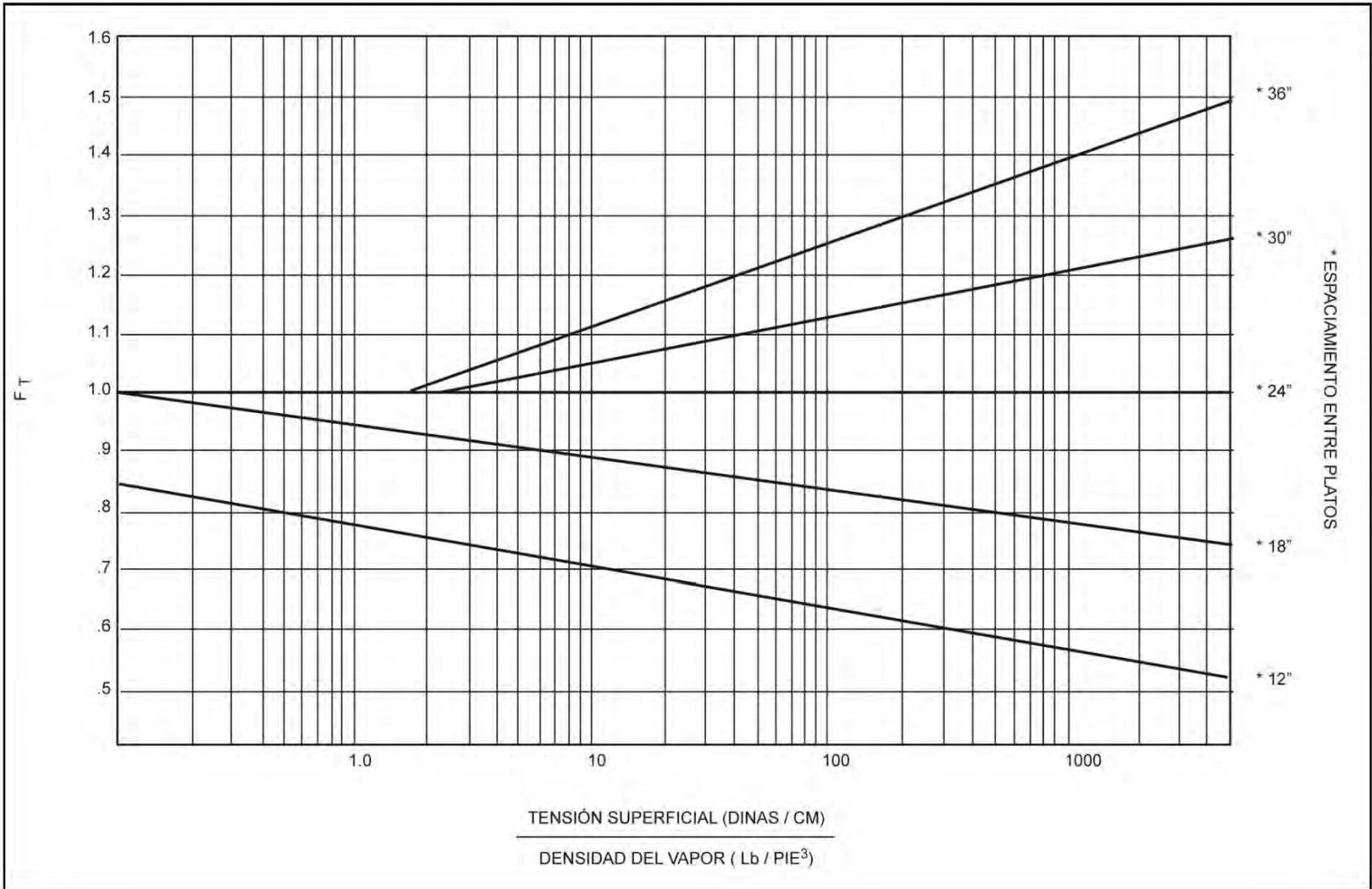
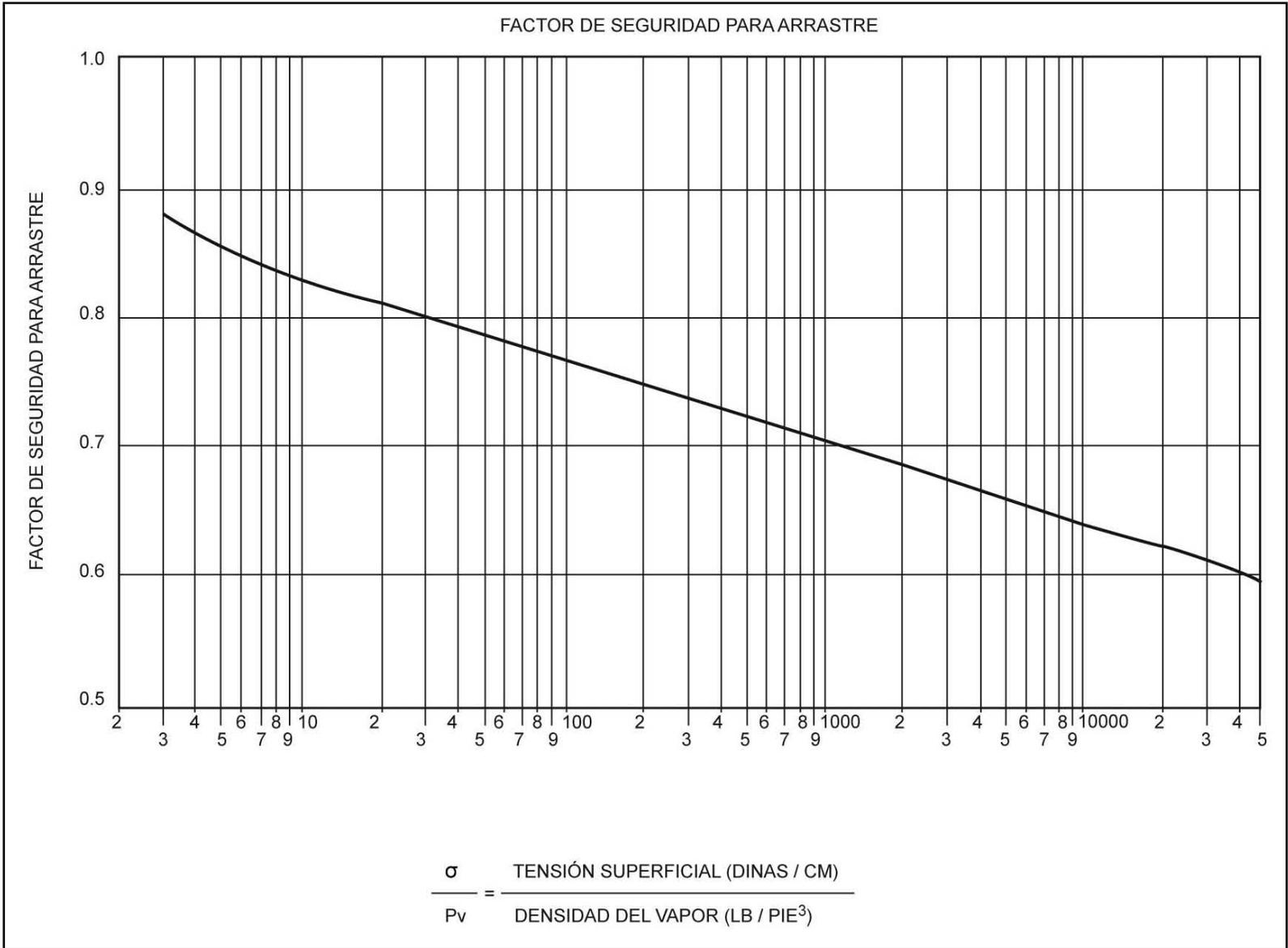


FIG. 5.27



N2. Área de burbujeo requerida, pies<sup>2</sup>

$$A_{b REQ} = \frac{CFS_{VAP} + CFS_{LIQ}}{V F_t (FACTOR DE ESPUMA)}$$

Donde:

V = Velocidad límite del sistema, de las gráficas 5.24 y 5.25.

$F_t$  = Factor de espaciamiento entre los platos, de la gráfica 5.26.

N.3 Área de la columna, pies<sup>2</sup>

$$A_T = \frac{2 DCA_{REQ} + A_{b REQ}}{(FACTOR DE SEGURIDAD)}$$

El factor de seguridad se considera normalmente como 0.8 pero puede ser menor si el factor de seguridad por arrastre se considera limitante (gráfica 5.27). El factor de seguridad corresponde con la fracción del inundamiento por arrastre en la cual la eficiencia empieza a declinar significativamente, tal como se muestra en la gráfica 5.28.

Una vez conocida el área de la columna, se calcula el diámetro de la torre y se redondea éste al siguiente medio pie; entonces se calcula el área de la columna para el nuevo diámetro.

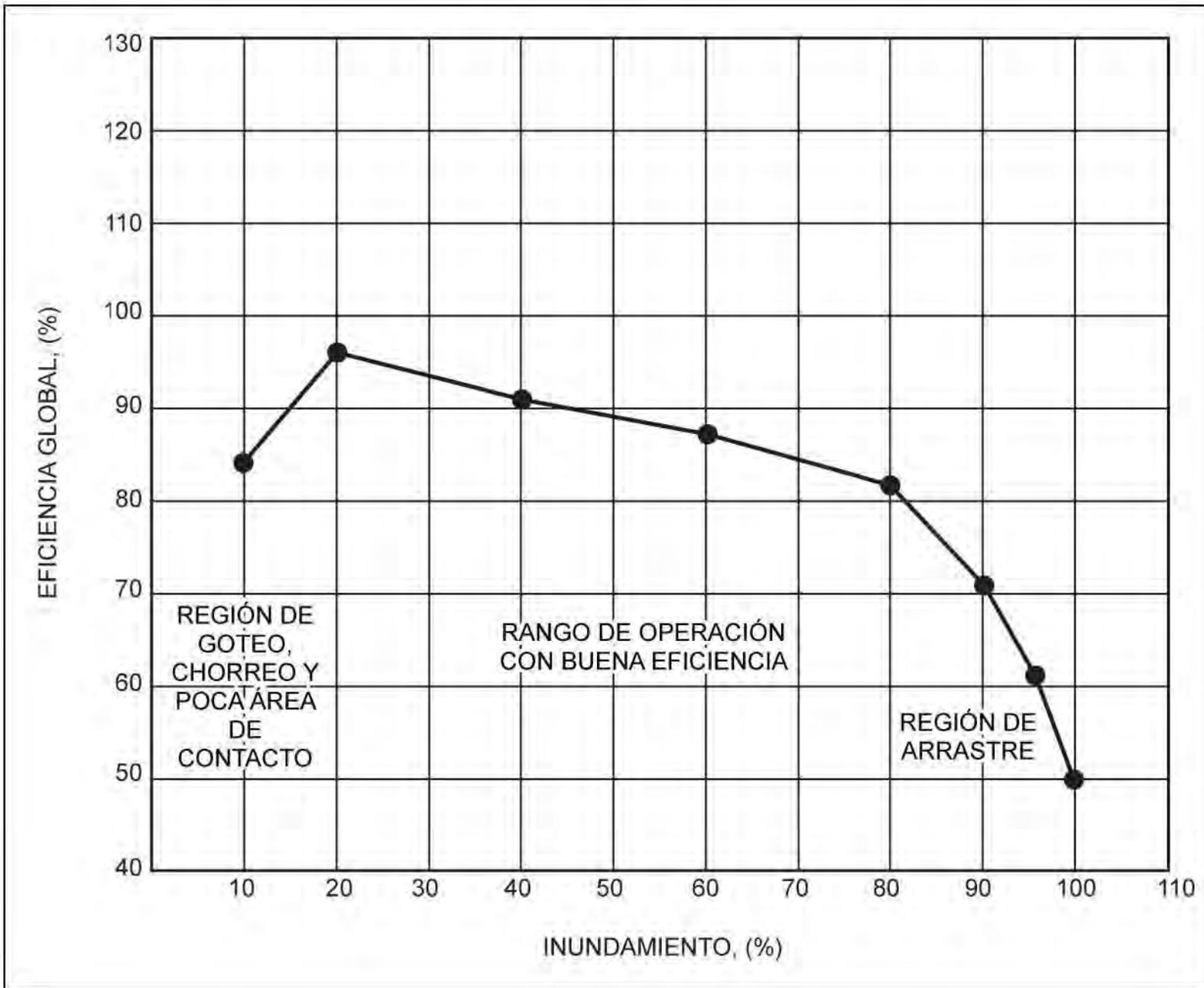
N.4 Dimensionamiento detallado

El siguiente procedimiento se utiliza para fijar las dimensiones de las bajantes, a fin de tener equilibrados el inundamiento en la bajante y el ocasionado por el arrastre del vapor.

$$\% DCA = \frac{DCA_{REQ}}{2 DCA_{REQ} + A_{b REQ}}$$

Empleando %DCA/No. de pasos en las tablas N.3 y N.4 y con el área ajustada de la columna podemos obtener la anchura de la bajante lateral, la cual deberá redondearse a la siguiente media pulgada. Posteriormente, empleando el valor ajustado, el área de bajantes corregida y la longitud del derramadero podrán calcularse empleando las N.3 y N.4 Sulzer recomienda la distribución que se señala en la figura 5.29 para las áreas de burbujeo y bajantes. Para seleccionar el tipo de bajante a emplear se recomienda lo indicado en la figura 5.30.

FIG. 5.28



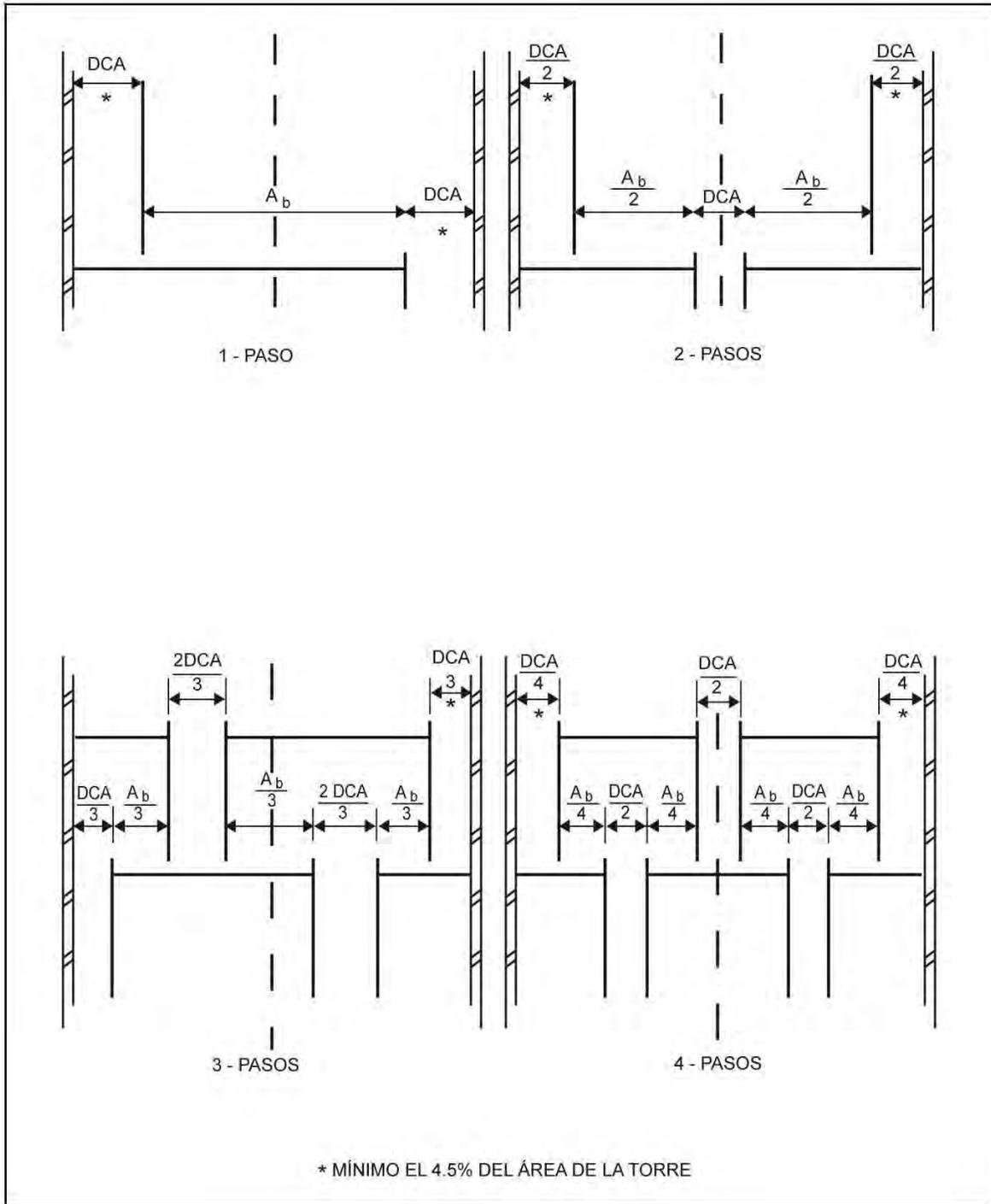


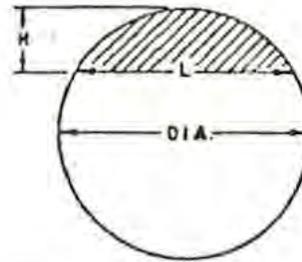
FIG. 5.29 DISTRIBUCIÓN DE AREAS

**TABLA N.3 AREAS TRANSVERSALES DE COLUMNAS <sup>(14)</sup>.**

DIAMETRO TORRE			DIAMETRO TORRE		
PIES	PULG	PIES <sup>2</sup>	PIES	PULG	PIES <sup>2</sup>
2'-0"	24"	3.142	21'-0"	252"	346.361
2'-6"	30"	4.909	21'-6"	258"	363.050
3'-0"	36"	7.069	22'-0"	264"	380.133
3'-6"	42"	9.621	22'-6"	270"	397.608
4'-0"	48"	12.566	23'-0"	276"	415.476
4'-6"	54"	15.904	23'-6"	282"	433.736
5'-0"	60"	19.635	24'-0"	288"	452.389
5'-6"	66"	23.758	24'-6"	294"	471.435
6'-0"	72"	28.274	25'-0"	300"	490.874
6'-6"	78"	33.183	25'-6"	306"	510.705
7'-0"	84"	38.485	26'-0"	312"	530.929
7'-6"	90"	44.179	26'-6"	318"	552.546
8'-0"	96"	50.266	27'-0"	324"	572.555
8'-6"	102"	56.745	27'-6"	330"	593.957
9'-0"	108"	63.617	28'-0"	336"	616.762
9'-6"	114"	70.882	28'-6"	342"	637.940
10'-0"	120"	78.540	29'-0"	348"	660.520
10'-6"	126"	86.590	29'-6"	354"	683.493
11'-0"	132"	95.033	30'-0"	360"	706.858
11'-6"	138"	103.869	30'-6"	366"	730.617
12'-0"	144"	113.098	31'-0"	372"	754.768
12'-6"	150"	122.719	31'-6"	378"	779.311
13'-0"	156"	132.733	32'-0"	384"	804.248
13'-6"	162"	143.139	32'-6"	390"	829.577

14'-0"	168"	153.938	33'-0"	396"	855.299
14'-6"	174"	165.130	33'-6"	402"	881.413
15'-0"	180"	176.715	34'-0"	408"	907.92
15'-6"	186"	188.692	34'-6"	414"	934.82
16'-0"	192"	201.062	35'-0"	420"	962.113
16'-6"	198"	213.825	35'-6"	426"	989.798
17'-0"	204"	226.980	36'-0"	432"	1017.876
17'-6"	210"	240.528	36'-6"	438"	1046.347
18'-0"	216"	254.469	37'-0"	444"	1075.210
18'-6"	222"	268.803	37'-6"	450"	1104.466
19'-0"	228"	283.529	38'-0"	456"	1134.115
19'-6"	234"	298.648	38'-6"	462"	1164.156
20'-0"	240"	314.159	39'-0"	468"	1194.591
20'-6"	246"	330.064	39'-6"	476"	1225.417

TABLA N.º 4 DIMENSIONES DE BAJANTES.



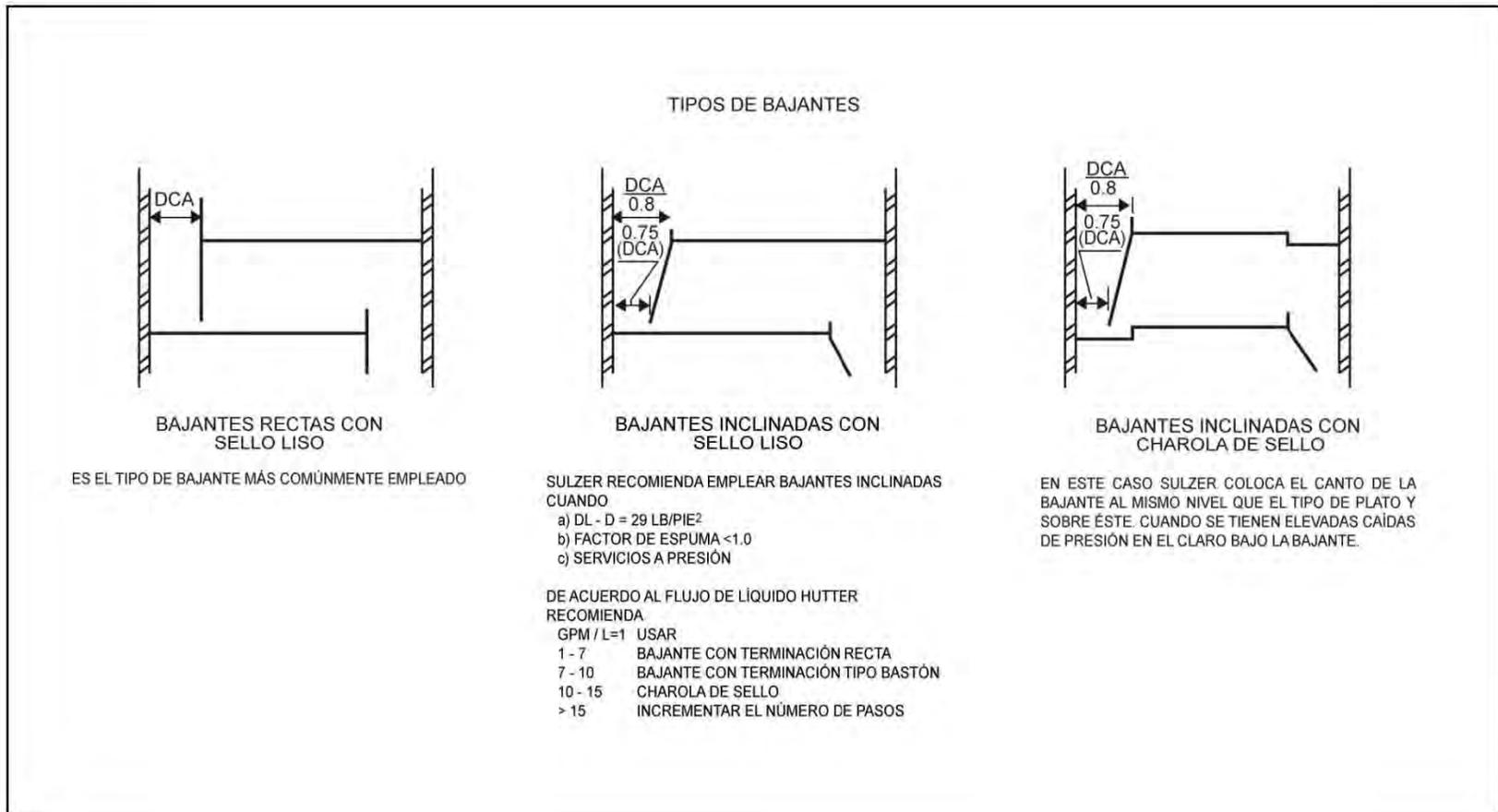
H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>	H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>	H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>	H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>	H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>
.0000	.0000	.0000	.0200	.2809	.0048	.0400	.3919	.0134	.0600	.4750	.0245	.0800	.5426	.0375
.0005	.0447	.0000	.0205	.2834	.0050	.0405	.3943	.0137	.0605	.4768	.0248	.0805	.5441	.0378
.0010	.0032	.0001	.0210	.2868	.0051	.0410	.3966	.0139	.0610	.4787	.0251	.0810	.5457	.0382
.0015	.0774	.0001	.0215	.2901	.0053	.0415	.3989	.0142	.0615	.4805	.0254	.0815	.5472	.0385
.0020	.0894	.0002	.0220	.2934	.0055	.0420	.4012	.0144	.0620	.4823	.0257	.0820	.5487	.0389
.0025	.0999	.0002	.0225	.2966	.0057	.0425	.4035	.0147	.0625	.4841	.0260	.0825	.5502	.0392
.0030	.1094	.0003	.0230	.2998	.0059	.0430	.4057	.0149	.0630	.4859	.0263	.0830	.5518	.0396
.0035	.1181	.0004	.0235	.3030	.0061	.0435	.4080	.0152	.0635	.4877	.0266	.0835	.5533	.0399
.0040	.1262	.0004	.0240	.3061	.0063	.0440	.4102	.0155	.0640	.4895	.0270	.0840	.5548	.0403
.0045	.1339	.0005	.0245	.3092	.0065	.0445	.4124	.0157	.0645	.4913	.0273	.0845	.5563	.0406
.0050	.1411	.0006	.0250	.3122	.0067	.0450	.4146	.0160	.0650	.4931	.0276	.0850	.5578	.0410
.0055	.1479	.0007	.0255	.3153	.0069	.0455	.4168	.0162	.0655	.4948	.0279	.0855	.5592	.0413
.0060	.1545	.0008	.0260	.3183	.0071	.0460	.4190	.0165	.0660	.4966	.0282	.0860	.5607	.0417
.0065	.1607	.0009	.0265	.3212	.0073	.0465	.4211	.0168	.0665	.4983	.0285	.0865	.5622	.0421
.0070	.1667	.0010	.0270	.3242	.0075	.0470	.4233	.0171	.0670	.5000	.0288	.0870	.5637	.0424
.0075	.1726	.0011	.0275	.3271	.0077	.0475	.4254	.0173	.0675	.5018	.0292	.0875	.5651	.0428
.0080	.1782	.0012	.0280	.3299	.0079	.0480	.4275	.0176	.0680	.5035	.0295	.0880	.5666	.0431
.0085	.1836	.0013	.0285	.3328	.0081	.0485	.4296	.0179	.0685	.5052	.0298	.0885	.5680	.0435
.0090	.1889	.0014	.0290	.3356	.0083	.0490	.4317	.0181	.0690	.5069	.0301	.0890	.5695	.0439
.0095	.1940	.0016	.0295	.3384	.0085	.0495	.4338	.0184	.0695	.5086	.0304	.0895	.5709	.0442
.0100	.1990	.0017	.0300	.3412	.0087	.0500	.4359	.0187	.0700	.5103	.0308	.0900	.5724	.0446
.0105	.2039	.0018	.0305	.3439	.0090	.0505	.4379	.0190	.0705	.5120	.0311	.0905	.5738	.0449
.0110	.2086	.0020	.0310	.3466	.0092	.0510	.4400	.0193	.0710	.5136	.0314	.0910	.5752	.0453
.0115	.2132	.0021	.0315	.3493	.0094	.0515	.4420	.0195	.0715	.5153	.0318	.0915	.5766	.0457
.0120	.2178	.0022	.0320	.3520	.0096	.0520	.4441	.0198	.0720	.5170	.0321	.0920	.5781	.0460
.0125	.2222	.0024	.0325	.3546	.0098	.0525	.4461	.0201	.0725	.5186	.0324	.0925	.5795	.0464
.0130	.2265	.0025	.0330	.3573	.0101	.0530	.4481	.0204	.0730	.5203	.0327	.0930	.5809	.0468
.0135	.2308	.0027	.0335	.3599	.0103	.0535	.4501	.0207	.0735	.5219	.0331	.0935	.5823	.0472
.0140	.2350	.0028	.0340	.3625	.0105	.0540	.4520	.0210	.0740	.5235	.0334	.0940	.5837	.0475
.0145	.2391	.0030	.0345	.3650	.0108	.0545	.4540	.0212	.0745	.5252	.0337	.0945	.5850	.0479
.0150	.2431	.0031	.0350	.3676	.0110	.0550	.4560	.0215	.0750	.5268	.0341	.0950	.5864	.0483
.0155	.2471	.0033	.0355	.3701	.0112	.0555	.4579	.0218	.0755	.5284	.0344	.0955	.5878	.0486
.0160	.2510	.0034	.0360	.3726	.0115	.0560	.4598	.0221	.0760	.5300	.0347	.0960	.5892	.0490
.0165	.2548	.0036	.0365	.3751	.0117	.0565	.4618	.0224	.0765	.5316	.0351	.0965	.5906	.0494
.0170	.2585	.0037	.0370	.3775	.0119	.0570	.4637	.0227	.0770	.5332	.0354	.0970	.5919	.0498
.0175	.2622	.0039	.0375	.3800	.0122	.0575	.4656	.0230	.0775	.5348	.0358	.0975	.5933	.0501
.0180	.2659	.0041	.0380	.3824	.0124	.0580	.4675	.0233	.0780	.5363	.0361	.0980	.5946	.0505
.0185	.2695	.0042	.0385	.3848	.0127	.0585	.4694	.0236	.0785	.5379	.0364	.0985	.5960	.0509
.0190	.2730	.0044	.0390	.3872	.0129	.0590	.4712	.0239	.0790	.5395	.0368	.0990	.5973	.0513
.0195	.2765	.0046	.0395	.3896	.0132	.0595	.4731	.0242	.0795	.5410	.0371	.0995	.5987	.0517

H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>	H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>	H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>	H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>	H/DIA	L/DIA	A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub>
.000	.6008	.0520	.1275	.6671	.0743	.1550	.7238	.0986	.1825	.7725	.1249	.2100	.8146	.1527
.005	.6013	.0524	.1280	.6682	.0747	.1555	.7248	.0991	.1830	.7733	.1253	.2105	.8153	.1532
.010	.6027	.0528	.1285	.6693	.0751	.1560	.7257	.0996	.1835	.7742	.1258	.2110	.8160	.1537
.1015	.6040	.0532	.1290	.6704	.0755	.1565	.7267	.1000	.1840	.7750	.1263	.2115	.8167	.1542
.1020	.6053	.0536	.1295	.6715	.0760	.1570	.7276	.1005	.1845	.7758	.1268	.2120	.8174	.1547
.025	.6066	.0540	.1300	.6726	.0764	.1575	.7285	.1009	.1850	.7766	.1273	.2125	.8182	.1553
.030	.6079	.0544	.1305	.6737	.0768	.1580	.7295	.1014	.1855	.7774	.1278	.2130	.8189	.1558
.035	.6092	.0547	.1310	.6748	.0773	.1585	.7304	.1019	.1860	.7782	.1283	.2135	.8196	.1563
.1040	.6105	.0551	.1315	.6759	.0777	.1590	.7314	.1023	.1865	.7790	.1288	.2140	.8203	.1568
.1045	.6118	.0555	.1320	.6770	.0781	.1595	.7323	.1028	.1870	.7798	.1293	.2145	.8210	.1573
.050	.6131	.0559	.1325	.6781	.0785	.1600	.7332	.1033	.1875	.7806	.1298	.2150	.8216	.1579
.055	.6144	.0563	.1330	.6791	.0790	.1605	.7341	.1037	.1880	.7814	.1303	.2155	.8223	.1584
.060	.6157	.0567	.1335	.6802	.0794	.1610	.7351	.1042	.1885	.7822	.1308	.2160	.8230	.1589
.1065	.6170	.0571	.1340	.6813	.0798	.1615	.7360	.1047	.1890	.7830	.1313	.2165	.8237	.1594
.1070	.6182	.0575	.1345	.6824	.0803	.1620	.7369	.1051	.1895	.7838	.1318	.2170	.8244	.1600
.1075	.6195	.0579	.1350	.6834	.0807	.1625	.7378	.1056	.1900	.7846	.1323	.2175	.8251	.1605
.1080	.6208	.0583	.1355	.6845	.0811	.1630	.7387	.1061	.1905	.7854	.1328	.2180	.8258	.1610
.1085	.6220	.0587	.1360	.6856	.0816	.1635	.7396	.1066	.1910	.7862	.1333	.2185	.8265	.1615
.1090	.6233	.0591	.1365	.6866	.0820	.1640	.7406	.1070	.1915	.7870	.1338	.2190	.8271	.1621
.1095	.6245	.0595	.1370	.6877	.0825	.1645	.7415	.1075	.1920	.7877	.1343	.2195	.8278	.1626
.1100	.6258	.0598	.1375	.6887	.0829	.1650	.7424	.1080	.1925	.7885	.1348	.2200	.8285	.1631
.1105	.6270	.0602	.1380	.6898	.0833	.1655	.7433	.1084	.1930	.7893	.1353	.2205	.8292	.1636
.1110	.6283	.0606	.1385	.6908	.0838	.1660	.7442	.1089	.1935	.7901	.1358	.2210	.8299	.1642
.1115	.6295	.0610	.1390	.6919	.0842	.1665	.7451	.1094	.1940	.7909	.1363	.2215	.8305	.1647
.1120	.6307	.0614	.1395	.6929	.0847	.1670	.7460	.1099	.1945	.7916	.1368	.2220	.8312	.1652
.1125	.6320	.0619	.1400	.6940	.0851	.1675	.7468	.1103	.1950	.7924	.1373	.2225	.8319	.1658
.1130	.6332	.0623	.1405	.6950	.0855	.1680	.7477	.1108	.1955	.7932	.1378	.2230	.8325	.1663
.1135	.6344	.0627	.1410	.6960	.0860	.1685	.7486	.1113	.1960	.7939	.1383	.2235	.8332	.1668
.1140	.6356	.0631	.1415	.6971	.0864	.1690	.7495	.1118	.1965	.7947	.1388	.2240	.8338	.1674
.1145	.6368	.0635	.1420	.6981	.0869	.1695	.7504	.1122	.1970	.7955	.1393	.2245	.8345	.1679
.1150	.6380	.0639	.1425	.6991	.0873	.1700	.7513	.1127	.1975	.7962	.1398	.2250	.8352	.1684
.1155	.6392	.0643	.1430	.7001	.0878	.1705	.7521	.1132	.1980	.7970	.1403	.2255	.8358	.1689
.1160	.6404	.0647	.1435	.7012	.0882	.1710	.7530	.1137	.1985	.7977	.1409	.2260	.8365	.1695
.1165	.6416	.0651	.1440	.7022	.0886	.1715	.7539	.1142	.1990	.7985	.1414	.2265	.8371	.1700
.1170	.6428	.0655	.1445	.7032	.0891	.1720	.7548	.1146	.1995	.7992	.1419	.2270	.8378	.1705
.1175	.6440	.0659	.1450	.7042	.0895	.1725	.7556	.1151	.2000	.8000	.1424	.2275	.8384	.1711
.1180	.6452	.0663	.1455	.7052	.0900	.1730	.7565	.1156	.2005	.8007	.1429	.2280	.8391	.1716
.1185	.6464	.0667	.1460	.7062	.0904	.1735	.7574	.1161	.2010	.8015	.1434	.2285	.8397	.1721
.1190	.6476	.0671	.1465	.7072	.0909	.1740	.7582	.1166	.2015	.8022	.1439	.2290	.8404	.1727
.1195	.6488	.0676	.1470	.7082	.0913	.1745	.7591	.1171	.2020	.8030	.1444	.2295	.8410	.1732
.1200	.6499	.0680	.1475	.7092	.0918	.1750	.7599	.1175	.2025	.8037	.1449	.2300	.8417	.1738
.1205	.6511	.0684	.1480	.7102	.0922	.1755	.7608	.1180	.2030	.8045	.1454	.2305	.8423	.1743
.1210	.6523	.0688	.1485	.7112	.0927	.1760	.7616	.1185	.2035	.8052	.1460	.2310	.8429	.1748
.1215	.6534	.0692	.1490	.7122	.0932	.1765	.7625	.1190	.2040	.8059	.1465	.2315	.8436	.1754
.1220	.6546	.0696	.1495	.7132	.0936	.1770	.7633	.1195	.2045	.8067	.1470	.2320	.8442	.1759
.1225	.6557	.0701	.1500	.7141	.0941	.1775	.7642	.1200	.2050	.8074	.1475	.2325	.8449	.1764
.1230	.6569	.0705	.1505	.7151	.0945	.1780	.7650	.1204	.2055	.8081	.1480	.2330	.8455	.1770
.1235	.6580	.0709	.1510	.7161	.0950	.1785	.7659	.1209	.2060	.8089	.1485	.2335	.8461	.1775
.1240	.6592	.0713	.1515	.7171	.0954	.1790	.7667	.1214	.2065	.8096	.1490	.2340	.8467	.1781
.1245	.6603	.0717	.1520	.7180	.0959	.1795	.7675	.1219	.2070	.8103	.1496	.2345	.8474	.1786
.1250	.6614	.0721	.1525	.7190	.0963	.1800	.7684	.1224	.2075	.8110	.1501	.2350	.8480	.1791
.1255	.6626	.0726	.1530	.7200	.0968	.1805	.7692	.1229	.2080	.8118	.1506	.2355	.8486	.1797
.1260	.6637	.0730	.1535	.7209	.0973	.1810	.7700	.1234	.2085	.8125	.1511	.2360	.8492	.1802
.1265	.6648	.0734	.1540	.7219	.0977	.1815	.7709	.1239	.2090	.8132	.1516	.2365	.8499	.1808
.1270	.6659	.0738	.1545	.7229	.0982	.1820	.7717	.1244	.2095	.8139	.1521	.2370	.8505	.1813

| H/DIA L/DIA A <sub>d</sub> /A <sub>t</sub> |
|--|--|--|--|--|
| .2375 .8511 .1818                          | .2650 .8827 .2122                          | .2925 .9098 .2436                          | .3200 .9330 .2759                          | .3475 .9524 .3089                          |
| .2380 .8517 .1824                          | .2655 .8832 .2128                          | .2930 .9103 .2442                          | .3205 .9333 .2765                          | .3480 .9527 .3095                          |
| .2385 .8523 .1829                          | .2660 .8837 .2133                          | .2935 .9107 .2448                          | .3210 .9337 .2771                          | .3485 .9530 .3101                          |
| .2390 .8529 .1835                          | .2665 .8843 .2139                          | .2940 .9112 .2453                          | .3215 .9341 .2777                          | .3490 .9533 .3107                          |
| .2395 .8536 .1840                          | .2670 .8848 .2145                          | .2945 .9116 .2459                          | .3220 .9345 .2782                          | .3495 .9536 .3113                          |
| .2400 .8542 .1845                          | .2675 .8853 .2150                          | .2950 .9121 .2465                          | .3225 .9349 .2788                          | .3500 .9539 .3119                          |
| .2405 .8548 .1851                          | .2680 .8858 .2156                          | .2955 .9125 .2471                          | .3230 .9352 .2794                          | .3505 .9543 .3125                          |
| .2410 .8554 .1856                          | .2685 .8864 .2161                          | .2960 .9130 .2477                          | .3235 .9356 .2800                          | .3510 .9546 .3131                          |
| .2415 .8560 .1862                          | .2690 .8869 .2167                          | .2965 .9134 .2482                          | .3240 .9360 .2806                          | .3515 .9549 .3137                          |
| .2420 .8566 .1867                          | .2695 .8874 .2173                          | .2970 .9139 .2488                          | .3245 .9364 .2812                          | .3520 .9552 .3143                          |
| .2425 .8572 .1873                          | .2700 .8879 .2178                          | .2975 .9143 .2494                          | .3250 .9367 .2818                          | .3525 .9555 .3150                          |
| .2430 .8578 .1878                          | .2705 .8884 .2184                          | .2980 .9148 .2500                          | .3255 .9371 .2824                          | .3530 .9558 .3156                          |
| .2435 .8584 .1884                          | .2710 .8890 .2190                          | .2985 .9152 .2506                          | .3260 .9375 .2830                          | .3535 .9561 .3162                          |
| .2440 .8590 .1889                          | .2715 .8895 .2195                          | .2990 .9156 .2511                          | .3265 .9379 .2511                          | .3540 .9564 .3168                          |
| .1445 .8596 .1895                          | .2720 .8900 .2201                          | .2995 .9161 .2517                          | .3270 .9382 .2842                          | .3545 .9567 .3174                          |
| .2450 .8602 .1900                          | .2725 .8905 .2207                          | .3000 .9165 .2523                          | .3275 .9386 .2848                          | .3550 .9570 .3180                          |
| .2455 .8608 .1906                          | .2730 .8910 .2212                          | .3005 .9170 .2529                          | .3280 .9390 .2854                          | .3555 .9573 .3186                          |
| .2460 .8614 .1911                          | .2735 .8915 .2218                          | .3010 .9174 .2535                          | .3285 .9393 .2860                          | .3560 .9576 .3192                          |
| .2465 .8619 .1917                          | .2740 .8920 .2224                          | .3015 .9178 .2541                          | .3290 .9397 .2866                          | .3565 .9579 .3198                          |
| .2470 .8625 .1922                          | .2745 .8925 .2229                          | .3020 .9183 .2547                          | .3295 .9401 .2872                          | .3570 .9582 .3204                          |
| .2475 .8631 .1927                          | .2750 .8930 .2235                          | .3025 .9187 .2552                          | .3300 .9404 .2878                          | .3575 .9585 .3211                          |
| .2480 .8637 .1933                          | .2755 .8935 .2241                          | .3030 .9191 .2558                          | .3305 .9408 .2884                          | .3580 .9588 .3217                          |
| .2485 .8643 .1938                          | .2760 .8940 .2246                          | .3035 .9195 .2564                          | .3310 .9411 .2890                          | .3585 .9591 .3223                          |
| .2490 .8649 .1944                          | .2765 .8945 .2252                          | .3040 .9200 .2570                          | .3315 .9415 .2896                          | .3590 .9594 .3229                          |
| .2495 .8654 .1949                          | .2770 .8950 .2258                          | .3045 .9204 .2576                          | .3320 .9419 .2902                          | .3595 .9597 .3235                          |
| .2500 .8660 .1955                          | .2775 .8955 .2264                          | .3050 .9208 .2582                          | .3325 .9422 .2908                          | .3600 .9600 .3241                          |
| .2505 .8666 .1961                          | .2780 .8960 .2269                          | .3055 .9212 .2588                          | .3330 .9426 .2914                          | .3605 .9603 .3247                          |
| .2510 .8672 .1966                          | .2785 .8965 .2275                          | .3060 .9217 .2593                          | .3335 .9429 .2920                          | .3610 .9606 .3253                          |
| .2515 .8678 .1972                          | .2790 .8970 .2281                          | .3065 .9221 .2599                          | .3340 .9433 .2926                          | .3615 .9609 .3259                          |
| .2520 .8683 .1977                          | .2795 .8975 .2286                          | .3070 .9225 .2605                          | .3345 .9436 .2932                          | .3620 .9612 .3265                          |
| .2525 .8689 .1983                          | .2800 .8980 .2292                          | .3075 .9229 .2611                          | .3350 .9440 .2938                          | .3625 .9614 .3272                          |
| .2530 .8695 .1988                          | .2805 .8985 .2298                          | .3080 .9233 .2617                          | .3355 .9443 .2944                          | .3630 .9617 .3278                          |
| .2535 .8700 .1994                          | .2810 .8990 .2304                          | .3085 .9237 .2623                          | .3360 .9447 .2950                          | .3635 .9620 .3284                          |
| .2540 .8706 .1999                          | .2815 .8995 .2309                          | .3090 .9242 .2629                          | .3365 .9450 .2956                          | .3640 .9623 .3290                          |
| .2545 .8712 .2005                          | .2820 .8999 .2315                          | .3095 .9246 .2635                          | .3370 .9454 .2962                          | .3645 .9626 .3296                          |
| .2550 .8717 .2010                          | .2825 .9004 .2321                          | .3100 .9250 .2640                          | .3375 .9457 .2968                          | .3650 .9629 .3302                          |
| .2555 .8723 .2016                          | .2830 .9009 .2326                          | .3105 .9254 .2646                          | .3380 .9461 .2974                          | .3655 .9631 .3308                          |
| .2560 .8728 .2021                          | .2835 .9014 .2332                          | .3110 .9258 .2652                          | .3385 .9464 .2980                          | .3660 .9634 .3315                          |
| .2565 .8734 .2027                          | .2840 .9019 .2338                          | .3115 .9262 .2658                          | .3390 .9467 .2986                          | .3665 .9637 .3321                          |
| .2575 .8745 .2038                          | .2850 .9028 .2349                          | .3125 .9270 .2670                          | .3400 .9474 .2998                          | .3675 .9642 .3333                          |
| .2580 .8751 .2044                          | .2855 .9033 .2355                          | .3130 .9274 .2676                          | .3405 .9478 .3004                          | .3680 .9645 .3339                          |
| .2585 .8756 .2049                          | .2860 .9038 .2361                          | .3135 .9278 .2682                          | .3410 .9481 .3010                          | .3685 .9648 .3345                          |
| .2590 .8762 .2055                          | .2865 .9043 .2367                          | .3140 .9282 .2688                          | .3415 .9484 .3016                          | .3690 .9651 .3351                          |
| .2595 .8767 .2060                          | .2870 .9047 .2372                          | .3145 .9286 .2693                          | .3420 .9488 .3022                          | .3695 .9653 .3357                          |
| .2600 .8773 .2066                          | .2875 .9052 .2378                          | .3150 .9290 .2699                          | .3425 .9491 .3028                          | .3700 .9656 .3364                          |
| .2605 .8778 .2072                          | .2880 .9057 .2384                          | .3155 .9294 .2705                          | .3430 .9494 .3034                          | .3705 .9659 .3370                          |
| .2610 .8784 .2077                          | .2885 .9061 .2390                          | .3160 .9298 .2711                          | .3435 .9498 .3040                          | .3710 .9661 .3376                          |
| .2615 .8789 .2083                          | .2890 .9066 .2395                          | .3165 .9302 .2717                          | .3440 .9501 .3046                          | .3715 .9664 .3382                          |
| .2620 .8794 .2088                          | .2895 .9071 .2401                          | .3170 .9306 .2723                          | .3445 .9504 .3053                          | .3720 .9667 .3388                          |
| .2625 .8800 .2094                          | .2900 .9075 .2407                          | .3175 .9310 .2729                          | .3450 .9507 .3059                          | .3750 .9669 .3394                          |
| .2630 .8805 .2100                          | .2905 .9080 .2413                          | .3180 .9314 .2735                          | .3455 .9511 .3065                          | .3730 .9672 .3401                          |
| .2635 .8811 .2105                          | .2910 .9084 .2419                          | .3185 .9318 .2741                          | .3460 .9514 .3071                          | .3735 .9676 .3407                          |
| .2640 .8816 .2111                          | .2915 .9089 .2424                          | .3190 .9322 .2747                          | .3465 .9517 .3077                          | .3740 .9677 .3413                          |
| .2645 .8821 .2116                          | .2920 .9094 .2430                          | .3195 .9326 .2753                          | .3470 .9520 .3083                          | .3745 .9680 .3419                          |

| H/DIA L/DIA A <sub>D</sub> /A <sub>T</sub> |
|--|--|--|--|--|
| .3750 .9692 .3425                          | .4000 .9798 .3735                          | .4250 .9887 .4049                          | .4500 .9950 .4364                          | .4750 .9987 .4632                          |
| .755 .9635 .3431                           | .4005 .9800 .3742                          | .4255 .9853 .4055                          | .4505 .9951 .4371                          | .4755 .9988 .4639                          |
| .760 .9639 .3433                           | .4010 .9802 .3748                          | .4260 .9890 .4061                          | .4510 .9952 .4377                          | .4760 .9989 .4645                          |
| .765 .9600 .3444                           | .4015 .9804 .3754                          | .4265 .9901 .4068                          | .4515 .9953 .4383                          | .4765 .9990 .4651                          |
| .770 .9593 .3450                           | .4020 .9806 .3760                          | .4270 .9893 .4074                          | .4520 .9954 .4390                          | .4770 .9991 .4657                          |
| .3775 .9695 .3456                          | .4025 .9808 .3767                          | .4275 .9894 .4080                          | .4525 .9955 .4396                          | .4775 .9992 .4663                          |
| .7780 .9688 .3462                          | .4030 .9810 .3773                          | .4280 .9896 .4086                          | .4530 .9956 .4402                          | .4780 .9993 .4669                          |
| .7785 .9700 .3468                          | .4035 .9812 .3779                          | .4285 .9897 .4093                          | .4535 .9957 .4409                          | .4785 .9994 .4675                          |
| .7790 .9703 .3475                          | .4040 .9814 .3785                          | .4290 .9899 .4099                          | .4540 .9958 .4415                          | .4790 .9995 .4681                          |
| .7795 .9705 .3481                          | .4045 .9816 .3791                          | .4295 .9900 .4105                          | .4545 .9959 .4421                          | .4795 .9996 .4687                          |
| .3800 .9708 .3487                          | .4050 .9818 .3798                          | .4300 .9902 .4112                          | .4550 .9959 .4428                          | .4800 .9997 .4693                          |
| .3805 .9710 .3493                          | .4055 .9820 .3804                          | .4305 .9903 .4118                          | .4555 .9960 .4434                          | .4805 .9998 .4699                          |
| .3810 .9713 .3499                          | .4060 .9822 .3810                          | .4310 .9904 .4124                          | .4560 .9961 .4440                          | .4810 .9999 .4705                          |
| .3815 .9715 .3505                          | .4065 .9824 .3816                          | .4315 .9906 .4131                          | .4565 .9962 .4447                          | .4815 .9999 .4711                          |
| .3820 .9718 .3512                          | .4070 .9825 .3823                          | .4320 .9907 .4137                          | .4570 .9963 .4453                          | .4820 .9999 .4717                          |
| .3825 .9720 .3518                          | .4075 .9827 .3829                          | .4325 .9908 .4143                          | .4575 .9964 .4460                          | .4825 .9999 .4723                          |
| .3830 .9722 .3524                          | .4080 .9829 .3835                          | .4330 .9910 .4149                          | .4580 .9965 .4466                          | .4830 .9999 .4729                          |
| .3835 .9725 .3530                          | .4085 .9831 .3842                          | .4335 .9911 .4156                          | .4585 .9966 .4472                          | .4835 .9999 .4735                          |
| .3840 .9727 .3536                          | .4090 .9833 .3848                          | .4340 .9912 .4162                          | .4590 .9966 .4479                          | .4840 .9999 .4741                          |
| .3845 .9730 .3543                          | .4095 .9835 .3854                          | .4345 .9914 .4168                          | .4595 .9967 .4485                          | .4845 .9999 .4747                          |
| .3850 .9732 .3549                          | .4100 .9837 .3860                          | .4350 .9915 .4175                          | .4600 .9968 .4491                          | .4850 .9999 .4753                          |
| .3855 .9734 .3555                          | .4105 .9838 .3867                          | .4355 .9916 .4181                          | .4605 .9969 .4498                          | .4855 .9999 .4759                          |
| .3860 .9737 .3561                          | .4110 .9840 .3873                          | .4360 .9918 .4187                          | .4610 .9970 .4505                          | .4860 .9999 .4765                          |
| .3865 .9739 .3567                          | .4115 .9842 .3879                          | .4365 .9919 .4194                          | .4615 .9970 .4511                          | .4865 .9999 .4771                          |
| .3870 .9741 .3574                          | .4120 .9844 .3885                          | .4370 .9920 .4200                          | .4620 .9971 .4517                          | .4870 .9999 .4777                          |
| .3875 .9744 .3580                          | .4125 .9846 .3892                          | .4375 .9922 .4206                          | .4625 .9972 .4523                          | .4875 .9999 .4783                          |
| .3880 .9746 .3586                          | .4130 .9847 .3898                          | .4380 .9923 .4213                          | .4630 .9973 .4529                          | .4880 .9999 .4789                          |
| .3885 .9748 .3592                          | .4135 .9849 .3904                          | .4385 .9924 .4219                          | .4635 .9973 .4536                          | .4885 .9999 .4795                          |
| .3890 .9750 .3598                          | .4140 .9851 .3910                          | .4390 .9925 .4225                          | .4640 .9974 .4542                          | .4890 .9999 .4801                          |
| .3895 .9753 .3605                          | .4145 .9853 .3917                          | .4395 .9927 .4232                          | .4645 .9975 .4548                          | .4895 .9999 .4807                          |
| .3900 .9755 .3611                          | .4150 .9854 .3923                          | .4400 .9928 .4238                          | .4650 .9975 .4555                          | .4900 .9999 .4813                          |
| .3905 .9757 .3617                          | .4155 .9856 .3929                          | .4405 .9929 .4244                          | .4655 .9976 .4561                          | .4905 .9999 .4819                          |
| .3910 .9759 .3623                          | .4160 .9858 .3936                          | .4410 .9930 .4251                          | .4660 .9977 .4567                          | .4910 .9999 .4825                          |
| .3915 .9762 .3629                          | .4165 .9860 .3942                          | .4415 .9931 .4257                          | .4665 .9978 .4574                          | .4915 .9999 .4831                          |
| .3920 .9764 .3636                          | .4170 .9861 .3948                          | .4420 .9932 .4263                          | .4670 .9978 .4580                          | .4920 .9999 .4837                          |
| .3925 .9766 .3642                          | .4175 .9863 .3954                          | .4425 .9934 .4270                          | .4675 .9979 .4586                          | .4925 .9999 .4843                          |
| .3930 .9768 .3648                          | .4180 .9865 .3961                          | .4430 .9935 .4276                          | .4680 .9979 .4593                          | .4930 .9999 .4849                          |
| .3935 .9771 .3654                          | .4185 .9866 .3967                          | .4435 .9936 .4282                          | .4685 .9980 .4599                          | .4935 .9999 .4855                          |
| .3940 .9773 .3661                          | .4190 .9868 .3973                          | .4440 .9937 .4288                          | .4690 .9981 .4606                          | .4940 .9999 .4861                          |
| .3945 .9775 .3667                          | .4195 .9870 .3979                          | .4445 .9938 .4295                          | .4695 .9981 .4612                          | .4945 .9999 .4867                          |
| .3950 .9777 .3673                          | .4200 .9871 .3986                          | .4450 .9939 .4301                          | .4700 .9982 .4618                          | .4950 .9999 .4873                          |
| .3955 .9779 .3679                          | .4205 .9873 .3992                          | .4455 .9940 .4307                          | .4705 .9983 .4625                          | .4955 .9999 .4879                          |
| .3960 .9781 .3685                          | .4210 .9874 .3998                          | .4460 .9942 .4314                          | .4710 .9983 .4631                          | .4960 .9999 .4885                          |
| .3965 .9783 .3692                          | .4215 .9876 .4005                          | .4465 .9943 .4320                          | .4715 .9984 .4637                          | .4965 .9999 .4891                          |
| .3970 .9786 .3698                          | .4220 .9878 .4011                          | .4470 .9944 .4326                          | .4720 .9984 .4644                          | .4970 .9999 .4897                          |
| .3975 .9788 .3704                          | .4225 .9879 .4017                          | .4475 .9945 .4333                          | .4725 .9985 .4650                          | .4975 .9999 .4903                          |
| .3980 .9790 .3710                          | .4230 .9881 .4023                          | .4480 .9946 .4339                          | .4730 .9985 .4656                          | .4980 .9999 .4909                          |
| .3985 .9792 .3717                          | .4235 .9882 .4030                          | .4485 .9947 .4345                          | .4735 .9986 .4663                          | .4985 .9999 .4915                          |
| .3990 .9794 .3723                          | .4240 .9884 .4036                          | .4490 .9948 .4352                          | .4740 .9986 .4669                          | .4990 .9999 .4921                          |
| .3995 .9796 .3729                          | .4245 .9885 .4042                          | .4495 .9949 .4358                          | .4745 .9987 .4675                          | .4995 .9999 .4927                          |
|  |  |  |  | .5000 .9999 .4933                          |

FIG. 5.30



N.5 Estimación del número de Pasos.

Sulzer recomienda diseñar platos con el mínimo número de pasos posible. Los siguientes son criterios para determinar el número de pasos de acuerdo a la carga de líquido sobre el derramadero.

TABLA N.5	
Espaciamiento entre platos, pulgadas	Incrementar el número de pasos si los $\frac{GPM}{(NP)(1W_i)_{LATERAL}}$ exceden a
12	3
15	5
18	8
21	10
24 - 30	13

Estos valores pudieran excederse moderadamente si se emplean charolas de retención o sello. Es posible manejar hasta 15 GPM/(No. de pasos (  $1W_i$ )) pero deberán checarsse la caída de presión y la altura del líquido retenido en la bajante.

N.6 Cálculos de Capacidad.

$$\text{Capacidad del líquido} = \frac{DCA \text{ requerida}}{DCA \text{ disponible}} = \% \text{ inundamiento debido al líquido}$$

$$\text{Capacidad del vapor} = \frac{A_b \text{ requerida}}{A_b \text{ disponible}} = \% \text{ inundamiento debido al vapor}$$

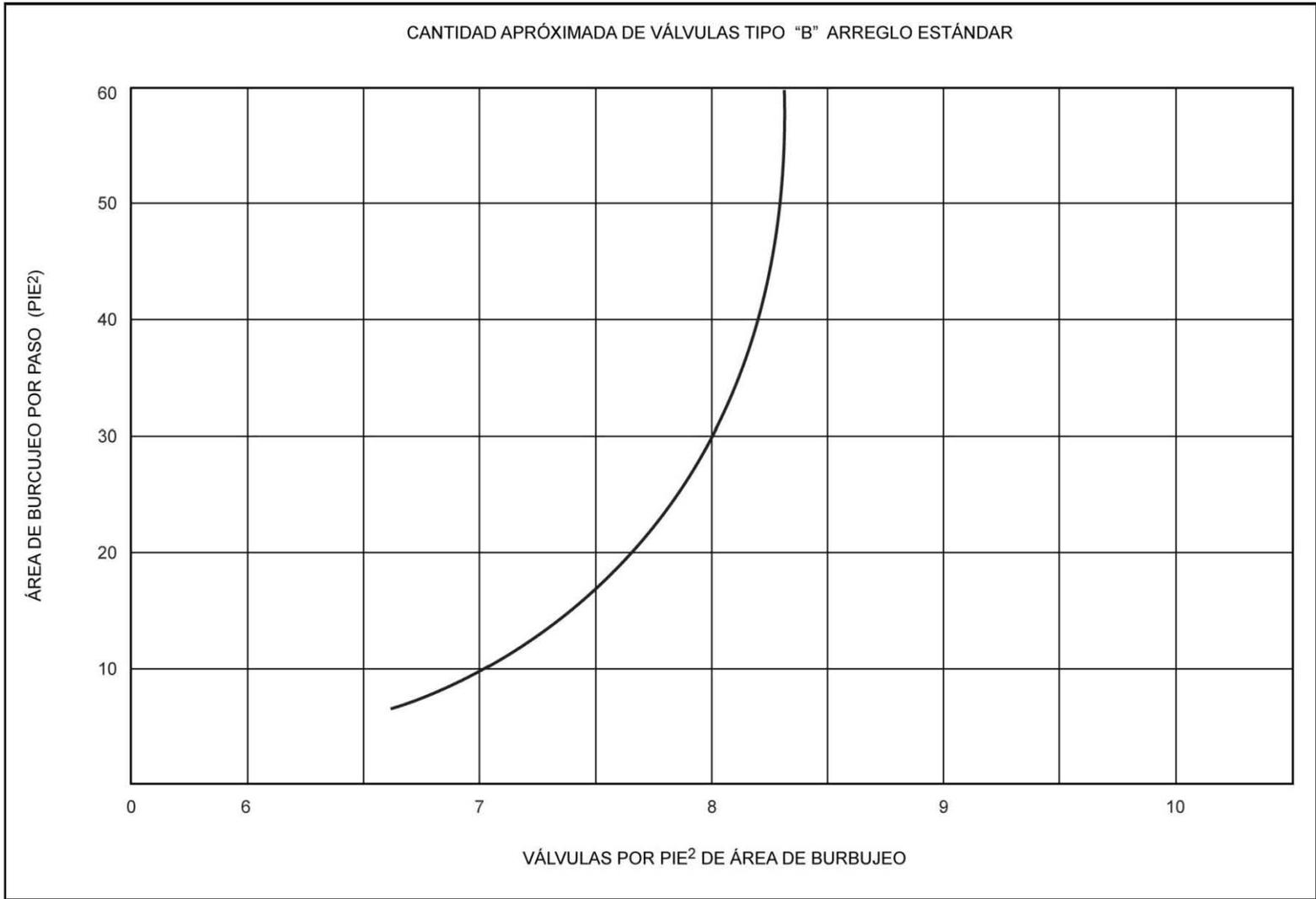
( $A_b$  ó DCA) requerida, la resultante del dimensionamiento preliminar.

( $A_b$  ó DCA) disponible, la de una columna ya construida ó la obtenida del dimensionamiento detallado, según sea el caso.

$$A_b \text{ DISPONIBLE} = A_T - 2 DCA \text{ disponible}$$

La relación de áreas reales ó disponibles de bajantes y burbujeo debe procurarse que sea similar a la relación entre las áreas requeridas a fin de tener un diseño balanceado.

FIG. 5.31



## CAIDA DE PRESIÓN

### N.7 Caída de presión del plato seco, $\Delta P_{DRY}$

Calcular  $Ab$  disponible/No. de pasos. Estimar el número de válvulas del plato mediante la figura 5.31 y al valor obtenido restarle el 15 % para considerar pérdidas por el aro soporte, vigas, canales y entradas de hombre.

### N.8 Conocido el número de válvulas escoger el peso y elevación de acuerdo a lo indicado en el capítulo anterior.

Hacemos  $h_1$  = cresta de líquido sobre el derramadero, pulg.

$$h_1 = \left( \frac{GPM/No. de pasos}{2.89 \ 1_{wi}} \right)^{2/3}$$

$1_{wi}$  = Longitud del derramadero de salida de una bajante lateral, pulg.

$h_w$  = Altura del derramadero, de acuerdo a la siguiente tabla:

Espaciamiento	Altura del derramadero
24 – 30 pulg.	3 pulg.
18 pulg.	2 pulg.
12 pulg.	1.5 pulg.
Torres a vacío	Mínimo 0.75 pulg.

Estos valores deben considerarse como punto inicial pero podrán modificarse de acuerdo a la caída de presión permisible.

Para los platos con varios pasos, Sulzer recomienda ajustar la altura del derramadero lateral para que en cada uno de los pasos la carga de líquido sobre el plato sea la misma.

Carga de líquido sobre el plato =  $h_1 + h_w = \text{pulg.}$

Estimar el área de ranuras,  $A_{st}$

Con la relación  $A_{st}/Ab$  y la carga de líquido sobre plato leer en la figura 4.7. La caída de presión seca correspondiente al punto de goteo.

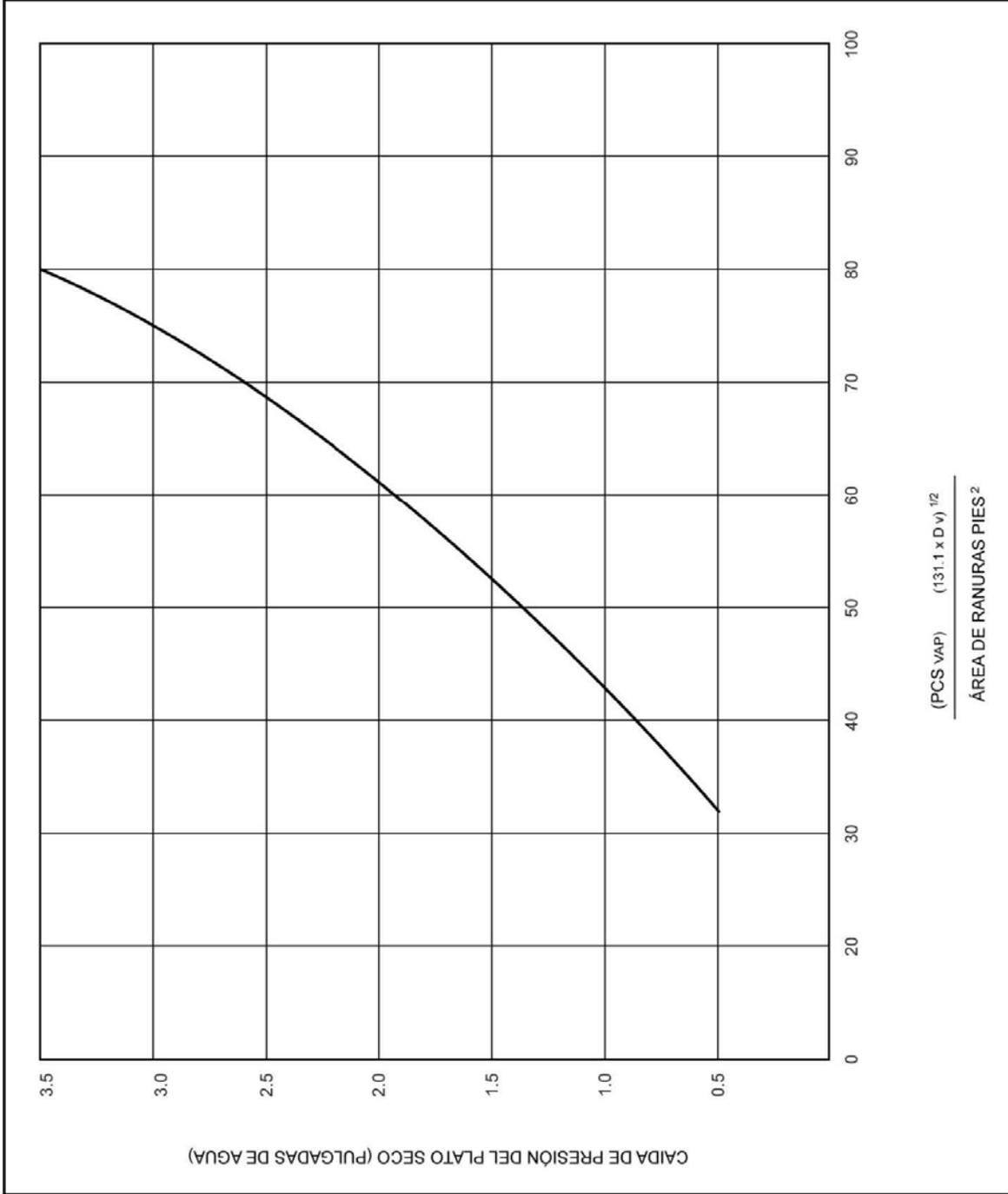


FIG. 5.32

Escoger el peso apropiado de las válvulas de acuerdo a la siguiente tabla.

Calibre	$\Delta P$ seca, Pulgadas de Agua *
12	1.25
14	0.89
16	0.73
18	0.60
20	0.44

\* Considerando válvulas de A. Inox. 410.  $D_{MV} = 484 \text{ lb/pie}^3$

El valor seleccionado deberá ser mayor al equivalente al punto de goteo en unidades congruentes.

Escoger la elevación de las válvulas para operar alrededor del punto de balance abierto con los flujos de diseño y abajo de la caída de presión seca correspondiente al DCBU ó a la caída de presión máximos permitidos.

De la figura 5.32 leer el factor  $\frac{CFS_{Vapor}(1.31 D_v)^{1/2}}{\text{área de ranuras}}$  para los diferentes calibres que nos den una caída de presión seca mayor a la del punto de goteo. Despejar el valor del área de ranuras.

Estimar el número de válvulas del punto de balance abierto mediante la expresión:

$$\text{No. Válvulas B.A.} = \frac{A \text{ ranuras}}{0.0672 (\text{elevación de las valvulas} - \text{espesor del plato})}$$

Donde:

Área de ranuras, pies<sup>2</sup>.

Elevación de las válvulas = pulg.

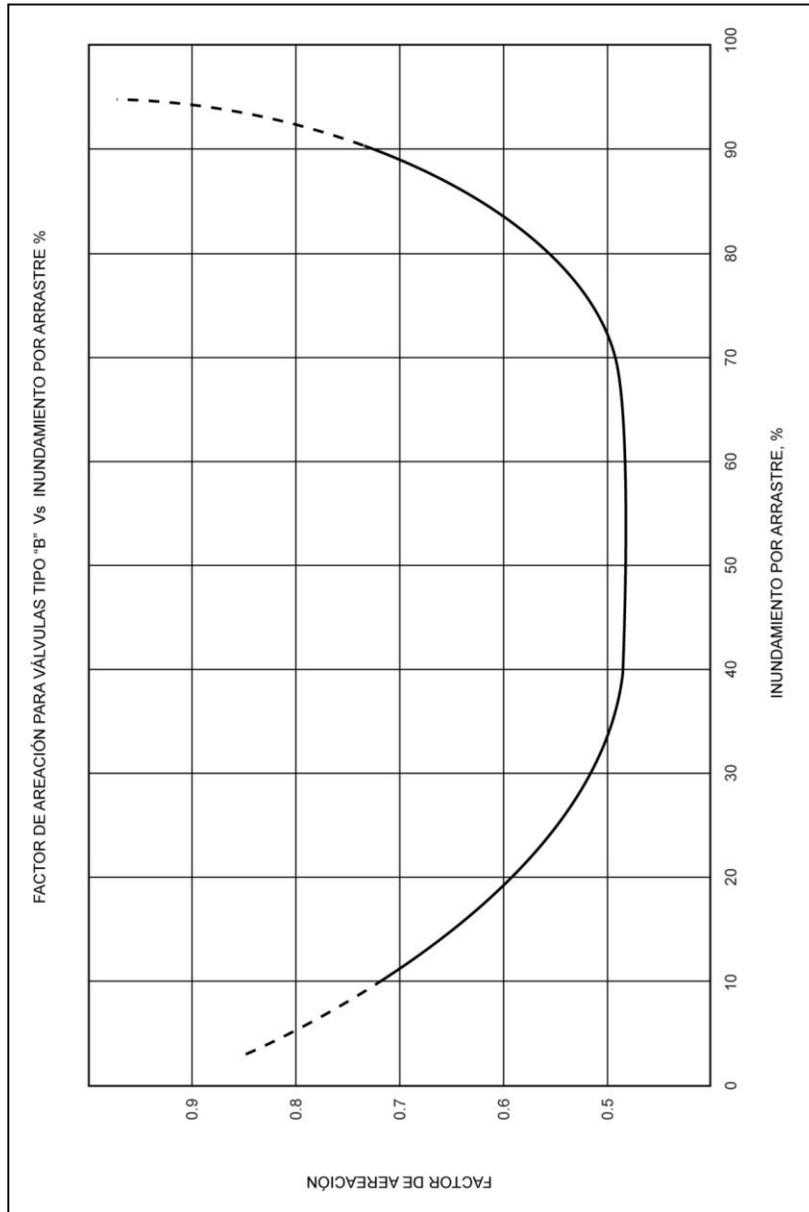
Espesor del plato = pulg.

El espesor del plato es comúnmente el correspondiente al calibre 10 para acero al carbón y al calibre 14 para acero inoxidable 410.

Seleccionar como correcto el calibre y elevación con el cual se obtenga el número de válvulas del plato.

La caída de presión seca, en pulgadas de agua correspondiente al DCBU máx. permitido  $\frac{(TS + h_w)}{2}$  se obtiene con la expresión:

$$\Delta P_{DRY DCBU \text{ máx}} = SG_{LIQ} \left[ \frac{(D_L - D_V)(DCBU_{\text{máx}} - h_1 - h_2)}{D_L} - \Delta P_W - h_4 \right] = \text{pulg. } H_2O.$$



**FIG. 5.33**

De la figura 5.32 se obtiene también la caída de presión seca sobre el punto de balance abierto para platos de cualquier espesor y con las diferentes elevaciones de válvula.

Cuando se requiera una gran flexibilidad operacional se recomienda emplear válvulas de dos pesos diferentes.

N.9 Caída de presión del plato húmedo,  $\Delta P_{WET}$

$$\Delta P_{WET} = \beta(h_1 + h_2) = \text{pulgadas de líquido caliente.}$$

$\beta$  = Factor de aereación, obtenido en la figura 5.33

$h_2$  = nivel de líquido sobre la válvula =  $h_W$  - elevación de la válvula = pulg.

N.10 Caída de presión Total del Plato,  $\Delta P_{TRAY}$

$$\Delta P_{TRAY}, \text{ pulgadas de líquido caliente} = \frac{\Delta P_{DRY}}{S_{GLIQ}} + \Delta P_{WET}$$

$S_{GLIQ}$  = Gravedad específica del líquido

N.11 Altura del líquido retenido en la Bajante, DCBU.

$$\text{DCBU, pulgadas de líquido caliente} = h_1 + h_2 + (\Delta P_{TRAY} + h_4) \left( \frac{D_L}{D_L - D_V} \right)$$

Se recomienda el empleo de charolas de sello, bajantes con terminación recta (comunes) sin charola de sello ó de bajantes curvadas en el extremo final tipo bastón de acuerdo a los siguientes valores:

(GPM/No. de Pasos)/Lwi	Usar
1 - 7	Terminación recta
7 - 10	Bajante tipo bastón
10 - 15	Charola de sello

$$h_4 = \text{Carga perdida bajo la bajante} = \left( \frac{(GPM/No.de\ pasos)144}{Y(L_{Wf})\text{Claro bajo una bajante lateral}} \right)^2$$

Claro de la bajante lateral, pulgadas. Se recomienda fijarlo para tener  $h_4 \approx 0.4$  a  $0.7$  pulg. líquido.

$Y$  = constante dependiente de la configuración del extremo inferior de la bajante, 623 para bajantes comunes y 1038 para bajantes redondeadas en su extremo final.

$L_{Wf}$  = Longitud del fondo de la bajante lateral, pulgadas.

Si la altura del líquido retenido en la bajante excede a  $\left( \frac{TS + h_W}{2} \right)$ , emplear charolas de sello ó incrementar el número de pasos.

Sulzer llama al "downcomer backup" como "downcomer stackup" pero el concepto es el mismo.

# **CAPITULO 6.**

## **DIMENSIONAMIENTO** **PRELIMINAR DE LOS** **PLATOS DE UNA** **COLUMNA** **DESETANIZADORA**

## **CAPITULO 6. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE LOS PLATOS DE UNA COLUMNA DESETANIZADORA**

Se efectuará el diseño hidráulico de una columna de Destilación Y de sus internos, se usarán 3 metodologías de cálculo, la primera KOCH GLITSCH usando platos Ballast, la segunda KOCH GLITSCH usando platos Flexitray y la tercera SULZER CHEMTECH usando platos float valve, para ejemplificar las secuencias de cálculo y así determinar que plato es el más óptimo.

### **PROBLEMA.**

Se desea diseñar una torre desetanizadora para separar una corriente de licuables. El etano obtenido por el domo de la columna será la carga a una planta de Etileno con una capacidad mínima del 60%. Los resultados del balance de materia y energía de la columna se muestran en la figura 6.1.

### **SOLUCION.**

Para alcanzar la flexibilidad operacional requerida se emplearán dos torres operando en paralelo diseñadas para que cada una de ellas pueda manejar el 60% de la carga original de diseño. En esta forma a falla de cualquiera de las columnas desetanizadoras la otra proporcionará carga suficiente a la planta de etileno para que ésta pueda continuar operando.

Los flujos que manejará cada columna serán entonces el 60% de los mostrados en la figura 6.1.

Para servicios de este tipo se ha probado la bondad del funcionamiento de los platos valvulados y su superioridad sobre otros dispositivos de contacto.

La columna tendrá 14 platos teóricos y de acuerdo al capítulo 4 se espera una eficiencia global del 70%. Por lo tanto se requerirán 20 platos reales.

La torre tiene una sola alimentación y estará constituida por dos zonas. De acuerdo al perfil de flujos de la columna los platos que manejan los flujos críticos en la zona superior son el plato 1 el 4. Para la zona inferior los platos críticos son el 6 y el 19.

Se dimensionarán ambas zonas con los flujos y propiedades del plato que maneje los mayores flujos y posteriormente se checará el comportamiento del que maneje el menor flujo. Los flujos varían significativamente de una zona a otra por lo que se requerirá emplear una columna con 2 secciones.

FIG. 6.1

OPCION 10000  
 CORRIENTE N1 = 2  
 CORRIENTE N2 = 0  
 CORRIENTE N3 = 6  
 CORRIENTE N4 = 71  
 CORRIENTE N5 = 0  
 CORRIENTE N6 = 0  
 CORRIENTE N7 = 0  
 NUMERO DE PLATOS TEORICOS = 14  
 PRESION DE OPERACION = 239.700 PSIA  
 RELACION DE REFLUJO = 1.0300  
 CAIDA DE PRESION DEL CONDENSADOR = 10.0000  
 CAIDA DE PRESION POR PLATO = .2500  
 ALIMENTACION CORR. 2 16641.947 LBMOL/H EN EL PLATO 4  
 DEST. LIQUI. CORR. 0 .000 LBMOL/H EN EL PLATO 0  
 DEST. VAPOR. CORR. 6 7688.000 LBMOL/H EN EL PLATO 0  
 PROD. FONDOS CORR. 7 8953.947 LBMOL/H EN EL PLATO 15  
 FRACCION MOLAR VAP. EN REHERVIDOR = .3000  
 TEMPERATURA EFLUENTE REHERVIDOR = 187.78  
 FLUJO ALIMENTACION REHERVIDOR LBMOL/H = 37771.077  
 CARGA TERMICA DEL CONDENSADOR = -40835875.50 BTU/HR  
 CARGA TERMICA DEL REHERVIDOR = 85146338.00 BTU/HR

PLATO No	TEMP. GF	L. LB-MOL/H	V. LB-MOL/H	GPM	CFS	DL. LB/FT3	DV. LB/FT3	PM L	PM V	PSIA
0	11.577	7916.64	7688	1154.647	37.4699	27.3023	1.7286	31.9313	30.3287	229.7
1	25.04	7415.728	15606.64	1130.329	74.7248	27.645	1.8067	33.7977	31.1419	239.7
2	37.169	6813.525	15103.728	1083.807	74.5443	28.1693	1.8028	35.9399	32.0321	239.85
3	50.239	5926.861	14501.525	891.603	73.0387	28.7743	1.796	38.6134	32.9655	240.2
4	70.775	19540.864	13614.861	3600.65	73.4467	30.3075	1.7474	44.8673	33.9357	240.45
5	74.775	19613.076	10586.917	3652.557	57.3845	30.2478	1.768	45.1819	34.4638	240.7
6	80.357	19663.868	10659.129	3710.409	58.1838	30.2078	1.7867	45.7185	35.1094	240.85
7	88.657	19794.398	10709.921	3808.312	59.1464	30.1356	1.8178	46.4795	36.1393	241.2
8	99.415	20081.179	10840.451	3954.454	60.6658	29.9997	1.8685	47.3842	37.6429	241.45
9	111.062	20500.646	11127.232	4142.048	62.9663	29.8161	1.9392	48.2979	39.5044	241.7
10	121.767	20996.104	11555.699	4338.844	65.8395	29.6215	2.0194	49.0931	41.4212	241.85
11	130.359	21434.736	12014.156	4512.133	68.8388	29.4538	2.0942	49.7308	43.09	242.2
12	137.001	21724.932	12490.789	4642.971	71.4574	29.3343	2.1541	50.2944	44.3981	242.45
13	143.057	21755.935	12770.984	4723.13	73.3745	29.2767	2.198	50.9792	45.4632	242.7
14	151.874	21160.754	12801.987	4716.615	74.4050	29.3341	2.2299	52.4435	46.6573	242.85
15	173.739	8953.947	12206.807	2139.401	73.8266	29.8238	2.2499	57.1559	48.9859	243.2

A continuación se muestra la hoja de datos de proceso para el dimensionamiento de la torre desetanizadora y posteriormente se diseñara la columna de acuerdo a la secuencia de cálculo de los principales fabricantes de platos valvulados.

<b>PLANTA: FRACCIONADORA</b>				<b>HOJA 1 DE 1</b>		
<b>LOCALIZACION: MEXICO</b>		<b>EDICION</b>		<b>FECHA</b>	<b>POR</b>	
<b>CLAVE : DB-001 AB</b>		<b>PRELIMINAR</b>		<b>jul-11</b>	<b>LDCA</b>	
<b>No. UNIDADES : 40</b>						
<b>PLATOS HOJA DE DATOS DE PROCESO</b>						
<b>CLAVE DE LA TORRE</b>		<b>DA-001 AB</b>				
<b>SERVICIO</b>		<b>TORRE DESETANIZADORA</b>				
<b>TIPO DE PLATO</b>		<b>DE VALVULAS</b>				
<b>FLUIDO</b>	<b>LÍQUIDO</b>	HC	HC	HC	HC	
	<b>VAPOR O GAS</b>	HC	HC	HC	HC	
<b>MATERIAL</b>		AC	AC	AC	AC	
<b>PLATOS NUMEROS</b>		1-5	1-5	6-20	6-20	
<b>CONDICIONES EN EL PLATO No.</b>		1	4	6	12	
<b>TEMPERATURA</b>	<b>LÍQUIDO °F</b>	25	50	71	143	
	<b>VAPOR O GAS °F</b>	37	71	75	151	
<b>PRESION Psig</b>		225	225.5	225.8	228	
<b>VAPOR</b>	<b>DENSIDAD lb/ft<sup>3</sup> a P y T</b>	1.8	1.75	225.8	228	
	<b>FLUJO lb/hr</b>	290282	277218	1.77	2.23	
	<b>ft<sup>3</sup>/seg</b>	44.7	44.1	218919	358384	
<b>LIQUIDO</b>	<b>DENSIDAD lb/ft<sup>3</sup> a P y T</b>	27.65	28.77	30.31	29.28	
	<b>FLUJO lb/hr</b>	150381	137314	526047	665460	
	<b>GPM a P y T</b>	678	595	2164	2834	
<b>TENDENCIA A ESPUMADO</b>		<b>NINGUNA</b>	<b>MODERADA</b>	<b>ALTA</b>	<b>SEVERA</b>	
<p>FLUJO MINIMO EXPRESADO COMO PORCENTAJE DE LOS FLUJOS DE DISEÑO: 50%</p>						
				<b>REVISION</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
				<b>FECHA</b>	<b>Jul-11</b>	
				<b>POR</b>	<b>LDCA</b>	

## 6.1 DIMENSIONAMIENTO DE KOCH-GLITSCH USANDO PLATOS "BALLAST".

Para el plato 1. (Sección superior)

$$GPM = 678 \text{ (154 m}^3\text{/hr)} \quad D_L = 27.65 \text{ lb/pie}^3 \text{ (442.9 Kg/m}^3\text{)}$$

$$PCS = 44.7 \text{ (4554 m}^3\text{/hr)} \quad D_V = 1.80 \text{ lb/pie}^3 \text{ (28.83 Kg/m}^3\text{)}$$

G.1 Cálculo de la carga de vapor,  $V_{LOAD}$

$$V_{LOAD} = CFS(D_V/(D_L - D_V))^{1/2} = 44.7(1.8/(27.65 - 1.8))^{1/2} = 11.8$$

G.2 Empleando la Figura 6.1, siguiendo las recomendaciones del capítulo 4 y 5 y proponiendo un espaciado de 30 pulgadas (762 mm) se obtiene un estimado preliminar del diámetro de la columna, para un plato de un paso.

$$DT = 8' 6'' \text{ (2591 mm)}$$

$$\text{Factor de inundamiento} = 0.82$$

$$G.3 \quad FPL = \frac{9DT}{NP} = \frac{9 \times 8.5}{1} = 76.5 \text{ pulgadas}$$

$$G.4 \quad CAF = CAF_o(FS)$$

$$\text{Factor del sistema} = FS = 1.0$$

Aunque la presión del sistema es moderadamente alta, el valor de la densidad del vapor no es muy elevado, por ello es conveniente emplear la Figura 5.2 para estimar  $CAF_o$ .

$$G.4.1 \quad CAF_o = 0.458$$

$$G.4.2 \quad CAF_o > 0.55$$

$$G.4.3 \quad \text{El menor valor es } 0.458 \therefore CAF_o = 0.458$$

$$CAF = 0.458 (1.0) = 0.458$$

$$G.5 \quad AAM = \frac{V_{LOAD} + GPM(FPL/13000)}{(CAF)(FF)} = \frac{11.8 + 678(76.5/13000)}{(0.456)(0.82)} = 42$$

$$AAM = 42 \text{ pies}^2.$$

$$G.6 \quad VDdsg = 250 (FS) = 250 (1.0) = 250 \text{ GPM/pie}^2$$

$$VDdsg = 41(D_L - D_V)^{1/2}(FS) = 41(27.65 - 1.80)^{1/2}(1.0) = 208.5 \text{ GPM/pie}^2$$

$$VDdsg = 7.5(TS)^{1/2}(D_L - D_V)^{1/2}(FS) = 7.5(30)^{1/2}(27.65 - 1.8)^{1/2}(1) = 208.86 \text{ GPM/pie}^2$$

El menor valor de los anteriores aplica  $\therefore VDdsg = 208.5 \text{ GPM/pie}^2$

G.7 Este plato es el que maneja la mayor carga de líquido en la sección:

$$ADM = \frac{GPM}{VDdsg \cdot FF} = \frac{678}{(208.5)(0.82)} = 3.97 \text{ pies}^2$$

0.11 AAM = 0.11 (42) = 4.62 pies<sup>2</sup>. Este valor es mayor al calculado anteriormente, entonces ADM será la menor de:

$$ADM = 0.11 \text{ AAM} = 4.62$$

$$ADM = 2(\text{ADM de la ec. 6.5}) = 2(3.97) = 7.94 \text{ pies}^2$$

$$ADM = 4.62 \text{ pies}^2$$

G.8  $ATM = AAM + 2 \text{ ADM} = 42 + 2(4.62) = 51.24 \text{ pies}^2$

$$ATM = \frac{V_{LOAD}}{0.78(CAF)(FF)} = \frac{11.8}{0.78(0.458)(0.82)} = 40.28 \text{ pies}^2$$

El mayor valor aplica:

$$ATM = 51.24 \text{ pies}^2$$

$$G.9 \text{ DTM} = \left[ \frac{ATM}{0.7854} \right]^{1/2} = \left[ \frac{51.24}{0.7854} \right]^{1/2} = 8.1 \text{ pies} \rightarrow DT = 8.5 \text{ pies (2591 mm)}$$

$$G.9.1 \text{ AT} = \frac{\pi}{4}(8.5)^2 = 56.74 \text{ pies}^2 (5.27 \text{ m}^2)$$

$$G.10 \text{ AD} = \frac{AT(ADM)}{ATM} = \frac{56.74(4.62)}{51.24} = 5.12 \text{ pies}^2$$

AD es aprox. el 10% del área de la columna, OK.

$$G.11 \frac{AD}{AT} = \frac{5.12}{56.74} = 0.0902 \text{ de la tabla G.3}$$

$$\frac{H_1}{D_T} = 0.1458 \therefore H_1 = 0.1458(8.5 \times 12) = 14.872 \text{ pulg.}$$

$$G.12 \text{ FPL} = \frac{12 \text{ DT} - (2H_1 + H_3 + 2H_5 + 2H_7)}{NP} = \frac{12(8.5) - 2(14.872)}{1} = 72.25 \text{ pulg.}$$

$$\text{FPL}_{MOD} = 8.5 + 1.5(X) \approx 72.25 \quad X = \frac{72.25 - 8.5}{1.5} = 42.5 \rightarrow 43$$

$$\text{FPL}_{MOD} = 8.5 + 1.5(43) = 73 \text{ pulg.}$$

$$DT = 102 \text{ pulg} = FPL + 2H_1 \approx 73 + 2(14.87) \therefore 2H_1 = 2(14.87) - 0.74$$

$$H_1 = 14.5 \text{ pulg.}$$

G.13 Para  $AD_1$

$$\frac{H_1}{DT} = \frac{14.5}{8.5 \times 12} = 0.1422 \quad \frac{AD}{AT} = 0.0871 \therefore AD = 4.943 \text{ pies}^2 (0.459 \text{ m}^2)$$

$$\begin{aligned} \text{G.14 } AA &= AT - (2AD_1 + AD_3 + 2AD_3 + 2AD_5 + 2AD_7) = 56.75 - 2(4.943) \\ &= 46.86 \text{ pies}^2 (4.35 \text{ m}^2) \end{aligned}$$

$$\text{G.15 } \frac{\% FLOOD}{100} = \frac{V_{LOAD} + GPM(FPL/13000)}{AA (CAF)} = \frac{11.8 + 678(73/13000)}{46.86 (0.458)} = 72.72 \%$$

$$\frac{\% FLOOD}{100} = \frac{V_{LOAD}}{AT \times CAF \times 0.78} = \frac{11.8}{(56.75)(0.458)(0.78)} = 58.2 \%$$

El mayor aplica  $\therefore$  % FLOOD = 77.46 %

$$\text{G.16 } \frac{\% FLOOD DC}{100} = \frac{GPM}{VD_{dsg} \times AD} = \frac{678}{(208.5)(4.943)} = 65.83 \%$$

Las inundaciones no están balanceadas, por lo tanto se hace:

$$\text{G.17 } D^2 nvo = \frac{72.7 (8.5)^2}{82} = 64 \text{ pies}^2 \rightarrow Dnvo = 8 \text{ pies} (2438 \text{ mm})$$

$$ADC_{nva} = \frac{(65.83)(4.943)}{82} = 3.97 \text{ pies}^2$$

$$\text{G.11 } \frac{AD}{AT} = \frac{3.97}{\frac{\pi}{4} 8^2} = 0.0790 \quad \frac{H_1}{D} = 0.1330 \quad H_1 = 12.77 \text{ pulg.}$$

$$\text{G.12 } FPL = \frac{12 (8) - 2 (12.77)}{1} = 70.46 \quad FPL = 8.5 + X(1.5) \approx 70.46 \therefore X = 41$$

$$FPL_{MOD} = 8.5 + 41(1.5) = 70 \text{ Pulg.} \quad DT = H_1 + FPL + H_1 = H_1 + 70 + H_1 = 96$$

$$12.77 + 70 + 12.77 = 95.54$$

$$2H_1 = (12.77) 2 + 0.46$$

$$H_1 = 13 \text{ pulg.}$$

$$\text{G.13 } \frac{H_1}{DT} = \frac{13}{96} = 0.1354 \quad \frac{AD_1}{AT} = 0.0810 \quad AD_1 = 4.07 \text{ pies}^2 (0.378 \text{ m}^2)$$

$$\text{G.14 } AA = \frac{\pi}{4} 8^2 - 2(4.07) = 42.13 \text{ pies}^2 (3.914 \text{ m}^2)$$

$$\text{G.15 } \% F = \frac{11.8 + 678(70/13000)}{(42.13)(0.458)} = 80\%$$

G.16  $\% F_{DC} = \frac{678}{(208.5)(4.07)} = 79.9 \%$       OK. Las inundaciones están balanceadas.

G.18  $WFP = \frac{42.13 \times 144}{70} = 86.67 \text{ pulgadas.}$

G.19 El diámetro de la columna es inferior a 12 pies, por lo tanto no se requieren vigas soporte y las canales serán paralelas al flujo de líquido. Para permitir el acceso a través de la columna los platos tendrán "manway".

$$\text{Número de filas} = \left( \frac{70 - 8.5}{0.5 \times 3} + 1 \right) (1) = 42 \text{ filas}$$

Si base = 3 pulgadas

$$\text{No. de válvulas/fila} = \frac{86.67}{5.75 \times 1} - 0.8(0 + 1) = 14.27 \rightarrow 14 \frac{\text{válvulas}}{\text{fila}}$$

NU = Número total de válvulas = 42 (14) = 588 válvulas

$$NU_{CORR} = NU - 12/\text{manway} = 588 - 12 = 576 \text{ Válvulas}$$

G.20  $A_H = \frac{576}{78.5} = 7.34 \text{ pies}^2$

G.21  $V_H^2 D_V/D_L = \left( \frac{44.7}{7.34} \right)^2 \frac{1.8}{27.65} = 2.414$

G.22 Se utilizan válvulas tipo V-1 de acero inoxidable calibre 16 en un plato de acero al carbón calibre 10, de acuerdo al capítulo 3 y 4.

G.23  $\Delta P_{DRY} = 1.35(0.060) \frac{510}{27.65} + 0.2(2.414) = 1.976 \text{ pulg. de líq.}$

$$\Delta P_{DRY} = 0.82(2.414) = 1.98 \text{ pulg. líq.}$$

El mayor valor aplica, por lo tanto  $\Delta P_{DRY} = 1.98 \text{ pulg. de líquido}$  y las válvulas estarán abiertas en su totalidad.

G.24  $\Delta P = \Delta P_{DRY} + 0.4(GPM/L_{Wi})^{2/3} + 0.4 H_W$

Fijando  $H_W = 2 \text{ pulgadas (51 mm)}$

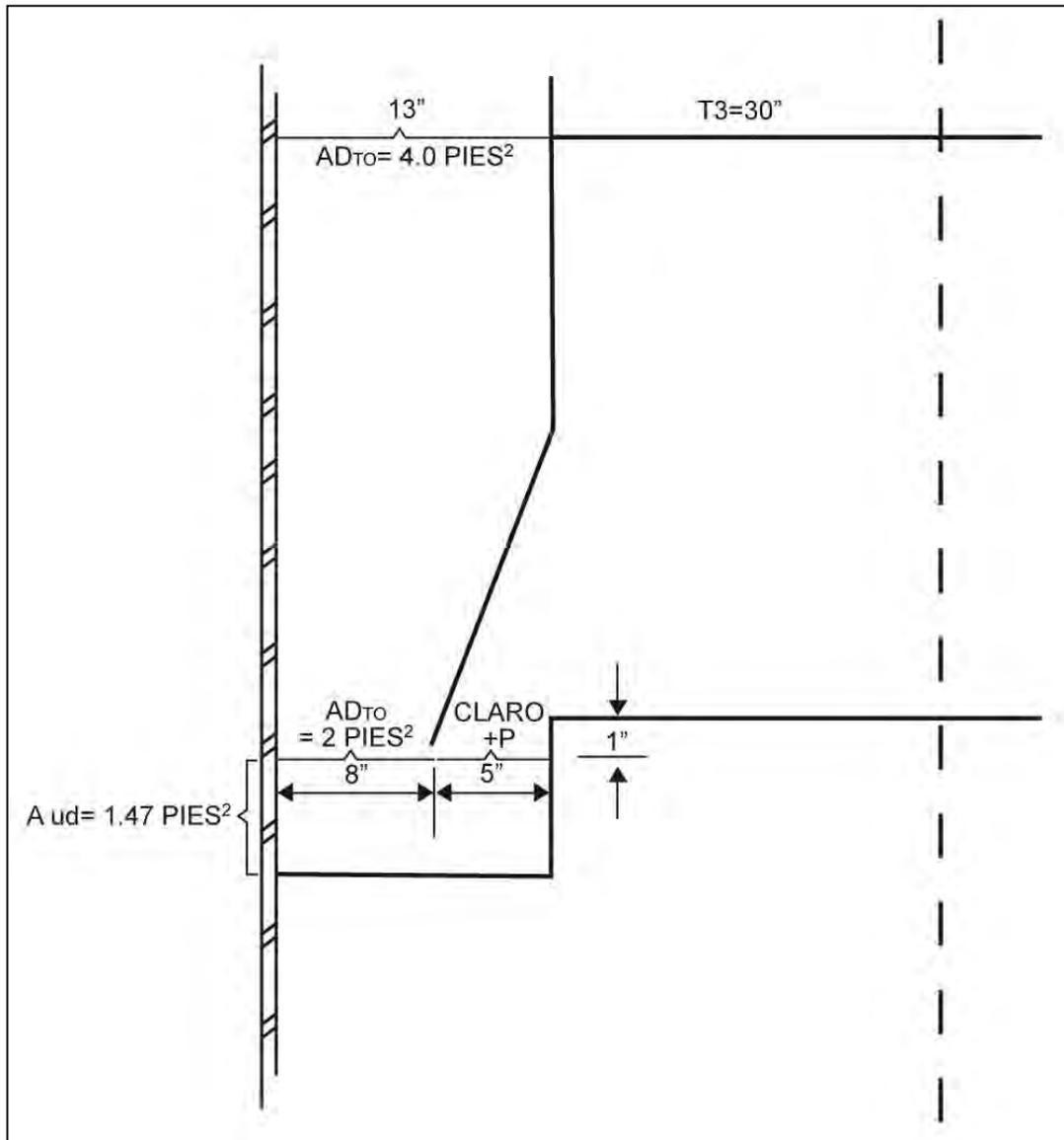
Estimando la longitud del derramadero de salida:

$$\frac{AD_1}{A_T} = \frac{4.07}{\frac{\pi}{4}(8)^2} = 0.0810 \quad \frac{L_W}{D_T} = 0.6843 \quad \therefore L_W = 65.7 \text{ pulg (1669 mm)}$$

Sustituyendo:

$$\Delta P = 1.98 + 0.4(678/65.7)^{2/3} + 0.4(2.0) = 4.67 \text{ pulg. de líq. (119 mm líq)}$$

$$\Delta P = \frac{4.67 \times 27.65}{1728} = 0.075 \text{ psi} = 3.88 \text{ mm Hg} = 0.517 \text{ KPa}$$



G.25 Se emplean bajantes inclinadas como se indico anteriormente para un servicio a presión.

Se propone un claro bajo la bajante de 4 pulgadas y de acuerdo a la figura adjunta.

$$\frac{H_f}{D_T} = \frac{8}{96} = 0.0833 \quad \therefore \frac{AD_f}{A_T} = 0.0398 \quad AD_f = 2 \text{ pie}^2 (0.186 \text{ m}^2)$$

$AD_f$  es aprox. el 50% de  $AD_{TOP OK}$

$$\frac{L_{Wf}}{D_T} = 0.5527 \quad \therefore L_{Wf} = 53 \text{ pulg.}$$

$$A_{UD} = L_{Wf} \times \text{claro} = \frac{53" \times 4"}{144} = 1.47 \text{ pies}^2$$

$$H_{UD} = 0.65(1.51 \text{ PCS LIQ}/1.47)^2 = 0.686 \text{ pulgadas l\u00edq.}$$

$$G.26 \quad H_{DC} = 2 + 0.4(678/65.7)^{2/3} + (4.67 + 0.686)(27.65/(27.65 - 1.8))$$

$$H_{DC} = 9.62 \text{ pulg. (244 mm)}$$

$$TS = 30 \text{ pulg. (762 mm)}$$

Como  $D_V = 1.8 \text{ lb/pie}^3$  la altura del l\u00edquido retenido en la bajante debe ser menor al 50% del espaciamiento entre los platos (TS).

$$\frac{9.62}{30} = 32\% < 50\% \quad \text{OK.}$$

Plato 4 (secci\u00f3n superior)

$$GPM = 595 \text{ (135.1 m}^3\text{/hr)} \quad D_L = 28.77 \text{ lb/pie}^3 \text{ (461 Kg/m}^3\text{)}$$

$$PCS = 44.1 \text{ (4500 m}^3\text{/hr)} \quad D_V = 1.75 \text{ lb/pie}^3 \text{ (28 Kg/m}^3\text{)}$$

Para esta secci\u00f3n, \u00e9ste es el plato que maneja el menor flujo y es el que habr\u00e1 que checar en cuanto a goteo. El flujo m\u00ednimo esperado ser\u00e1 el 50% del de la hoja de datos, entonces:

$$GPM = 0.5 (595) = 297.5 \text{ GPM (67.6 m}^3\text{/hr)}$$

$$PCS = 0.5 (44.1) = 22.05 \text{ (2250 m}^3\text{/hr)}$$

G.1 C\u00e1lculo de la carga de vapor,  $V_{LOAD}$

$$V_{LOAD} = 22.05(1.75/(28.77 - 1.75))^{1/2} = 5.61$$

G.2 Para esta secci\u00f3n ya se tienen fijas las caracter\u00edsticas por el dise\u00f1o del Plato 1.

$$\text{Di\u00e1metro} = 8' 0'' \text{ (2438 mm) 1 paso} \quad \text{\u00c1rea Activa} = 42.13 \text{ pies}^2 \text{ (3.914 m}^2\text{)}$$

$$A_H = 7.34 \text{ pies}^2 \quad FPL_{MOD} = 70 \text{ pulg.} \quad h_W = 2 \text{ pulg. (51 mm)}$$

Para las bajantes.

$$H_1 = 13 \text{ pulg.} \quad AD_1 = 4.07 \text{ pies}^2 \text{ (0.378 m}^2\text{)}$$

$$A_{UD} = 1.47 \text{ pies}^2 \quad \text{claro bajo la bajante} = 4 \text{ pulg.}$$

$$G.4 \quad CAF = CAF_0(FS) = 0.458(1.0) = 0.458$$

$$G.6 \quad VD_{dsg} = 250(FS) = 250(1.0) \text{ GPM/pie}^2$$

$$VD_{dsg} = 41(D_L - D_V)^{1/2}(FS) = 41(28.77 - 1.75)^{1/2}(1.0) = 213.12 \text{ GPM/pie}^2$$

$$VD_{dsg} = 7.5(TS)^{\frac{1}{2}}(D_L - D_V)^{\frac{1}{2}}(FS) = 7.5(30)^{\frac{1}{2}}(28.77 - 1.75)^{\frac{1}{2}}(1.0) = 213.5 \text{ GPM/pie}^2$$

$$\text{El menor aplica} \quad \therefore \quad VD_{dsg} = 213.12 \text{ GPM/pie}^2$$

$$G.15 \quad \% F = \frac{5.61+297.5(70/13000)}{(42.13)(0.458)} = 37.37\%$$

$$G.16 \quad \% F_{DC} = \frac{297.5}{(213.12)(4.07)} = 34.3\%$$

Cálculo del nivel del líquido sobre el plato.

$$h_W + h_{OW} = h_W + 0.4(GPM/L_{Wi})^{2/3} = 2 + 0.4(297.5/65.7)^{2/3} = 3.09 \text{ pulg.}$$

$$V_H \left( \frac{D_V}{D_L} \right)^{1/2} = \left( \frac{22.05}{7.34} \right) \left( \frac{1.75}{28.77} \right)^{1/2} = 0.74$$

De la tabla G.5 el valor mínimo de  $V_H \sqrt{D_V/D_L}$  será de 0.7 aprox., el valor que se maneja es mayor y por lo tanto no se tiene goteo. OK.

Se checa el funcionamiento de esta sección con las consideraciones del capítulo 4.

Se tiene 576 válvulas de acero inoxidable en un plato de A.C. calibre 10.

$$A_b = 42.13 \text{ pies}^2 \qquad h_{OW} = 1.9 \text{ pulg. (48 mm)}$$

$$h_W + h_{OW} = 2 + 1.9 = 3.9 \text{ pulg.}$$

Elevación	$A_s$ , pies <sup>2</sup>	$A_{st}$ , pies <sup>2</sup>	$A_{st}/A_b$	Pulg. líq. Goteo
1/2"	0.01219	7.02	0.167	1.3
9/16"	0.01433	8.25	0.196	1.45

Caída de presión seca para los diferentes calibres.

Calibre	$\Delta P$ seca, pulg. líq.
12	2.95
14	2.1
16	1.7
18	1.41
20	1.0

$$h_H = (C_{VW} R_{WV} H_V D_{MV} / D_L)$$

$$h_H = (1.25)(1.23)H_V(510)/27.65$$

Para las diferentes elevaciones, los calibres que cumplen son el 12, 14 y 16.

Para que todas las válvulas estén abiertas al flujo de diseño, necesita:

CALIBRE	$U_{VHBO}, pps$	$A_H REQ, pies^2$	No. Válv. Req.
12	7.43	6.016	470
14	6.27	7.13	557
16	5.65	7.91	618

$$\frac{PCS}{A_H REQ} = U_{VHBO} = \left( 2g R_{WV} C_{VW} \frac{H_V D_{MV}}{K_{VO} D_V} \right)^{1/2} = \left( 2(32.2)(1.23)(1.25) \frac{H_V (510)}{4.4 \cdot 1.8} \right)^{1/2}$$

$$\text{No. Válv. Req.} = \frac{A_H REQ}{A_H}$$

Se pueden escoger como correctos los calibres 14 y 16. Para checar el comportamiento de la selección hecha anteriormente en el inciso de "caída de presión" en la secuencia de cálculo, se seleccionan válvulas de calibre 16.

Velocidad en el punto de balance abierto = 5.65 pps.

$$\text{Velocidad en el punto de operación} = \frac{44.7 PCS}{576 \times 0.01279} = 6.07 pps$$

$$h_H = K_{VO} \frac{D_V U_{VH}^2}{D_L 2g} = 4.4 \left( \frac{1.8}{27.65} \right) \frac{6.07^2}{2(32.2)} = 0.1639 \text{ pies líq.} = 1.97 \text{ pulg. líq.}$$

OK, checa con lo calculado en la secuencia de Glitsch.

$$\text{Velocidad al flujo mínimo esperado} = \frac{22.05 PCS}{576 \times 0.01279} = 3 pps$$

Para el punto de balance cerrado.

$$U_{VHBC} = \left( 2g h_V R_{WV} \frac{C_{VW} D_{MV}}{K_{VC} D_V} \right)^{1/2}$$

$$K_{VC} = K'_{VC} \left( \frac{A_H}{A_{SC}} \right)^2 = 1.9 \left( \frac{0.01279}{0.00305} \right)^2 = 33.41$$

$$U_{VHBC} = \left( 2(32.2) \left( \frac{0.06}{12} \right) (1.23) \frac{(1.25)(510)}{33.41 \cdot 1.8} \right)^{1/2} = 2 pps.$$

$$\text{Fracción mínima de válvulas abiertas} = V_{o_{\min}} = \frac{3-2}{5.65-2} = 0.274$$

Caída de presión seca del plato = 1.97 pulg. líq.

Caída de presión seca en el punto de goteo = 1.45 pulg. líq. = 0.12 pies líq.

Caída de presión seca máxima permisible por  $DCBU_{\max}$

$$HDC_{MAX} = 0.5(TS) = 0.5(30) = 15 \text{ pulgadas}(381 \text{ mm})$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{SECA \text{ HDC MAX}} &= \frac{(D_L - D_V)(HDC_{MAX} - h_W - 0.4(GPM/L_{Wi}))^{2/3}}{D_L} + (-0.4(GPM/L_{Wi})^{2/3}) - 0.4h_W \\ &\quad - h_{UD} \\ &= \frac{(27.65 - 1.8)(15 - 2 - 1.89)}{27.65} - 1.89 - 0.4(2) - 0.686 = 7 \text{ pulg.} = 0.584 \text{ pies líq.} \end{aligned}$$

Caída de Presión Seca máxima permisible por  $\Delta P_T \text{ máx.}$

$$\Delta P_T / \text{Plato máx} = 0.175 \text{ psi} = 10.94 \text{ pulg. líq.} = 278 \text{ mm líq.} = 9 \text{ mm Hg} = 1.2 \text{ KPa.}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_{SECA} + 0.4(GPM/L_{Wi})^{2/3} + 0.4h_W$$

$$10.94 = \Delta P_{SECA} + 1.89 + 0.4(2)$$

$$\Delta P_{SECA \text{ máx}} = 8.25 \text{ pulg. líq}$$

La velocidad correspondiente a la  $\Delta P_{SECA}$  DCBU máx. será:

Como las válvulas están totalmente abiertas

$$U_{VH \text{ HDC MAX}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{VO} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.584)(27.65)}{(4.4)(1.8)} \right)^{1/2} = 11.46 \text{ pps}$$

Para el punto de goteo, las válvulas estarán cerradas.

$$U_{VH \text{ goteo}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{VC} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.12)(27.65)}{(33.41)(1.8)} \right)^{1/2} = 1.88 \text{ pps}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a carga de líquido cte.

$$\% \text{ FLOOD} = \frac{V_{LOAD} + GPM(FPL/13000)}{AA(CAF)} = \frac{PCS(D_V/(D_L - D_V))^{1/2} + GPM(FPL/13000)}{AA(CAF)}$$

$$100 \% = \frac{PCS(1.8/(27.65 - 1.8))^{1/2} + 678(70/13000)}{(42.13)(0.458)}$$

$$PCS_{VAP} = 59.29$$

$$U_{VH FLOOD} \alpha L cte = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{59.29}{7.34} = 8 pps$$

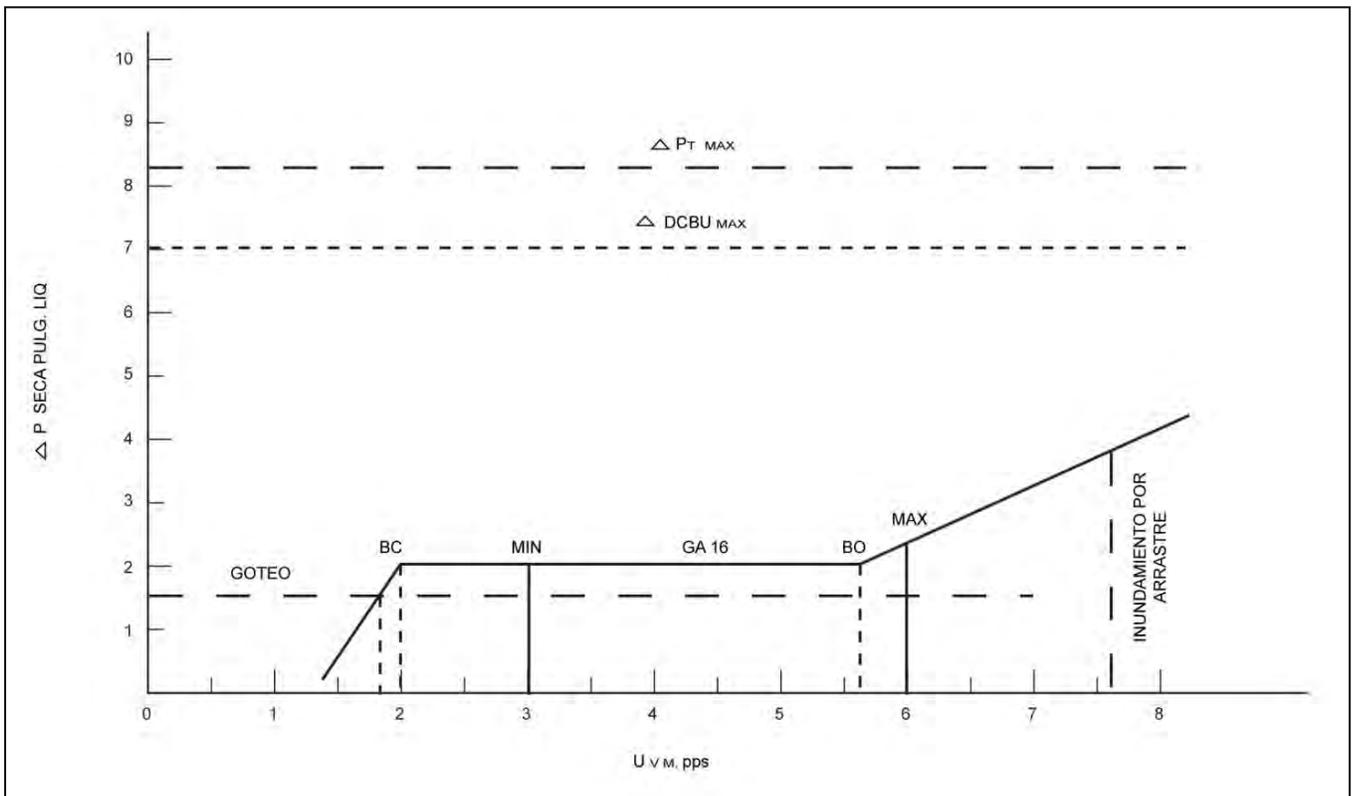
Velocidad en el punto de inundamiento a relación  $\frac{L}{V}$  cte.

$$100 \% = \frac{X \left( 44.7(1.8/(27.65 - 1.8))^{1/2} + 678(70/13000) \right)}{(42.13)(0.458)}$$

$$X = 1.249$$

$$X (PCS vap) = 1.249 (44.7) = 55.84 PCS.$$

$$U_{VH FLOOD} \alpha \frac{L}{V} cte = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{55.84}{7.34} = 7.6 pps$$



Secuencia de cálculo de Koch-Glitsch usando Platos Ballast.

Para el Plato 19 (sección Inferior)

$$GPM = 2834 (643.7 \text{ m}^3/\text{hr}) \quad D_L = 29.28 \text{ lb}/\text{pie}^3 \quad (469 \text{ Kg}/\text{m}^3)$$

$$PCS = 44.6 (4547 \text{ m}^3/\text{hr}) \quad D_V = 2.23 \text{ lb}/\text{pie}^3 \quad (35.72 \text{ Kg}/\text{m}^3)$$

$$G.1 \quad V_{LOAD} = CFS(D_V/(D_L - D_V))^{1/2} = 44.6(2.23/(29.28 - 2.23))^{1/2} = 12.8$$

G.2 Empleado la figura 5.1, siguiendo las recomendaciones del capítulo 4 y 5 y proponiendo un espaciamiento de 24 pulgadas (610 mm) se obtiene un estimado preliminar del diámetro de la columna.

DT = 12'-0'' (3658 mm) con un plato de 2 pasos.

Factor de inundamiento = 0.82 = FF.

$$G.3 \quad FPL = \frac{9 DT}{NP} = \frac{9(12)}{2} = 54 \text{ pulg.}$$

$$G.4 \quad CAF = CAFo (FS)$$

$$FS = 1.0$$

$$G.4.1 \quad CAFo = 0.425$$

$$G.4.2 \quad CAFo > 0.55$$

$$G.4.3 \quad \text{El menor valor es } 0.425 \therefore CAF = 0.425 (1.0) = 0.425$$

$$G.5 \quad AAM = \frac{V_{LOAD} + GPM(FPL/13000)}{(CAF)(FF)} = \frac{12.8 + 2834(54/13000)}{(0.425)(0.82)}$$

$$AAM = 70.5 \text{ pies}^2$$

$$G.6 \quad VD_{dsg} = 250(FS) = 250(1.0) = 250 \text{ GPM}/\text{pie}^2$$

$$VD_{dsg} = 41(D_L - D_V)^{1/2}(FS) = 41(29.28 - 2.23)^{1/2}(1.0) = 213.2 \text{ GPM}/\text{pie}^2$$

$$VD_{dsg} = 7.5(TS)^{1/2}(D_L - D_V)^{1/2}(FS) = 7.5(24)^{1/2}(29.28 - 2.23)^{1/2}(1.0) = 191.1 \text{ GPM}/\text{pie}^2$$

El menor valor aplica  $\therefore VD_{dsg} = 191.1 \text{ GPM}/\text{pie}^2$

G.7 Este plato es el que maneja la mayor carga de líquido en la sección.

$$ADM = \frac{GPM}{VD_{dsg} FF} = \frac{2834}{(191.1)(0.82)} = 18.1 \text{ pies}^2$$

0.11 AAM = 0.11 (70.5) = 7.755 pies<sup>2</sup> este valor es menor al calculado anteriormente:

$$ADM = 18.1 \text{ pies}^2$$

$$G.8 \quad ATM = AAM + 2 ADM = 70.5 + 2(18.1) = 106.7 \text{ pies}^2$$

$$ATM = \frac{V_{LOAD}}{0.78 CAF(FF)} = \frac{12.8}{(0.78)(0.425)(0.82)} = 47 \text{ pies}^2$$

El mayor valor aplica  $\therefore ATM = 106.7 \text{ pies}^2$

$$G.9 \quad DTM = \left[ \frac{ATM}{0.7854} \right]^{1/2} = \left[ \frac{106.7}{0.7854} \right]^{1/2} = 11.66 \rightarrow DT = 12 \text{ pies}(3658 \text{ mm})$$

$$G.9.1 \quad AT = \frac{\pi}{4}(DT)^2 = \frac{\pi}{4}(12)^2 = 113.1 \text{ pies}^2 (10.5 \text{ m}^2)$$

$$G.10 \quad AD = \frac{(AT)ADM}{ATM} = \frac{(113.1)(18.1)}{106.7} = 19.19 \text{ pies}^2 (1.78 \text{ m}^2) \text{ es más que el 10\% de AT, OK.}$$

G.11 Se tiene un plato de dos pasos, por lo tanto se tendrán bajantes laterales y centrales.

De la tabla G.2 obtenemos:

$$AD_1 = 0.5 AD \text{ c/u} = 0.5(19.19) = 9.595 \text{ pies}^2$$

$$AD_3 = 1.0 AD = 1.0(19.19) = 19.19 \text{ pies}^2$$

para  $H_3$ , WF = 12.0

Para las bajantes laterales

$$\frac{AD_1}{AT} = \frac{9.595}{113.1} = 0.0848$$

$$\frac{H_1}{DT} = 0.1396 \quad \therefore \quad H_1 = 0.1396(12) = 1.675 \text{ pies} = 20.1 \text{ pulg.}$$

Para la bajante central :

$$H_3 = (WF) \frac{AD}{DT} = \frac{12(19.19)}{12} = 19.19 \text{ pulg.}$$

$$G.12 \quad FPL = \frac{12(DT) - (2H_1 + H_3 + 2H_5 + 2H_7)}{NP} = \frac{12(12) - (2 \times 20.1 + 19)}{2}$$

$$FPL = 42.3 \text{ pulg.}$$

$$FPL_{MOD} = 8.5 + X \cdot 1.5 \cong 42.3$$

$$X = \frac{42.3 - 8.5}{1.5} = 22.53 \rightarrow 23$$

$$FPL_{MODULAR} = 8.5 + 23(1.5) = 43 \text{ pulg.}$$

$$DT = H_1 + FPL_{MOD} + H_3 + FPL_{MOD} + H_1$$

$$DT = 144" = H_1 + 43 + H_3 + 43 + H_1$$

Se tiene  $H_1 + 43 + H_3 + 43 + H_1 = 20.1 + 43 + 19.19 + 43 + 20.1 = 145.39$  pulg.

La diferencia al diámetro, se divide proporcionalmente y resulta:

1.39 se repartirá entre  $2H_1 + H_3$

$H_3 = 19.19 - 0.695 = 18.495$  pulg. ajustando  $H_3 = 18.5$  pulg.

$2H_1 = 2(20.1) - 0.695 = 39.505$

$H_1 = 19.7525$  ajustando  $H_1 = 19.75$  pulg.

$144$  pulg =  $DT = 19.75 + 43 + 18.5 + 43 + 19.75 = 144$  pulg. OK.

G.13  $AD_1$

$$\frac{H_1}{DT} = \frac{19.75}{144} = 0.1372 \quad \frac{AD_1}{AT} = 0.0827 \quad AD_1 = 9.35 \text{ pies}^2$$

$AD_3$

$$AD_3 = H_3(SF)(DT/12) = 18.5(1.00)(12/12) = 18.5 \text{ pies}^2$$

SF de la tabla G.4

Para el área de bajantes promedio:

$$AD_{AVE} = \frac{2AD_1 + AD_3}{NP} = \frac{2(9.35) + 18.5}{2} = 18.6 \text{ pies}^2 (1.73 \text{ m}^2)$$

G.14 Área activa.

$$AA = AT - 2AD_{AVG} = \frac{\pi}{4}(12)^2 - 2(18.6) = 75.9 \text{ pies}^2 (7.05 \text{ m}^2)$$

$$G.15 \quad \frac{\% FLOOD}{100} = \frac{V_{LOAD} + GPM(FPL/13000)}{AA(CAF)} = \frac{12.8 + 2834(43/13000)}{75.9(0.425)} = 68.74 \%$$

$$\frac{\% FLOOD}{100} = \frac{V_{LOAD}}{AT(CAF)0.78} = \frac{12.8}{(113.1)(0.425)(0.78)} = 0.34 \rightarrow 34 \%$$

El mayor valor es el primero  $\therefore$

% FLOOD = 68.74 %

$$G.16 \quad \frac{\% FLOOD DC}{100} = \frac{GPM}{VD_{dsq}(AD)} = \frac{2834}{191.1(18.6)} = 79.73 \%$$

Las inundaciones no están balanceadas, por lo tanto se hace:

$$G.17 \quad \frac{D_{NVO}^2}{D^2} = \frac{\% FLOOD}{\% FLOOD FACTOR} , \quad D_{NVO}^2 = \frac{D^2 \%F}{\%FF} = \frac{(12)^2 68.74}{82}$$

$$D = 10.98 \quad 11 \text{ pies} \quad (3353 \text{ mm})$$

$$\frac{AD_{NVO}}{AD} = \frac{\% FLOOD DC}{\% FLOOD FACTOR} \quad AD_{NVO} = \frac{(AD) \% FLOOD DC}{\% FF} = \frac{18.6(79.73)}{82}$$

$$AD = 18.09 \rightarrow 18.1 \text{ pies}^2 \quad (1.68 \text{ m}^2)$$

G.11  $AD = 18.1 \text{ pies}^2 = AD_{AVE}$

De la tabla G.2 se tiene:

$$AD_1 = 0.5(AD_{AVE})c/u = 0.5(18.1) = 9.05 \text{ pies}^2$$

$$AD_3 = 1.0(AD) = 1.0(18.1) = 18.1 \text{ pies}^2$$

Para  $H_3$ ,  $W_F = 12.0$

Para las bajantes laterales, se hace:

$$\frac{AD_1}{AT} = \frac{9.05}{\frac{\pi(11)^2}{4}} = 0.0952 \quad \text{de la tabla G.3} \quad \frac{H_1}{DT} = 0.15125$$

$$H_1 = 0.15125(11 \times 12) = 19.97 \text{ pulg.}$$

Para la bajante central.

$$H_3 = 12(18.1)/11 = 19.75 \text{ pulg.}$$

G.12  $FPL = \frac{12(11) - (2 \times 19.97 + 19.75)}{2} = 36.155 \text{ pulg.}$

$$FPL_{MOD} = 8.5 + X1.5 \cong 36.155 \text{ pulg.}$$

$$X = \frac{36.155 - 8.5}{1.5} = 18.43 \rightarrow 18$$

$$FPL_{MOD} = 8.5 + 18(1.5) = 35.5 \text{ pulg.}$$

$$DT = H_1 + FPL_{MOD} + H_3 + FPL_{MOD} + H_1 = 132''$$

Tenemos:

$$19.97 + 38.5 + 19.75 + 35.5 + 19.97 = 130.69''$$

La diferencia se reparte proporcionalmente y :

1.31 se dividirá entre  $2H_1 + H_3$

$$\text{Ahora } H_3 = 19.75 + \frac{1.31}{2} = 20.405 \rightarrow 20.5 \text{ pulg.}$$

$$2H_1 = 2(19.97) + \frac{1.31}{2} = 40.595 \text{ pulg.}$$

$$H_1 = 20.298 \rightarrow 20.25 \text{ pulg.}$$

$$DT = 132 \text{ pulg} = 20.25 + 35.5 + 20.5 + 35.5 + 20.25 = 132 \text{ pulg. OK.}$$

G.13  $AD_1$

$$\frac{H_1}{DT} = \frac{20.25}{11 \times 12} = 0.1534 \quad \frac{AD_1}{AT} = 0.0972$$

$$AD_1 = \frac{\pi}{4} (11^2)(0.0972) = 9.24 \text{ pies}^2$$

$$AD_3 = 20.5(1.0)(11/12) = 18.79 \text{ pies}^2$$

$$AD_{AVE} = \frac{2(9.24)+18.79}{2} = 18.635 \text{ pies}^2 \text{ (1.73 m}^2\text{)}$$

G.14  $AA = \frac{\pi}{4} (11)^2 - 2(18.64) = 57.76 \text{ pies}^2 \text{ (5.37 m}^2\text{)}$

G.15  $\% FLOOD = \frac{12.8 + 2834(35.5/13000)}{(57.76)(0.425)} = 83.67 \%$

$$\% FLOOD = \frac{12.8}{\frac{\pi}{4} (11)^2 (0.425) 0.78} = 40.63 \% \text{ el mayor aplica}$$

$$\therefore \% FLOOD = 83.67\%$$

G.16  $\% FLOOD_{DC} = \frac{2834}{191.1(18.635)} = 79.58\%$

La inundación por arrastre es mayor al factor de inundamiento, para evitar esto se hace:

G.17  $D_{NVO}^2 = \frac{11^2(83.67)}{82} = 123.5 \quad D = 11.11 \rightarrow 11.5 \text{ pies (3505 mm)}$

$$AD_{NVO} = AD_{AVE} = \frac{18.635(79.58)}{82} = 18.1 \text{ pies}^2 \text{ (1.68 m}^2\text{)}$$

G.11 Entonces:

$$AD_1 = 9.05 \text{ pies}^2$$

$$AD_3 = 18.1 \text{ pies}^2$$

$$\frac{AD_1}{AT} = \frac{9.05}{\frac{\pi}{4}(11.5)^2} = 0.0871 \quad \frac{H_1}{DT} = 0.14225 \quad H_1 = 19.63 \text{ pulg.}$$

$$H_3 = 12(18.1)/11.5 = 18.89 \text{ pulg.}$$

G.12  $FPL = \frac{12(11.5) - (2 \times 19.63 + 18.89)}{2} = 39.925 \text{ pulg.}$

$$FPL_{MOD} = 8.5 + X1.5 \cong 39.925$$

$$X = \frac{39.925 - 8.5}{1.5} = 20.95 \rightarrow 21$$

$$FPL_{MOD} = 8.5 + 21(1.5) = 40 \text{ pulg.}$$

Se tiene: DT = 138 pulg.

$$19.63 + 40 + 18.89 + 40 + 19.63 = 138.15 \text{ pulg.}$$

Diferencia, + 0.15 pulg.

$$H_3 = 18.89 - \frac{0.15}{2} = 18.815 \rightarrow 19 \text{ pulg.}$$

$$2H_1 = 2(19.63) - \frac{0.15}{2} = 39.185$$

$$H_1 = 19.59 \text{ pulg} \rightarrow 19.5 \text{ pulg.}$$

$$DT = 138 = 19.5 + 40 + 19 + 40 + 19.5 = 138, \text{ OK.}$$

G.13 Para  $AD_1$

$$\frac{H_1}{DT} = \frac{19.5}{11.5 \times 12} = 0.1413 \quad \frac{AD_1}{AT} = 0.0862$$

$$AD_1 = 8.95 \text{ pies}^2$$

$$AD_3 = 19(1.0)(11.5/12) = 18.21 \text{ pies}^2$$

$$AD_{AVE} = \frac{2(8.95)+18.21}{2} = 18.1 \text{ pies}^2 (1.68 \text{ m}^2)$$

$$G.14 \quad AA = \frac{\pi}{4}(11.5)^2 - 2(18.1) = 67.67 \text{ pies}^2 (6.29 \text{ m}^2)$$

$$G.15 \quad \% FLOOD = \frac{12.8 + 2834 (40/13000)}{(67.67)(0.425)} = 74.8\%$$

$$\% FLOOD = \frac{12.8}{\frac{\pi}{4}(11.5)^2(0.425)0.78} = 37.17\%$$

$$G.16 \quad \% FLOOD_{DC} = \frac{2834}{(191.1)(18.1)} = 81.93\%$$

Tratando de balancear mejor las inundaciones:

$$\%F_{AVE} = \frac{74.8 + 81.93}{2} = 78.37\%$$

$$\frac{AD_{NVO}}{AD} = \frac{\%FLOOD \text{ FACTOR}}{\%F_{AVE}}$$

$$AD_{NVO} = \frac{18.1(82)}{78.37} = 18.94 \text{ pies}^2 = AD_{AVE}$$

$$G.11 \quad AD_1 = 9.47 \text{ pies}^2$$

$$AD_3 = 18.94 \text{ pies}^2$$

$$\frac{AD_1}{AT} = \frac{9.47}{\frac{\pi}{4}(11.5)^2} = 0.0912 \quad \frac{H_1}{DT} = 0.1469 \quad H_1 = 20.27 \text{ pulg.}$$

$$H_3 = \frac{12(18.94)}{11.5} = 19.76 \text{ pulg.}$$

$$G.12 \quad FPL = \frac{12(11.5) - (2 \times 20.27 + 19.76)}{(2)} = 38.85$$

$$FPL_{MOD} = 8.5 + 1.5(X) \cong 38.85 \quad X = 20.2 \rightarrow 20$$

$$FPL_{MOD} = 8.5 + 1.5(20) = 38.5"$$

Se tiene:  $DT = 138 \cong 20.27 + 38.5 + 19.76 + 38.5 + 20.27 = 137.3$

$$H_3 = 19.76 + \frac{0.70}{2} = 20.11 \rightarrow 20 \text{ pulg}$$

$$2H_1 = 2(20.27) + \frac{0.70}{2} = 40.89$$

$$H_1 = 20.445 \rightarrow 20.5 \text{ pulg.}$$

$$DT = 138'' = 20.5 + 38.5 + 20 + 38.5 + 20.5 = 138'' \text{ OK.}$$

$$G.13 \quad \frac{H_1}{DT} = \frac{20.5}{138} = 0.1486 \quad \frac{AD_1}{AT} = 0.0928 \quad \therefore AD_1 = 9.64 \text{ pies}^2$$

$$AD_3 = 20(1.0)(11.5/12) = 19.17 \text{ pie}^2$$

$$AD_{AVE} = \frac{2(9.64)+19.17}{2} = 19.225 \text{ pies}^2 (1.79 \text{ m}^2)$$

$$G.14 \quad = \frac{\pi}{4} (11.5)^2 - 2(19.225) = 65.42 \text{ pies}^2 (6.1 \text{ m}^2)$$

$$G.15 \quad \%FLOOD = \frac{12.8 + 2834(38.5/13000)}{65.42(0.425)} = 76.22 \%$$

$$G.16 \quad \%FLOOD DC = \frac{2834}{(191.1)(19.225)} = 77.14 \% \text{ OK. Las inundaciones están balanceadas.}$$

$$G.18 \quad WFP = \frac{AA \times 144}{FPL} = \frac{65.42 \times 144}{38.5} = 244.7 \text{ pulg.}$$

G.19 El diámetro de la columna es inferior a 12 pies, por ello las canales de soporte estarán paralelas al flujo de líquido y no se requerirá de viga soporte.

$$\text{No. de filas} = \left( \frac{FPL - 8.5}{0.5 \times BASE} + 1 \right) (NP) = \left( \frac{38.5 - 8.5}{0.5 \times 3} + 1 \right) (2) = 42$$

$$\frac{\text{No. de Válvulas}}{\text{fila}} = \frac{WFP}{5.75(NP)} - 8(\text{No. de vigas soporte} + 1)$$

$$\frac{\text{No. de Válvulas}}{\text{fila}} = \frac{244.7}{5.75(2)} - 0.8(0 + 1) = 20.48 \rightarrow 20$$

Como FPL es menor a 43 pulgadas no se precisará corrección por "manway" en el número de válvulas.

$$Nu = 42(20) = 840 \text{ válvulas}$$

$$G.20 \quad A_H = \frac{NU}{78.5} = \frac{840}{78.5} = 10.7 \text{ pies}^2$$

$$G.21 \quad V_H^2 \frac{D_V}{D_L} = \left( \frac{44.6}{10.7} \right)^2 \frac{2.23}{29.28} = 1.32$$

G.22 Se utilizan válvulas tipo V-1 de acero inoxidable calibre 16 en un plato de acero al carbón de calibre 10, de acuerdo a lo señalado en el capítulo anterior.

$$G.23 \quad \Delta P_{DRY} = 1.35 t_M \frac{D_M}{D_L} + K_1 V_H^2 \frac{D_V}{D_L}$$

$$\Delta P_{DRY} = 1.35(0.060) \frac{510}{29.28} + 0.2(1.32) = 1.675 \text{ pulg. l\u00edq.}$$

$$\Delta P_{DRY} = K_2 V_H^2 \frac{D_V}{D_L} = 0.82(1.32) = 1.082 \text{ pulg. l\u00edq.}$$

El mayor valor aplica,  $\Delta P_{DRY} = 1.675 \text{ pulg.}$  de l\u00edquido y las v\u00e1lvulas estar\u00e1n parcialmente abiertas, se recomienda operar con todas las v\u00e1lvulas abiertas al flujo de dise\u00f1o, para ello se disminuir\u00e1 el n\u00famero de unidades valvuladas del plato.

G.19 BASE = 4.5 pulgadas, se cambia para reducir el n\u00famero de v\u00e1lvulas en el plato.

$$\text{No. de Filas} = \left( \frac{38.5 - 8.5}{0.5(4.5)} + 1 \right) (2) = 28.67 \rightarrow 29$$

$$\text{No. de v\u00e1lvulas/fila} = \frac{244.7}{(5.75)^2} - 0.8(0 + 1) = 20.47 \rightarrow 20$$

Como FPL < 43 pulg. no se har\u00e1 correcci\u00f3n por "manway" en el n\u00famero de v\u00e1lvulas.

$$\text{NU} = \text{No. de v\u00e1lvulas} = 29(20) = 580 \text{ v\u00e1lvulas.}$$

$$\text{G.20 } A_H = \frac{NU}{78.5} = \frac{580}{78.5} = 7.39 \text{ pies}^2$$

$$\text{G.21 } V_H^2 \frac{D_V}{D_L} = \left( \frac{44.6}{7.39} \right)^2 \frac{2.23}{29.28} = 2.77 \text{ pie}^2$$

G.22 Se utilizan v\u00e1lvulas tipo V-1 de acero inoxidable de calibre 16 en un plato de acero al carb\u00f3n de calibre 10.

$$\text{G.23 } \Delta P_{DRY} = 1.35(0.060)(510/29.28) + 0.2(2.77) = 1.965$$

$$\Delta P_{DRY} = 0.82(2.77) = 2.270. \text{ El mayor aplica } \Delta P_{DRY} = 2.27 \text{ pulg. de l\u00edquido.}$$

Ahora, las v\u00e1lvulas estar\u00e1n abiertas para el m\u00e1ximo flujo de vapor esperado en esta secci\u00f3n. OK.

$$\text{G.24 } \Delta P = \Delta P_{DRY} + 0.4(GPM/Lwi)^{2/3} + 0.4h_W$$

$$\text{Fijando } h_W = 2 \text{ pulgadas (51 mm)}$$

Se estima la longitud de los derramaderos de salida de las bajantes para evaluar una longitud promedio.

$$\frac{AD_1}{AT} = \frac{9.64}{103.87} = 0.0928 \quad \frac{L_{Wi1}}{DT} = 0.7114 \quad \therefore \quad L_{Wi1} = 98.17 \text{ pulg.}$$

Para la bajante central:

$$\frac{H_3}{D} = \frac{\frac{D}{2} - \frac{H_3}{2}}{DT} = \frac{\frac{11.5 \times 12}{2} - \frac{20}{2}}{11.5 \times 12} = 0.4275 \quad \frac{L_{Wi3}}{DT} = 0.9894 \quad L_{Wi3} = 136.5 \text{ pulg.}$$

Longitud total de los derramaderos en los platos con bajantes laterales = 196.34 pulg.

Longitud total de los derramaderos en los platos con bajante central = 273 pulg.

Longitud total promedio de los derramaderos = 234.67 pulg. (5961 mm)

$$\Delta P = 2.27 + 0.4(2834/234.67)^{2/3} + 0.4(2.0) = 5.18 \text{ pulg. de líquido.}$$

$$\Delta P = \frac{\text{Pulg. L\u00edq.} \times D_L}{1728} = \frac{5.18(29.28)}{1728} = 0.0878 \text{ psi} = 4.6 \text{ mm Hg} = 0.61 \text{ KPa}$$

G.25 Se emplean bajantes inclinadas de acuerdo a lo recomendado en el cap. 5.

Para calcular la altura del líquido retenido en la bajante se calcula la velocidad del líquido a través del área bajo la bajante de los platos con bajantes laterales por ser éstas las más críticas.

Si el claro bajo la bajante es de 5 pulgadas la longitud del derramadero en el fondo es:

$$\frac{H}{D} = \frac{14.5}{138} = 0.1051 \quad \frac{L_{Wf}}{DT} = 0.6133 \quad L_{Wf} = 84.6 \text{ pulg.}$$

$$A_{UD} = \text{claro} \times L_{Wf} = 5" \times 84.6" = 423 \text{ pulg}^2 = 2.94 \text{ pies}^2$$

$$AD_{TOP} = 9.64 \text{ pies}^2 \text{ (0.896 m}^2\text{)}$$

$$AD_{BOTT} = 5.8 \text{ pies}^2 \text{ (0.539 m}^2\text{)} \geq 50\% AD_{TOP} \text{ OK.}$$

$$A_{UD} \text{ TOT} = 2(2.94) = 5.88 \text{ pies}^2$$

$$H_{UD} = 0.65(PCSLIQ/A_{UD})^2 = 0.65(6.3/(2 \times 2.94))^2 = 0.75 \text{ pulg. de líq.}$$

G.26  $H_{DC} = 2 + 0.4(2834/234.67)^{2/3} + (5.18 + 0.75)(29.28/(29.28 - 2.23))$

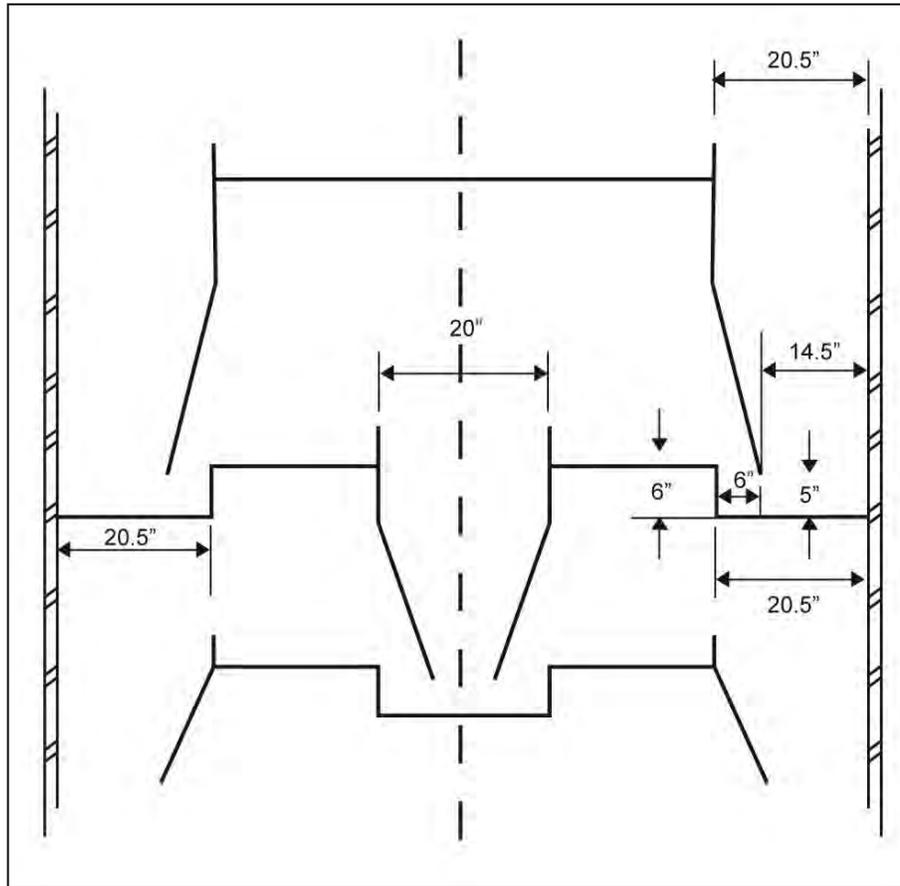
$$H_{DC} = 10.52 \text{ pulgadas de líq. (267 mm líq.)}$$

$$TS = 24 \text{ pulg. (610 mm)}$$

$$Dv = 2.23 \text{ lb/pie}^3$$

La altura del líquido retenido en la bajante debe ser menor al 50% del espaciamiento entre los platos.

$$\frac{10.52}{24} = 43.8\% < 50\% \text{ OK.}$$



Plato 6 Sección Inferior.

$$\text{GPM} = 2164 \text{ (} 491.5 \text{ m}^3\text{/hr)} \quad D_L = 30.31 \text{ lb/} \pi \text{e}^3 \text{ (} 485.5 \text{ Kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{PCS} = 34.4 \text{ (} 3506 \text{ m}^3\text{/hr)} \quad D_V = 1.77 \text{ lb/} \pi \text{e}^3 \text{ (} 28.35 \text{ Kg/m}^3\text{)}$$

Para esta sección éste es el plato que maneja el menor flujo y será el que habrá que checar en cuanto a su flexibilidad operacional. El flujo mínimo será el 50% del valor reportado en la hoja de datos, por lo tanto se tiene:

$$\text{GPM} = 0.5 (2164) = 1082 \text{ GPM (} 245.7 \text{ m}^3\text{/hr)}$$

$$\text{PCS} = 0.5 (34.4) = 17.2 \text{ PCS (} 1753.2 \text{ m}^3\text{/hr)}$$

$$\text{G.1} \quad V_{LOAD} = 17.2(1.77/(30.31 - 1.77))^{1/2} = 4.28$$

G.2 Para esta sección ya están fijadas las características por el diseño del plato que maneja el mayor flujo en ella, el plato 19.

$$\text{Diámetro} = 11.5 \text{ pies (3505 mm)} \quad AA = 65.42 \text{ pies}^2 (6.07 \text{ m}^2)$$

$$FPL_{MOD} = 38.5 \text{ pulg.} \quad 2 \text{ pasos.}$$

$$A_H = 7.39 \text{ pies}^2 \quad h_w = 2 \text{ pulg. (51 mm)}$$

Dimensiones de las bajantes.

$$H_1 = 20.5 \text{ pulg.} \quad AD_1 = 9.64 \text{ pies}^2 (0.896 \text{ m}^2)$$

$$H_3 = 20 \text{ pulg.} \quad AD_3 = 19.17 \text{ pies}^2 (1.78 \text{ m}^2)$$

$$AD_{AVE} = 19.225 \text{ pies}^2 (1.786 \text{ m}^2)$$

$$A_{UD} = 5.88 \text{ pies}^2 \quad L_{w_{AVE}} = 234.67 \text{ pulg. (5961 mm)}$$

Claro bajo la bajante = 5 pulg.

$$G.4 \quad CAF = CAF_o(FS) = 0.458(1.0) = 0.458$$

$$G.6 \quad VD_{dsg} = 250(FS) = 250(1.0) = 250 \text{ GPM/pie}^2$$

$$VD_{dsg} = 41 \times (D_L - D_V)^{1/2}(FS) = 41 \times (30.31 - 1.77)^{1/2}(1.0) = 219 \text{ GPM/pie}^2$$

$$VD_{dsg} = 7.5(TS)^{1/2}(D_L - D_V)^{1/2}(FS) = 7.5(24)^{1/2}(30.31 - 1.77)^{1/2}(1.0) = 196.28 \text{ GPM/pie}^2$$

$$\text{El menor aplica, } \therefore VD_{dsg} = 196.3 \text{ GPM/pie}^2$$

$$G.15 \quad \% F = \frac{V_{LOAD} + GPM(FPL/13000)}{(AA)CAF} = \frac{4.28 + 1082(38.5/13000)}{(65.42)(0.458)} = 24.98 \%$$

$$\% F = \frac{V_{LOAD}}{(0.78)(CAF)AT} = \frac{4.28}{(0.78)(0.458)_{11.5}^2} = 11.5 \%$$

$$\text{El mayor valor aplica, } \therefore \% F = 24.98 \%$$

$$G.16 \quad \% F_{DC} = \frac{1082}{(196.28)(19.225)} = 28.7 \%$$

Para platos de dos pasos el manual de Koch-Glitsch no indica como checar el goteo para los diseños. Para esto se emplean los conceptos de un capítulo anterior.

Se tienen 580 válvulas de acero inoxidable en un plato de A.C. calibre 10.

$$A_b = 65.42 \text{ pies}^2 \quad h_w + h_{ow} = 2 + 0.4(2834/234.67)^{2/3} = 4.1 \text{ pulg.}$$

Elevación	$A_S, \text{pies}^2$	$A_{St}, \text{pies}^2$	$A_{St}/A_b$	Pulg líq, goteo
½"	0.01219	7.07	0.108	0.90
9/16"	0.01433	8.31	0.127	1.0

Caída de presión seca para los diferentes calibres

$$h_H = C_{VW} R_{WV} H_V D_{MV} / D_L = 1.25(1.23) H_V 510 / 29.28$$

Calibre	$\Delta P_{SECA}, \text{Pulg. líq.}$
12	2.78
14	1.98
16	1.6
18	1.34
20	0.99

Para las diferentes elevaciones, los calibres que cumplen son del 12 al 18.

Para que todas las válvulas estén abiertas al flujo de diseño, se necesita:

CALIBRE	$V_{VHBO}, \text{pps.}$	$AH_{req}, \text{pies}^2$	No.válv.req.
12	6.678	6.68	522
14	5.63	7.92	619
16	5.07	8.80	688
18	4.63	9.63	753

$$\frac{PCS}{AH_{req.}} = U_{VHBO} = \left( 2g R_{WV} C_{VW} \frac{H_V D_{MV}}{K_{Vo} D_V} \right)^{1/2}$$

$$\frac{PCS}{AH_{req.}} = U_{VHBO} = \left( 2(32.2)(1.23)(1.25) \frac{H_V (510)}{4.4 (2.23)} \right)^{1/2}$$

$$\text{No. válv. req.} = \frac{A_H \text{ req.}}{A_H}$$

Por lo tanto todas las válvulas estarán abiertas si se selecciona calibre 14, 16 ó 18.

Se escoge como correcta la opción de utilizar válvulas de calibre 16 con elevación de 9/16" ó ½", para checar el comportamiento de la elección que se hizo anteriormente para el inciso de caída de presión de la secuencia de cálculo.

Velocidad en el punto de balance abierto = 5.07 pps.

$$\text{Velocidad en el punto de operación} = \frac{44.6 \text{ pcs}}{580 \times 0.01279} = 6.01 \text{ pps}$$

$$h_H = K_{Vo} \frac{D_V}{D_L} \left( \frac{U_{VH}}{2g} \right) = 4.4 \left( \frac{2.23}{29.28} \right) \left( \frac{6.01}{2(32.2)} \right)^2 = 0.188 \text{ pies líq.} = 2.26 \text{ pulg. líq.}$$

OK checa con lo calculado por la secuencia de Glitsch.

$$\text{Velocidad al flujo mínimo esperado} = \frac{17.2}{580 \times 0.01279} = 2.32 \text{ pps.}$$

Para el punto de balance cerrado:

$$U_{VHBC} = \left( 2g h_V R_{WV} \frac{C_{VW} D_{mV}}{K_{VC} D_V} \right)^{1/2}$$

$$K_{VC} = K'_{VC} \left( \frac{A_H}{A_{SC}} \right)^2 = 1.9 \left( \frac{0.01279}{0.00305} \right)^2 = 33.41$$

$$U_{VHBC} = \left( 2(32.2) \left( \frac{0.06}{12} \right) (1.23) \left( \frac{1.25}{33.41} \right) \frac{510}{2.23} \right)^{1/2} = 1.84 \text{ pps.}$$

$$\text{Fracción mínima de válvulas abiertas} = \frac{U_{VH \text{ mín}} - U_{VHBC}}{U_{VHBO} - U_{VHBC}} = \frac{2.32 - 1.84}{5.07 - 1.84} = V_O = 0.15$$

Caída de presión seca del plato = 2.26 pulg. líq.

Caída de presión seca en el punto de goteo = 1.0 pulg. líq. = 0.083 pies líq.

Caída de presión seca máxima permisible por DCBU máx.

$$HDC_{\text{máx}} = 0.5(TS) = 0.5(24) = 12 \text{ pulg.} = 305 \text{ mm.}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{seca HDC máx}} &= \frac{(D_L - D_V)(HDC_{\text{máx}} - h_w - 0.4(GPM/L_{wi})^{2/3})}{D_L} - 0.4 \left( \frac{GPM}{L_{wi}} \right)^{2/3} - 0.4h_w - h_{UD} \\ &= \frac{(29.28 - 2.23)(12 - 2 - 2.1)}{29.28} - 2.1 - 0.4(2) - 0.75 = 3.65 \text{ pulg. líq.} = 0.3 \text{ pies líq.} \end{aligned}$$

Caída de presión seca máxima permisible por  $\Delta P_T$  máx.

$$\Delta P_{T/\text{plato máx}} = 0.175 \text{ psi} = 10.3 \text{ pulg. líq.} = 262 \text{ mm líq.} = 9 \text{ mm Hg} = 1.2 \text{ KPa.}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{seca}} + 0.4(GPM/L_{wi})^{2/3} + 0.4h_w$$

$$10.3 = \Delta P_{\text{seca}} + 2.1 + 0.4(2)$$

$$\Delta P_{\text{seca}} = 7.4 \text{ pulg. líq.}$$

La velocidad correspondiente a la  $\Delta P_{\text{seca DCBU máx}}$ . será:

Como las válvulas están totalmente abiertas

$$U_{VHDC \text{ máx}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{Vo} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.3)(29.28)}{(4.4)(2.23)} \right)^{1/2} = 7.59 \text{ pps.}$$

Para el punto de goteo, las válvulas estarán cerradas.

$$U_{VH \text{ goteo}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{VC} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.083)(29.28)}{(33.41)(2.23)} \right)^{1/2} = 1.45 \text{ pps.}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a carga de líquido cte.

$$\% FLOOD = \frac{V_{LOAD} + GPM(FPL/13000)}{AA(CAF)} = \frac{PCS(D_V/(D_L - D_V))^{1/2} + GPM(FPL/13000)}{AA(CAF)}$$

$$100\% = \frac{PCS(2.23/(29.38 - 2.23))^{1/2} + 2834(38.5/13000)}{(65.42)0.425}$$

$$PCS = 67.6$$

$$U_{VH \text{ FLOOD a L cte}} = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{67.6}{7.39} = 9.14 \text{ pps.}$$

Velocidad en el punto de inundamiento a relación L/V cte.

$$100\% = \frac{X \left( 44.6(2.23/(29.28 - 2.23))^{1/2} + 2834(38.5/13000) \right)}{65.42(0.425)}$$

$$X = 1.31$$

$$X(PCS_{VAP}) = 1.31(44.6) = 58.426$$

$$U_{VH \text{ FLOOD a L/V cte}} = \frac{PCS}{A_H} = \frac{58.426}{7.39} = 7.9 \text{ pps}$$

## 6.2 DIMENSIONAMIENTO DE KOCH-GLITSCH USANDO PLATOS "FLEXITRAY".

### DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCION SUPERIOR

Plato 1.

Plato que maneja la mayor carga de la sección.

$$KA1 \quad PCS = 44.7 \text{ (4554 m}^3\text{/hr)} \quad D_V = 1.8 \text{ lb/pie}^3 \text{ (28.83 Kg/m}^3\text{)}$$

$$GPM = 678 \text{ (154 m}^3\text{/hr)} \quad D_L = 27.65 \text{ lb/pie}^3 \text{ (442.91 Kg/m}^3\text{)}$$

Se propone un espaciamento de 30 pulgadas (762 mm)

$$D_L - D_V = 27.65 - 1.80 = 25.85 \text{ lb/pie}^3$$

$$KA2 \quad \text{De la figura 6.6 } \left( \frac{D_V}{D_L - D_V} \right)^{1/2} = 0.265$$

$$KA3 \quad V_{LOAD} = PCS \left( \frac{D_V}{D_L - D_V} \right)^{1/2} = (44.7)0.265 = 11.846$$

Con la densidad del vapor

y para un espaciamento propuesto de 30 pulg. se lee en la tabla K.1

El factor de espaciamento TSF = 1.12

Se estima el factor de disminución de capacidad, DF de acuerdo a la tabla K.2 DF = 0.90

Para evaluar el diámetro de la columna directamente de la figura 5.7 se hace:

$$GPM \times \frac{1}{DF} \times \frac{1}{TSF} = 678 \times \frac{1}{0.9} \times \frac{1}{1.12} = 672.62 \text{ GPM}$$

$$V_{LOAD} \times \frac{1}{DF} \times \frac{1}{TSF} = 11.846 \times \frac{1}{0.9} \times \frac{1}{1.12} = 11.75$$

Graficando estos valores en la figura 5.7

Se lee DT = 7.5 pies (2286 mm) con un plato de 2 pasos.

$$KB1 \quad \frac{GPM}{\text{No.de pasos} \times DT} = \frac{678}{2 \times 7.5} = 45.2 \frac{GPM}{\text{pie de diámetro paso}} \leq \frac{80 \text{ GPM}}{\text{pie de diámetro paso}}$$

Lo que significa que 2 pasos es correcto para este diámetro.

$$KB2 \quad VDC = 175 \frac{GPM}{\text{pie}^2} \times DF = 175 \frac{GPM}{\text{pie}^2} \times 0.9 = 157.5 \frac{GPM}{\text{pie}^2}$$

$$D_L - D_V = 25.85 \frac{lb}{pie^3} < 30 \frac{lb}{pie^3} \therefore \text{de la figura 5.8}$$

$(GPM/pie^2)DSG = 200 GPM/pie^2$ . Este valor es mayor que el calculado anteriormente, por lo tanto, se hace:

$$VDC = 157.5 GPM/pie^2$$

Sustituyendo:

$$ADC_{mín} = \frac{678 GPM}{157.5 \frac{GPM}{pie^2}} \times \frac{24}{30} = 3.44 \text{ pies}^2 \text{ y para cada bajante lateral.}$$

$$ADC_{SIDE MIN} = \frac{3.44}{2} = 1.72 \text{ pies}^2$$

De la figura 5.9 Anchura de la cuerda, "H" = 7.4 pulg. y

De la figura 5.10 Longitud de la cuerda = Lw = 4.14 pies.

Longitud total de derramaderos laterales = 2 Lw = 4.14 + 4.14 = 8.28 pies

$$\text{Carga sobre el derramadero recto} = \frac{678 GPM}{8.28 \text{ pies}} = 81.9 GPM/pie \text{ de derramadero.}$$

Este valor es mayor que 60 GPM/pie de derramadero, convendría emplear un derramadero escalonado ó de relevo.

El área efectiva del derramadero escalonado será máximo el 25% del área de la bajante en su parte superior, por lo tanto:

Área de cada bajante lateral =  $ADC_{side mín} = 1.72 \text{ pies}^2$ , de esta un 75% mínimo corresponderá a la bajante y el resto a la sección de relevo.

Área del segmento =  $0.75(1.72) = 1.29 \text{ pies}^2$ , de la figura 6.9 H = 6 pulg. no se precisa redondear a la siguiente media pulgada:

Área segmental:  $1.29 \text{ pies}^2$

Área de relevo requerida =  $1.72 - 1.29 = 0.43 \text{ pies}^2$

Para fijar la geometría del derramadero escalonado se hace, de acuerdo a la figura 5.11.

Si  $S = 8 \text{ pulg.}$

$$\text{Área de relevo} = \frac{S(a+b)}{144} = \frac{8(a+b)}{144} = 0.43 \text{ pies}^2$$

$$(a + b) = 7.74 \text{ pulgadas}$$

Empleando los valores mínimos de a y b para fijar sus dimensiones  $a = 6''$  y  $b = 4''$ .

$$\text{Área de relevo} = \frac{8(6+4)}{144} = 0.56 \text{ pies}^2$$

$$\text{Área total de las bajantes laterales} = 2(1.29) + 2(0.56) = 3.7 \text{ pies}^2$$

$$\% \text{ Área de Relevo} = \frac{2(0.56)}{3.7} = 30.3\% > 25\%$$

Ni aún empleando el valor mínimo de “S” se tendrá un área de relevo inferior al 25% del área total de las bajantes laterales, por lo tanto se incrementará el valor de la anchura del segmento circular a la siguiente media pulgada.

$$H = 6.5 \text{ pulg} \quad \therefore \text{Área del segmento} = 1.45 \text{ pies}^2$$

$$\text{Área de relevo requerida} = 1.72 - 1.45 = 0.27 \text{ pies}^2$$

Empleando las dimensiones mínimas para el derramadero escalonado  $S = 7''$ ,  $a = 6''$  y  $b = 4''$ .

$$\text{Área de relevo} = \frac{7(6+4)}{144} = 0.486 \text{ pies}^2$$

$$\text{Área total de las bajantes laterales} = 2(1.45) + 2(0.486) = 3.872 \text{ pies}^2$$

$$ADC_{TOP \text{ TOTAL}} = 3.872 \text{ pies}^2 (0.359 \text{ m}^2)$$

$$\% \text{ Área de relevo} = \frac{2(0.486)}{3.872} = 25\% \text{ OK.}$$

Se propone que la bajante central tenga una anchura de 6 pulgadas.

$$ADC_{CENT} = \frac{6}{12} \times 7.5 = 3.75 \text{ pies}^2 \cong 3.872 \text{ OK.}$$

Koch-Glitsch recomienda el empleo de bajantes inclinadas para todas las situaciones excepto para espaciamentos inferiores a 15 pulgadas pues con éstos se tienen problemas por construcción.

Si se desplaza  $1 \frac{1}{2}$  pulgadas la parte inferior de las bajantes

Anchura del segmento en la bajante = 6.5 pulg.

Anchura en el fondo de la bajante =  $6.5'' - 1.5'' = 5 \text{ pulg.}$ , empleando la fig. 5.9.

Área en el fondo de la bajante =  $1 \text{ pie}^2$

Área total en el fondo de las bajantes laterales =  $2(1 \text{ pie}^2) = 2 \text{ pies}^2 (0.186 \text{ m}^2)$

$$\frac{2.0}{3.872} (100) = 51.7\% \quad \text{OK}$$

Para la bajante central

Anchura en el fondo de la bajante central = Anchura en la parte superior de la bajante central – 2(1.5)

$$6'' - 2(1.5'') = 3 \text{ pulg.}$$

$$\text{Área en el fondo de la bajante central} = \frac{3''}{12} \times 7.5' = 1.875 \text{ pies}^2$$

$$\frac{1.875 \text{ pies}^2}{3.75 \text{ pies}^2} 100 = 50\% \quad OK$$

Como con un desplazamiento de 1 ½ pulgadas en el fondo de las bajantes el área de éstas es al menos el 50% del área en su parte superior, el valor supuesto se considera correcto.

KB.3 Fijando la altura del derramadero en 3 pulgadas (76 mm) por tener un servicio a presión y un espaciado mayor que 24 pulgadas.

$$\text{Claro bajo la bajante} = \text{altura del derramadero} - \frac{1}{2} \text{ pulgada} =$$

$$\therefore \text{Claro bajo la bajante} = 3'' - \frac{1}{2}'' = 2 \frac{1}{2} \text{ pulg.}$$

Longitud de la cuerda en el fondo de la bajante lateral, Lwf.

De la figura 5.10 y con anchura en el fondo de la bajante = 5 pulg.

$$Lwf = 3.45 \text{ pies} \times 2 = 6.90 \text{ pies}$$

$$\frac{GPM}{\text{pie de derramadero sumergido}} = \frac{678}{6.90} = 98.26 \text{ GPM/pie}$$

De la fig. 5.12 caída de presión a través del claro bajo la bajante = 0.6 pulg. de líq.

Menor a 1.5 pulg. líq. OK.

KB.4 Para calcular la longitud del derramadero proyectado. Se hace H = anchura del segmento + "S"

$$H = 6.5'' + 7'' = 13.5''$$

y de la figura 6.10,  $L_{WP} = 5.3 \text{ pies/lado}$

Longitud total del derramadero proyectado = 2 (5.35) = 10.7 pies.

$$\frac{GPM}{\text{Pie de derramadero proyectado}} = \frac{678}{10.7} = 63.36 \text{ GPM/pie}$$

KB.5 Área neta de válvulas =  $A_T - A_{DC} - A_I - A_E = \text{pies}^2 = A_{NC}$

$$A_T = \frac{\pi}{4}(D^2) = \frac{\pi}{4}(7.5)^2 = 44.18 \text{ pies}^2 (4.1 \text{ m}^2)$$

$$A_{DC} = 3.872 \text{ pies}^2$$

$$A_I = 1.875 \text{ pies}^2$$

$A_E = 0$  por tener un diámetro de columna superior a 3 ½ pies

$$\text{Área neta de válvulas} = 44.18 - 3.872 - 1.875 = 38.433 \text{ pies}^2 (3.57 \text{ m}^2)$$

$$\text{KB.6 } CFS_{(neto)} = \frac{(PCSVAP)(D_V/(D_L-D_V))^{1/2}}{\text{Área neta de válvulas}} = \frac{11.846}{38.433} = 0.308$$

$$\text{KB.7 } \% \text{ Inundación} = \frac{100}{0.51 \times TSF \times DF} \left( CFS_{(neto)} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$= \frac{100}{(0.51)(1.12)(0.9)} \left( 0.308 + \frac{0.001327(678)}{10.7} \right) = 76.3\%$$

$$\% \text{ Inundamiento}_{líq} = \frac{(85)ADC_{min}}{ADC_{TOP}} = \frac{(95)3.44}{3.872} = 75.52\%$$

Los inundamientos están balanceados, ∴ OK.

#### KC. CAIDA DE PRESIÓN.

##### KC.1

- a) Considerando un pitch para las válvulas de 3" x 2 1/2 " se tendrán 14 válvulas/pie<sup>2</sup> de área neta de válvulas.

$$\text{No. de válvulas del plato} = \frac{14 \text{ válvulas}}{\text{pie}^2} \times A_{NC} = 14(38.433) = 538$$

Para considerar áreas muertas  $0.85(538) = 457$  válvulas.

- b) La densidad del vapor es de 1.8 lb/pie<sup>3</sup>

Con ese valor se lee en la figura 5.13 el factor "F" para convertir el flujo de vapor a pies cúbicos por minuto de aire equivalente.

$$"F" = 300$$

$$\text{PCM aire} = \text{PCS vap} (F) = (44.7)(300) = 13410 \text{ PCM aire equiv.}$$

- c)  $\frac{\text{PCM aire equiv}}{\text{No. de válvulas}} = \frac{13410}{457} = 29.3 \text{ PCM aire equiv/válvula}$

##### KC.2

$$\frac{\text{GPM}}{\text{pie de derramadero}}$$

Longitud del derramadero escalonado  $\cong 1.14$  longitud del derramadero proyectado.

∴ longitud del derramadero escalonado  $\cong 1.14 (10.7) = 12.2$  pies

$$\frac{\text{GPM}}{\text{pie de derramadero}} = \frac{678 \text{ GPM}}{12.20 \text{ pies}} = 55.6 \text{ GPM/pie}$$

KC.3 Se utilizan válvulas tipo A, la mitad será calibre 14 y el resto de calibre 16 fabricadas todas en acero inoxidable. De acuerdo a lo recomendado en el capítulo 4.

$$\Delta P_{DRY} = 1.45 \text{ pulgadas de agua} = 3.27 \text{ pulg. líq.}$$

de la figura 5.14.

KC.4 La altura del derramadero son 3 pulgadas  $\therefore$  no se necesitará corrección.

$$\frac{GPM}{\text{pie de derramadero}} = 55.6 \text{ GPM/pie}$$

$$\frac{PCM \text{ aire equiv.}}{\text{válvula}} = 29.3$$

De la figura 5.19 profundidad del líquido efectiva = 2.15 pulg. de líq. claro.

$$\Delta P_{WET} = \text{Profundidad del líquido efectiva} = 2.15 \text{ pulg. de líq. claro.}$$

$$KC.5 \quad \Delta P_{WET} = 2.15 \text{ pulg. líq.} \times \frac{27.65}{62.4} = 0.9527 \text{ pulg. } H_2O.$$

KC.6 CAIDA DE PRESIÓN TOTAL

$$\Delta P_T = \Delta P_{DRY} + \Delta P_{WET} = 1.45 + 0.9527 = 2.403 \text{ pulg. } H_2O.$$

$$\Delta P_T = 5.42 \text{ pulg. líq.} = 4.5 \text{ mm Hg} = 0.087 \text{ psi} = 0.6 \text{ Kpa}$$

KD CÁLCULO DE LA ALTURA DEL LÍQUIDO RETENIDO EN LA BAJANTE

$$KD.1 \quad DCBU = 2\Delta P_{WET} + \Delta P_{DRY} + \Delta P_{\text{claro bajo la bajante}} = 2(2.15) + 3.27 + 0.6 \\ = 8.17 \text{ pulg. líq. (208 mm líq.)}$$

$$KD.2 \quad \% DCBU = \frac{DCBU}{TS + h_w} = \frac{8.17}{30 + 3} = 24.75\%$$

La  $D_V = 1.8 \text{ lb/pie}^3$  esta entre 1 y 3  $\therefore$  el DCBU máx. es del 50%. OK.

PLATO 4.

Plato que maneja la menor carga de la sección.

$$PCS_{VAP} = 44.1 \text{ (4500 m}^3\text{/hr)} \quad D_V = 1.75 \text{ lb/pie}^3 \text{ (28.03 Kg/m}^3\text{)}$$

$$GPM = 595 \text{ (135.1 m}^3\text{/hr)} \quad D_L = 28.77 \text{ lb/pie}^3 \text{ (460.85 Kg/m}^3\text{)}$$

La capacidad mínima de operación será el 50% de los flujos de diseño.

$$PCS_{VAP} = 22.05 \text{ (2250 m}^3\text{/hr)}$$

$$GPM = 297.5 \text{ (67.6 m}^3\text{/hr)}$$

Ya se tienen fijadas las dimensiones del plato de acuerdo al dimensionamiento efectuado para el plato que maneja el mayor flujo de la sección.

$$DT = 7.5 \text{ pies (2286 mm) 2 pasos}$$

$$TS = 30 \text{ pulgadas (762 mm)}$$

$$ADC_{LAT} = 3.872 \text{ pies}^2 \text{ (0.359 m}^2\text{)}$$

$$ADC_{CENT} = 3.75 \text{ pies}^2 \text{ (0.348 m}^2\text{)}$$

$$ADC_{LAT\ BOTT} = 2 \text{ pies}^2 \text{ (0.186 m}^2\text{)}$$

$$ADC_{CENT\ BOTT} = 1.875 \text{ pies}^2 \text{ (0.174 m}^2\text{)}$$

$$Ab\ DISP = A_{NC} = 38.433 \text{ pies}^2 \text{ (3.57 m}^2\text{)}$$

Longitud del derramadero proyectado = 10.7 pies (3261 mm)

$$h_w = 3 \text{ pulgadas (76 mm)}$$

Plato de acero al carbón calibre 10 con 457 válvulas de acero inoxidable 410.

$$KB.6 \quad CFS_{NETO} = \frac{PCS_{VAP}(D_V/(D_L-D_V))^{1/2}}{A_{NC}} = \frac{22.05(1.75/(28.77 - 1.75))^{1/2}}{38.433}$$

$$CFS_{NETO} = 0.146$$

$$KB.7 \quad \% \text{ INUNDACION} = \frac{100}{0.51 \times TSF \times DF} \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$= \frac{100}{0.51 \times 1.12 \times 0.9} \left( 0.146 + \frac{0.001327(297.5)}{10.7} \right) = 35.6\%$$

$$\% \text{ INUNDAMIENTO LIQ} = \frac{85 \text{ ADC}_{min}}{\text{ADC}_{TOP}} = \frac{85 \times 1.51}{3.872} = 33.2\%$$

$$ADC_{min} = \frac{GPM}{VDC} \times \frac{24}{TS}$$

$$VDC = 175 \frac{GPM}{\text{pie}^2} \times DF = 175 \times 0.9 = 157.5 \text{ GPM/pie}^2$$

$$D_L - D_V = 28.77 - 1.75 = 27.02 \text{ lb/pie}^3$$

De la figura 5.8

$$(GPM/pie^2)_{DSG} = 208$$

Este valor es mayor que el calculado anteriormente, por lo tanto se hace:

$$VDC = 157.5 \text{ GPM/pie}^2$$

Sustituyendo

$$AAC_{mín} = \frac{297.5}{157.5} \times \frac{24}{30} = 1.51 \text{ pies}^2$$

Checando el comportamiento del plato de acuerdo a lo indicado en el capítulo anterior.

Se tienen 457 válvulas de acero inoxidable, el 50% de calibre 14 y el resto de calibre 16, en un plato de acero al carbón de calibre 10.

$$A_b = A_{NC} = 38.433 \text{ pies}^2$$

Carga de líquido sobre el plato =  $h_w + h_{ow}$

$$h_{ow} = 1.35 \text{ pulg (34 mm) de la figura 5.12 con GPM/pie de derramadero} = \frac{678}{12.2} = 55.6$$

$$h_w + h_{ow} = 3 + 1.35 = 4.35 \text{ pulg.}$$

ELEVACION	$A_S, \text{pies}^2$	$A_{ST}, \text{pies}^2$	$A_{ST}/A_b$	Pulg. líq. Goteo
1/2"	0.01193	5.45	0.142	1.25
9/16"	0.0140	6.398	0.166	1.4

Caída de presión seca para los diferentes calibres.

CALIBRE	$\Delta P_{seca}, \text{pulg. líq.}$
12	2.91
14	2.07
16	1.68
18	1.4
20	1.04

Para las diferentes elevaciones, los calibres que cumplen son del 12 al 16.

Para que todas las válvulas estén abiertas al flujo de diseño, se requieren.

CALIBRE	$U_{VHBO}, \text{pps}$	$A_{H REQ}, \text{pies}^2$	No. De Válv. Req.
12	7.39	6.05	473
14	6.23	7.17	561
16	5.6	7.98	624

$$\frac{PCS}{A_H REQ} = U_{VHBO} = \left(2g R_{wv} C_{vw} \frac{H_v D_{MV}}{K_{vo} D_V}\right)^{1/2}$$

$$U_{VHBO} = \left(2(32.2)(1.23)(1.3) \frac{H_V}{4.4} \frac{484}{1.8}\right)^{1/2}$$

$$\text{No. VALV. REQ.} = \frac{A_H REQ}{A_H}$$

Como se tienen válvulas de dos calibres diferentes, habrá cuatro puntos de balance.

- 1) Punto de balance cerrado para las válvulas ligeras.

$$U_{VHBCL} = \left(2g h_v R_{wv} \frac{C_{vw} D_{MV}}{K_{vc} D_V}\right)^{1/2}$$

$$K_{vc} = K'_{vc} \left(\frac{A_H}{A_{SC}}\right)^2 = 1.9 \left(\frac{0.01279}{0.00191}\right)^2 = 85.198$$

$$U_{VHBCL} = \left(2(32.2) \left(\frac{0.06}{12}\right) 1.23 \left(\frac{1.3}{85.198}\right) \left(\frac{484}{1.8}\right)\right)^{1/2}$$

$$h_H = K_{vc} \frac{D_v}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 85.198 \frac{1.8}{27.65} \frac{1.27^2}{2(32.2)} = 0.1389 \text{ pies líq.} = 1.67 \text{ pulg. líq.}$$

- 2) Punto de Balance abierto para las válvulas ligeras.

$$U_{VHBOL} = \left(2g h_v R_{wv} \frac{C_{vw} D_{MV}}{K_{vi} D_V}\right)^{1/2}$$

$$\frac{1}{K_{vi}} = \frac{X^2}{K_{vo}} + \frac{2X(1-X)}{\sqrt{K_{vo} K_{vc}}} + \frac{(1-X)^2}{K_{vc}}$$

X = fracción de válvulas ligeras = 0.5

$$K_{vo} = 4.4 \text{ y } K_{vc} = 85.198$$

$$\frac{1}{K_{vi}} = \frac{0.5^2}{4.4} + \frac{2(0.5)(1-0.5)}{\sqrt{(4.4)(85.198)}} + \frac{(1-0.5)^2}{85.198} = 0.08558$$

$$K_{vi} = 11.68$$

$$U_{VHBOL} = \left(2(32.2) \frac{0.06}{12} (1.23) \frac{1.3}{11.68} \left(\frac{484}{1.8}\right)\right)^{1/2} = 3.44 \text{ pps}$$

$$h_H = K_{vi} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 11.68 \left(\frac{1.8}{27.65}\right) \frac{3.44^2}{2(32.2)} = 0.1397 \text{ pies líq.} = 1.676 \text{ pulg. líq.}$$

- 3) Punto de balance cerrado para las válvulas calibre 14

$$U_{VHBCP} = \left(2g h_v R_{wv} \frac{C_{vw} D_{MV}}{K_{vi} D_V}\right)^{1/2}$$

$$= \left( 2(32.2) \left( \frac{0.074}{12} \right) (1.23) \left( \frac{1.3}{11.68} \right) \left( \frac{484}{1.8} \right) \right)^{1/2} = 3.823 \text{ pps}$$

$$h_H = K_{vi} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 11.68 \left( \frac{1.8}{27.65} \right) \left( \frac{3.823^2}{2(32.2)} \right) = 0.1726 \text{ pies líq.} = 2.07 \text{ pulg. líq.}$$

4) Para el punto de balance abierto para las válvulas de calibre 14.

$$U_{VHBO} = \left( 2g h_v R_{WV} \frac{C_{VW}}{K_{V0}} \frac{D_{MV}}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$= \left( 2(32.2) \left( \frac{0.074}{12} \right) (1.23) \left( \frac{1.3}{4.4} \right) \left( \frac{484}{1.8} \right) \right)^{1/2} = 6.23 \text{ pps}$$

$$h_H = K_{V0} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 4.4 \left( \frac{1.8}{27.65} \right) \left( \frac{6.23^2}{2(32.2)} \right) = 0.1726 \text{ pies líq.} = 2.07 \text{ pulg. líq.}$$

Velocidad en el punto de operación.

$$U_{VH} = \frac{PCS}{A_H} = \frac{44.7}{457(0.01279)} = 7.65 \text{ pps}$$

$$\text{Velocidad al flujo mínimo esperado} = \frac{22.05 \text{ PCS}}{457(0.01279)} = 3.77 \text{ pps}$$

$$\text{Fracción mínima de válvulas abiertas} = \frac{U_{VH \text{ min}} - U_{VHBC}}{U_{VHBO} - U_{VHBC}} = V_0$$

$$V_0 = \frac{3.77 - 1.27}{6.23 - 1.27} = 0.504 \text{ o sea todas las válvulas ligeras están abiertas.}$$

$$\text{Caída de presión del plato seco} = K_{V0} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 4.4 \left( \frac{1.8}{27.65} \right) \left( \frac{7.65^2}{2(32.2)} \right) =$$

$$= 0.26 \text{ pies líq} = 3.12 \text{ pulg. líq.}$$

Caída de presión seca en el punto de goteo = 1.4 pulg. líq. = 0.1167 pies líq.

Caída de presión máxima permisible por  $DCBU_{m\acute{a}x}$ .

$$DCBU_{m\acute{a}x} = 0.5(TS + h_w) = 0.5(30 + 3) = 16.5 \text{ pulg. (419 mm)}$$

$$DCBU_{m\acute{a}x} = 2\Delta P_{WET} + \Delta P_{Seca \text{ máx. } DCBU} + \Delta P_{claro \text{ bajo la bajante}}$$

$$\Delta P_{Seca \text{ máx. } DCBU} = DCBU_{m\acute{a}x} - 2\Delta P_{WET} - \Delta P_{claro \text{ bajo la bajante}}$$

$$\Delta P_{Seca \text{ máx. } DCBU} = 16.5 - 2(2.15) - 0.6 = 11.6 \text{ pulg. líq.} = 0.967 \text{ pies líq.}$$

La caída de presión máxima permisible por plato: 0.175 psi (9 mm Hg) (1.2 KPa)

$$\text{Si } D_L = 27.65 \text{ lb/pie}^3 \quad \Delta P_{plato \text{ máx}} = 10.94 \text{ pulg. líq.} = 0.912 \text{ pies líq.}$$

$$\Delta P_{Seca \text{ máx. por } \Delta P_T} = \Delta P_T - \Delta P_{WET} = 10.94 - 2.15 = 8.79 \text{ pulg. líq.}$$

La velocidad correspondiente a la  $\Delta P_{seca DCBU \text{ máx}}$  es:

Como las válvulas estarán totalmente abiertas.

$$U_{VH DCBU \text{ máx}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{VO} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.967)(27.65)}{4.4(1.8)} \right)^{1/2} = 14.74 \text{ pps}$$

Para el punto de goteo.

Las válvulas estarán cerradas.

$$U_{VH \text{ goteo}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{VC} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.1167)(27.65)}{85.198(1.8)} \right)^{1/2} = 1.16 \text{ pps}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a carga de líquido cte.

$$\% FLOOD = \frac{100}{0.51 \times TSF \times DF} \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$CFS_{NETO} = \frac{PCS_{VAP}(D_V/(D_L-D_V))^{1/2}}{A \text{ neta de válvulas}}$$

Para % FLOOD = 100%

$$100 = \frac{100}{0.51 \times 1.12 \times 0.9} \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327(678)}{10.7} \right)$$

$$CFS_{NETO} = 0.43$$

$$PCS_{VAP} = \frac{CFS_{NETO}(A \text{ NETA DE VALVULAS})}{(D_V/(D_L-D_V))^{1/2}} = \frac{0.43(38.433)}{(1.8/(27.65-1.8))^{1/2}}$$

$$PCS_{VAP} = 62.63$$

$$U_{VH FLOOD \text{ a L Cte.}} = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{62.63}{457 \times 0.01279} = 10.72 \text{ pps}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a relación L/V cte.

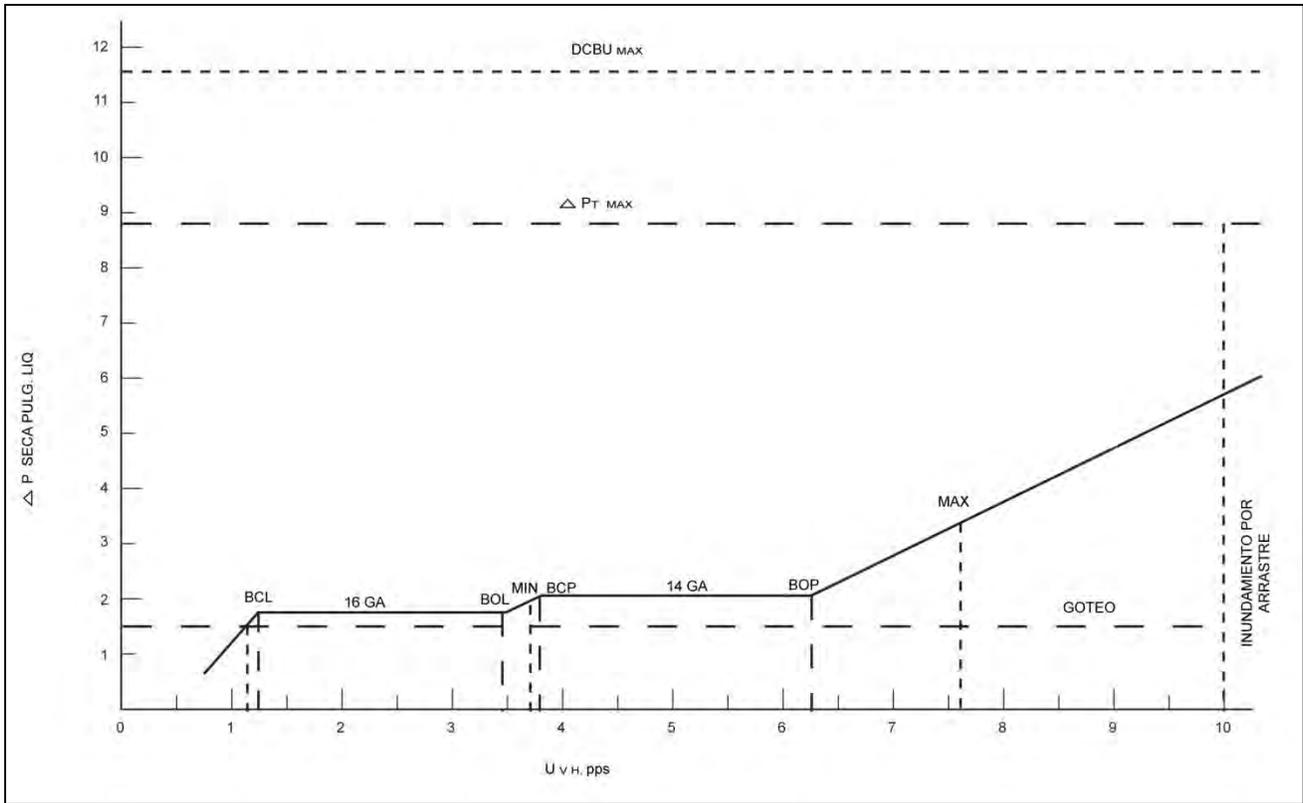
$$100 = \frac{100}{0.51 \times TSF \times DF} \times \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$100 = \frac{100}{0.51 \times 1.12 \times 0.9} \times \left( 0.308 + \frac{0.001327(678)}{10.7} \right)$$

$$X = 1.311$$

$$X \text{ (PCS)} = 1.311 (44.7) = 58.6 \text{ PCS}$$

$$U_{VH FLOOD \text{ a L/V Cte.}} = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{58.6}{457 \times 0.01279} = 10 \text{ pps}$$



## DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN INFERIOR

Plato 19

Plato que maneja la mayor carga de la sección.

$$\text{KA.1} \quad \text{PCS} = 44.6 \text{ (4547 m}^3\text{/hr)} \quad D_V = 2.23 \text{ lb/pie}^3 \text{ (35.72 Kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{GPM} = 2834 \text{ (643.7 m}^3\text{/hr)} \quad D_L = 29.28 \text{ lb/pie}^3 \text{ (469 Kg/m}^3\text{)}$$

Se propone un espaciamiento de 24 pulgadas (610 mm)

$$D_L - D_V = 29.28 - 2.23 = 27.05 \text{ lb/pie}^3$$

$$\text{KA.2} \quad \text{De la figura 5.6} \quad \left( \frac{D_V}{D_L - D_V} \right)^{1/2} = 0.288$$

$$\text{KA.3} \quad V_{LOAD} = \text{PCS} \left( \frac{D_V}{D_L - D_V} \right)^{1/2} = 44.6(0.288) = 12.845$$

Como el espaciamiento entre platos es de 24 pulg. TSF = 1.00 de la tabla K.1.

Para evaluar el diámetro de la columna directamente de la figura 5.7.

$$GPM \times \frac{1}{DF} \times \frac{1}{TSF} = 2834 \times \frac{1}{0.9} \times \frac{1}{1.0} = 3149 \text{ GPM}$$

$$V_{LOAD} \times \frac{1}{DF} \times \frac{1}{TSF} = 12.845 \times \frac{1}{0.9} \times \frac{1}{1.0} = 14.27$$

DT = 10.5 pies (3200 mm) con un plato de 4 pasos.

$$KB.1 \quad \frac{GPM}{No. \text{ de pasos} \times DT} = \frac{2834}{4 \times 10.5} = 67.47 < 80 \frac{GPM}{pie \times paso} \therefore 4 \text{ pasos OK.}$$

$$KB.2 \quad VDC = 175 \frac{GPM}{pie^2} \times DF = 175 \times 0.9 = 157.5 \frac{GPM}{pie^2}$$

$$D_L - D_V = 29.28 - 2.23 = 27.05 \text{ lb/pie}^3 \text{ de la figura 5.8}$$

$$(GPM/pie^2)_{DSG} = 164 \text{ GPM/pie}^2$$

Este valor es mayor que el calculado anteriormente, por lo tanto:

$$VDC = 157.5 \text{ GPM/pie}^2$$

$$ADC_{mín} = \frac{GPM}{VDC} \times \frac{24}{TS} = \frac{2834}{157.5} \times \frac{24}{24} = 18 \text{ pies}^2 \text{ y para cada bajante lateral,}$$

$$ADC_{side \text{ mín}} = \frac{18}{4} = 4.5 \text{ pies}^2$$

De la figura 5.9 anchura de la cuerda, H = 12.6 pulg.

y de la figura 5.10 Longitud de la cuerda, Lw = 6.28 pies.

Para la bajante central

Longitud de un derramadero recto  $\cong$  DT = 10.5 pies.

Longitud total del derramadero = 2 (6.28) + 2 (10.5) = 33.56 pies

$$\text{Carga sobre el derramadero recto} = \frac{2834}{33.56} = 84.4 \text{ GPM/pie}$$

Este valor es mayor que 60 GPM/pie de derramadero, convendrá emplear un derramadero de relevo.

El área efectiva del derramadero de relevo será máximo el 25% del área de la bajante en su parte superior, por lo tanto:

Área de cada bajante lateral =  $ADC_{side \text{ mín}} = 4.5 \text{ pies}^2$ , de esta un mínimo del 75% corresponderá a la bajante y el resto a la sección de relevo.

Área del segmento = 0.75 (4.5 pies<sup>2</sup>) = 3.375 pies<sup>2</sup>, de la fig. 5.9.

H = 10.3  $\rightarrow$  10.5 pulg. y área del segmento = 3.44 pies<sup>2</sup>.

Área de relevo requerida =  $4.5 - 3.44 = 1.06$  pies<sup>2</sup>

Para fijar la geometría del derramadero escalonado se hace, de acuerdo a la figura 5.11.

Si  $S = 12$  pulgadas.

$$\text{Área de relevo} = \frac{S(a+b)}{144} = \frac{12(a+b)}{144} = 1.06 \text{ pies}^2$$

$(a+b) = 12.72$  pulgadas  $\rightarrow 12.75$  " De entre las soluciones posibles se selecciona  $a = 7$  y  $b = 5.75$  pulgadas.

$$\text{Área de relevo} = \frac{12(7+5.75)}{144} = 1.0625 \text{ pies}^2$$

Área total de las bajantes laterales =  $2(3.44) + 2(1.0625) = 9$  pies<sup>2</sup> ( $0.836$  m<sup>2</sup>)

$$\% \text{ Área de relevo} = \frac{2(1.0625)}{9} 100 = 23.6\% < 25\% \text{ OK.}$$

Se propone que la bajante central tenga una anchura de 10.5 pulgadas.

$$\frac{10.5}{12} \times 10.5 = 9.188 \text{ pies}^2 (0.854 \text{ m}^2) \cong 9 \text{ pies}^2 \text{ OK}$$

Para las bajantes intermedias hacia el centro, se utiliza la fórmula usada por Glitsch para ello en su secuencia de cálculo.

$$ADC_i = H_i \times SF \times \frac{DT}{12}$$

Proponiendo una anchura de 11.5 pulg. para cada una de las bajantes intermedias y de la tabla G.4 de la secuencia de Glitsch.  $SF = 0.885$ .

$$ADC_{intermedia} = 11.5 \times 0.885 \times \frac{10.5}{12} = 8.9 \text{ pies}^2$$

Área total de las bajantes intermedias =  $2(8.9) = 17.80$  pies<sup>2</sup> ( $1.65$  m<sup>2</sup>)  $\cong 18$  pies<sup>2</sup>

Se usarán bajantes inclinadas.

Si se desplaza  $1 \frac{1}{2}$  pulgadas la parte inferior de las bajantes.

Anchura del segmento en la bajante lateral = 10.5 pulgadas.

Anchura en el fondo de la bajante lateral =  $10.5'' - 1.5'' = 9$  pulgadas

Empleando la figura 5.9

Área en el fondo de la bajante lateral = 2.75 pies<sup>2</sup>

Área total en el fondo de las bajantes laterales =  $2(2.75) = 5.5$  pie<sup>2</sup> ( $0.51$  m<sup>2</sup>)

$$\frac{5.5}{9} 100 = 61.11\% \quad \text{es mayor que el 50\% OK.}$$

Para la bajante central.

Anchura en el fondo de la bajante central = anchura en la parte superior de la bajante central – 2 (1.5") = 10.5 – 2 (1.5) = 7.5 pulg.

$$\text{Área en el fondo de la bajante central} = \frac{7.5}{12} (10.5) = 6.563 \text{ pies}^2 (0.61 \text{ m}^2)$$

$$\frac{6.563}{9.188} 100 = 71.4\% \quad \text{es mayor que el 50\% OK.}$$

Para las bajantes intermedias.

Anchura en el fondo de la bajante intermedia = Anchura en la parte superior de la bajante intermedia – 2(1.5)

$$= 11.5'' - 2(1.5) = 8.5''$$

$$\text{Área en el fondo de la bajante intermedia} = 8.5'' \times 0.885 \times \frac{10.5}{12} = 6.58 \text{ pies}^2$$

Área total en el fondo de las bajantes intermedias = 2 (6.58) = 13.16 pies<sup>2</sup> (1.22 m<sup>2</sup>).

$$\frac{13.16}{17.8} 100 = 73.9\%$$

Como con un desplazamiento en el fondo de las bajantes de 1 ½ pulgadas hacia el interior de la bajante el área de éstas es en su parte inferior al menos el 50% de la existente en la superior, el valor supuesto se considera correcto.

KB.3 Fijando la altura del derramadero en 3 pulgadas (76 mm) por tener un servicio a presión y un espaciamiento mayor que 24 pulgadas.

Claro bajo la bajante = altura del derramadero – ½ pulgadas ∴

$$\text{Claro bajo la bajante} = 3'' - \frac{1}{2}'' = 2 \frac{1}{2}''$$

Longitud de la cuerda en el fondo de la bajante lateral.  $L_{wf}$ .

De la figura 5.10 y con el dato de anchura en el fondo de la bajante = 9''.

$$L_{wf} = 5.45 \text{ pies} \times 2 = 10.90 \text{ pies}$$

Para la bajante central.

$$L_{wf} = 10.5 \text{ pies} \times 2 = 21 \text{ pies}$$

$$L_{wf} \text{ total} = 10.9 + 21 = 31.9 \text{ pies (9723 mm)}$$

$$\frac{GPM}{\text{pie de derramadero sumergido}} = \frac{2834 \text{ GPM}}{31.9 \text{ pies}} = 88.84 \text{ GPM/pie}$$

De la figura 5.12

Caída de presión a través del claro bajo la bajante = 0.51 pulg. es menor que 1.5 pulg. OK.

KB.4 Para calcular la longitud del derramadero proyectado

H = anchura del segmento + "S", para la bajante lateral

$$H = 10.5'' + 12'' = 22.5''$$

Y de la figura 5.10  $L_{wf} = 8.05$  pies/lado

Longitud total del derramadero proyectado = 2 (8.05) + 2 (10.5) = 37.1 pies.

$$\frac{GPM}{\text{pie de derramadero proyectado}} = \frac{2834 \text{ GPM}}{37.1 \text{ pie}} = 76.39 \text{ GPM/pie.}$$

KB.5 Área Neta de Válvulas =  $A_T - A_{DC} - A_I - A_E = A_{NC} = \text{pies}^2$

$$A_T = \frac{\pi}{4} (10.5)^2 = 86.59 \text{ pies}^2 (8.04 \text{ m}^2)$$

$$A_{DC} = 18.188 \text{ pies}^2$$

$$A_I = 13.16 \text{ pies}^2$$

$A_E = 0$  por tener un diámetro de columna superior a 3 ½ pies.

$$A_{NC} = 86.59 - 18.188 - 13.16 - 0 = 55.24 \text{ pies}^2 (5.13 \text{ m}^2)$$

$$\text{KB.6 } CFS_{neto} = \frac{(PCS_{vap})(D_V/(D_L-D_V))^{1/2}}{A_{NC}} = \frac{(44.6)(2.23/(29.28 - 2.23))^{1/2}}{55.24} = 0.232$$

$$\text{KB.7 } \% \text{ INUNDACION} = \frac{100}{(0.51)(TSF)DF} \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$\% F = \frac{100}{(0.51)(1.0)(0.9)} \left( 0.232 + \frac{0.001327(2834)}{37.1} \right) = 72.63\%$$

$$\% F_{DC} = \% \text{ INUNDAMIENTO LÍQ.} = \frac{85(ADC_{min})}{ADC_{TOP}} = \frac{85(18)}{18.188} = 84.12\%$$

Las inundaciones son muy diferentes, por lo tanto sería preciso modificar el área de bajantes a fin de que el diseño quede balanceado, por lo tanto:

Igual que en el inciso G.17 de la secuencia de Glitsch.

$$D_{NVO}^2 = \frac{\% F D^2}{\% FF} = \frac{72.63(10.5)^2}{85} = 94.2 \quad \therefore D = 9.71 \rightarrow 10'$$

$$ADC_{NVO} = \frac{\% F_{DC} ADC}{\% FF} = \frac{(84.12)(18.188)}{85} = 18 \text{ pies}^2$$

$$ADC_{SIDE \text{ m}\acute{a}n} = \frac{18}{4} = 4.5 \text{ pies}^2$$

De la figura 5.9 anchura de la cuerda, H = 12.7 pulg. y de la figura 5.10, longitud de la cuerda, Lw = 6.15 pies.

Para la bajante central.

Longitud de un derramadero central  $\cong$  10 pies

Longitud total de derramaderos = 2 (6.15) + 2 (10) = 32.3 pies

$$\text{Carga sobre el derramadero recto} = \frac{2834}{32.3} = 87.74 \text{ GPM/pie}$$

Este valor es mayor que 60 GPM/pie de derramadero, convendría emplear un derramadero de relevo.

El área efectiva del derramadero de relevo será máximo el 25% del área de la bajante en su parte superior, entonces:

Área de cada bajante lateral =  $ADC_{SIDE \text{ m}\acute{a}n} = 4.5 \text{ pies}^2$ , de ésta un mínimo del 75% corresponderá a la bajante y el resto a la sección de relevo.

Área del segmento =  $0.75 (4.5 \text{ pies}^2) = 3.375 \text{ pies}^2$ , de la figura 5.9, H = 10.5 pulg.

Área de relevo requerida =  $4.5 - 3.375 = 1.125 \text{ pies}^2$ .

Para fijar la geometría del derramadero escalonado se hace, de acuerdo a la figura 5.11.

Si S = 12 pulg.

$$\text{Área de relevo} = \frac{S(a+b)}{144} = \frac{12(a+b)}{144} = 1.125 \text{ pies}^2$$

Area total de las bajantes laterales =  $2 (3.375) + 2 (1.125) = 9 \text{ pies}^2 (0.836 \text{ m}^2)$

$$\% \text{ área de relevo} = \frac{2(1.125)100}{9} = 25\%$$

Proponiendo que la bajante central tenga una anchura de 11 pulgadas

$$ADC_{central} = \frac{11''}{12} \times 10' = 9.16 \text{ pies}^2 (0.85 \text{ m}^2) \cong 9 \text{ pies}^2$$

Para las bajantes intermedias hacia el centro, se utiliza la fórmula usada por Glitsch para ello en su secuencia de cálculo.

$$ADC = H_i \times SF \times \frac{DT}{12}$$

Proponiendo una anchura de 12 pulg. para cada una de las bajantes intermedias y de la tabla G.4 SF = 0.885.

$$ADC_{intermedia} = 12 \times 0.885 \times \frac{10}{12} = 8.85 \text{ pies}^2$$

Área total de las bajantes intermedias = 2 (8.85) = 17.70 pies<sup>2</sup> (1.64 m<sup>2</sup>)  $\cong$  18 pies<sup>2</sup>. OK.

Se utilizan bajantes inclinadas.

Si se desplaza 1 ½ pulgadas la parte inferior de la bajante.

Anchura del segmento en la bajante lateral = 10.5 pulg.

Anchura en el fondo de la bajante lateral = 10.5" – 1.5" = 9 pulg.

Empleando la figura 5.9

Área en el fondo de la bajante lateral = 2.7 pies<sup>2</sup>.

Área total en el fondo de las bajantes laterales = 2 (2.7) = 5.4 pies<sup>2</sup> (0.5 m<sup>2</sup>)

$$\frac{5.4}{9} 100 = 60\% \text{ OK es mayor al } 50\%.$$

Para la bajante central.

Anchura en el fondo de la bajante central = Anchura en la parte superior de la bajante central – 2 (1.5")

= 11 - 2 (1.5) = 8 pulgadas.

$$\text{Área en el fondo de la bajante central} = \frac{8}{12} (10) = 6.67 \text{ pies}^2 (0.62 \text{ m}^2)$$

$$\frac{6.67}{9.16} 100 = 72.78\% \text{ es mayor que el } 50\% \text{ OK.}$$

Para las bajantes intermedias.

Anchura en el fondo de la bajante intermedia = Anchura en la parte superior de la bajante intermedia – 2(1.5)

= 12" – 2(1.5") = 9"

$$\text{Área en el fondo de la bajante intermedia} = 9" \times 0.885 \times \frac{10}{12} = 6.64 \text{ pies}^2$$

Área total en el fondo de las bajantes intermedias = 2 (6.64) = 13.28 pies<sup>2</sup> (1.23 m<sup>2</sup>)

$$\frac{13.28}{17.70} 100 = 75\%$$

El desplazamiento de 1.5 pulgadas para el fondo de las bajantes es correcto.

KB.3 Fijando la altura del derramadero en 3 pulgadas (76 mm) y claro bajo la bajante =  $3'' - \frac{1}{2}'' = 2 \frac{1}{2}''$ .

Longitud de la cuerda en el fondo de la bajante lateral,  $L_{wf}$ .

De la figura 5.10 y con la anchura en el fondo de la bajante = 9 pulg.

$$L_{wf} = 5.3 \text{ pies} \times 2 = 10.6 \text{ pies}$$

Para la bajante central.

$$L_{wf} = 10 \text{ pies} \times 2 = 20 \text{ pies.}$$

$$L_{wf} \text{ TOTAL} = 10.6 \text{ pies} + 20 \text{ pies} = 30.6 \text{ pies.}$$

$$\text{GPM/pie de derramadero sumergido} = \frac{2834}{30.6} = 92.6 \text{ GPM/pie.}$$

De la figura 5.12.

Caída de presión a través del claro bajo la bajante = 0.52 pulg. menor que 1.5 pulg. OK.

KB.4 Para calcular la longitud del derramadero proyectado.

$$H = \text{anchura del segmento} + "S" = 10.5 + 12 = 22.5''$$

y de la figura 5.10  $L_{wf} = 7.72$  pies/lado.

$$\text{Longitud del derramadero proyectado} = 2 (7.72) = 15.44 \text{ pies}$$

Para la bajante central, longitud del derramadero proyectado = 10 pies/lado  $\therefore$  20 pies.

$$\text{Longitud total del derramadero proyectado} = 15.44 + 20 = 35.44 \text{ pies.}$$

$$\frac{\text{GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} = \frac{2834}{35.44} = 79.97 \text{ GPM/pie.}$$

KB.5 Área neta de válvulas =  $A_T - A_{DC} - A_I - A_E = A_{NC} = \text{pies}^2$ .

$$A_T = \frac{\pi}{4} (10)^2 = 78.54 \text{ pies}^2 (7.30 \text{ m}^2)$$

$$A_{DC} = 18.16 \text{ pies}^2$$

$$A_I = 13.28 \text{ pies}^2$$

$A_E = 0$ . Por tener un diámetro superior a  $3 \frac{1}{2}$  pies.

$$A_{NC} = 78.54 - 18.16 - 13.28 = 47.1 \text{ pies}^2 (4.38 \text{ m}^2)$$

$$KB.6 \quad CFS_{NETO} = \frac{(PCS_{VAP})(D_V/(D_L-D_V))^{1/2}}{A_{NC}} = \frac{(44.6)(2.23/(29.28-2.23))^{1/2}}{47.1}$$

$$CFS_{NETO} = 0.2719$$

$$KB.7 \quad \% \text{ INUNDACION} = \frac{100}{(0.51)(TSF)(DF)} \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$\% F = \frac{100}{(0.51)(1.0)(0.9)} \left( 0.2719 + \frac{0.001327(2834)}{35.44} \right) = 82.35$$

$$\% F_{LIQ} = \frac{85(18)}{18.16} = 84.25$$

OK, las inundaciones están balanceadas.

#### KC. CAIDA DE PRESIÓN.

KC.1 Considerando un pitch para las válvulas de 3" x 2 1/2" se tendrán 14 válvulas/pie<sup>2</sup> de área neta de válvulas.

$$\text{No. de válvulas del plato} = \frac{14 \text{ válvulas}}{\text{pie}^2} \times A_{NC} = 14(47.1) = 659.4$$

Considerando áreas muertas, 0.85 (659.4) = 560.49 → 560 válvulas.

La densidad del vapor es 2.23 lb/pie<sup>3</sup>. Con este valor se lee en la figura 5.13 el factor "F" para convertir el flujo de vapor a pies cúbicos por minuto de aire equivalente.

$$F = 330$$

$$PCM_{aire} = PCS_{vap}(F) = 44.6 (330) = 14\,718 \text{ PCM}_{aire}$$

$$\frac{PCM \text{ aire equiv.}}{\text{No. de válvulas}} = \frac{14718}{560} = 26.28 \text{ PCM aire equiv/válvula}$$

$$KC.2 \quad \frac{GPM}{\text{pie de derramadero}}$$

Longitud del derramadero escalonado  $\cong$  1.14 longitud del derramadero proyectado.

$$\therefore \text{ longitud del derramadero escalonado} \cong 1.14 (35.44) = 40.4 \text{ pies}$$

$$\frac{GPM}{\text{pie de derramadero}} = \frac{2834}{40.4} = 70.15 \text{ GPM/pie}$$

KC.3 Se utilizan válvulas tipo A, la mitad será calibre 14 y el resto calibre 16 fabricadas todas en acero inoxidable de acuerdo a lo recomendado en un capítulo anterior.

De la figura 5.14

$$\Delta P_{DRY} = 1.2 \text{ pulgadas de } H_2O = 2.56 \text{ pulg. líq.}$$

KC.4 La altura del derramadero son 3 pulgadas  $\therefore$  no se necesitará corrección.

$$\frac{GPM}{pie \text{ de derramadero}} = 70.15 \text{ GPM/pie}$$

$$\frac{PCM \text{ aire equiv.}}{válvula} = 26.28$$

De la figura 5.19 profundidad del líquido efectivo = 2.35 pulgadas de líquido claro.

$\Delta P_{WET}$  = profundidad del líquido efectiva = 2.35 pulg. de líquido claro.

$$KC.5 \quad \Delta P_{WET} = 2.35 \text{ pulg. de líq.} \quad \left( \frac{29.28}{62.4} \right) = 1.10 \text{ pulg. } H_2O.$$

KC.6 CAIDA DE PRESION TOTAL

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= \Delta P_{DRY} + \Delta P_{WET} = 1.2 + 1.10 = 2.3 \text{ pulg. } H_2O = 4.9 \text{ pulg. líq.} = 0.083 \text{ psi} \\ &= 4.3 \text{ mm Hg} = 0.57 \text{ KPa.} \end{aligned}$$

KD CÁLCULO DE LA ALTURA DEL LÍQUIDO RETENIDO EN LA BAJANTE.

$$KD.1 \quad DCBU = 2\Delta P_{WET} + \Delta P_{DRY} + \Delta P_{CLARO \text{ BAJO LA BAJANTE}}$$
$$= 2(2.35) + 2.56 + 0.52 = 7.78 \text{ pulg. (198 mm)}$$

$$KD.2 \quad \frac{\% DCBU}{100} = \frac{DCBU}{TS + h_w} = \frac{7.78}{24 + 3} = 0.288 = 28.8\%$$

La  $D_V = 2.23 \text{ lb/pie}^3$  está entre 1 y 3  $\therefore$  el DCBU máx es del 50% OK.

PLATO 6.

PLATO QUE MANEJA LA MENOR CARGA DE LA SECCIÓN

$$GPM = 2164 (491.5 \text{ m}^3/\text{hr}) \quad D_L = 30.31 \text{ lb/pie}^3 (485.5 \text{ Kg/m}^3)$$

$$PCS = 34.4 (3506 \text{ m}^3/\text{hr}) \quad D_V = 1.77 \text{ lb/pie}^3 (28.35 \text{ Kg/m}^3)$$

La capacidad mínima de operación será el 50% de los flujos de diseño.

$$GPM = 1082 (245.7 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$PCS = 17.2 (1753.2 \text{ m}^3/\text{hr})$$

Ya se tienen fijas las dimensiones del plato de acuerdo al dimensionamiento efectuado para el plato que maneja el mayor flujo de la sección.

$$DT = 10.0 \text{ pies (3048 mm)} \quad 4 \text{ pasos}$$

TS = 24 pulgadas (610 mm)

$$ADC_{TOT} = 18.16 \text{ pies}^2 (1.687 \text{ m}^2) \quad ADC_{BOTT_{TOT}} = 12.07 \text{ pies}^2 (1.12 \text{ m}^2)$$

$$ADC \text{ intermedias} = 17.7 \text{ pies}^2 (1.64 \text{ m}^2) \quad ADC_{INTERM_{BOTT}} = 13.28 \text{ pies}^2 (1.23 \text{ m}^2)$$

$$A_b \text{ DISP} = A_{NC} = 47.1 \text{ pies}^2 (4.38 \text{ m}^2)$$

Longitud total del derramadero proyectado = 35.44 pies (10802 mm)

$$h_w = 3 \text{ pulgadas (76 mm)}$$

Plato de Acero al Carbón calibre 10 con 560 válvulas de acero inoxidable.

$$\text{KB.6} \quad CFS_{NETO} = \frac{PCS_{VAP}(D_V/(D_L-D_V))^{1/2}}{A_{NC}} = \frac{17.2(1.77/(30.31-1.77))^{1/2}}{47.1}$$

$$CFS_{NETO} = 0.091$$

$$\text{KB.7} \quad \% \text{ INUNDACION} = \frac{100}{0.51 \times TSF \times DF} \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$= \frac{100}{0.51 \times 1.0 \times 0.9} \left( 0.091 + \frac{0.001327(1082)}{35.44} \right) = 28.7\%$$

$$\% \text{ INUNDAMIENTO LIQ} = \frac{85 \text{ ADC}_{\min}}{ADC_{TOP}} = \frac{85 \times 6.87}{18.16} = 32.2\%$$

$$ADC_{\min} = \frac{GPM}{VDC} \times \frac{24}{TS}$$

$$VDC = \left( 175 \frac{GPM}{\text{pie}^2} \right) DF = 175 \times 0.9 = 157.5 \text{ GPM}/\text{pie}^2$$

$$D_L - D_V = 30.31 - 1.77 = 28.54 \text{ lb}/\text{pie}^3$$

De la figura 5.8

$$(GPM/\text{pie}^2)_{DSG} = 168$$

Este valor es mayor que el calculado anteriormente, por lo tanto:

$$VDC = 157.5 \text{ GPM}/\text{pie}^2$$

Sustituyendo:

$$ADC_{\min} = \frac{1082}{157.5} \times \frac{24}{24} = 6.87 \text{ pies}^2$$

Checando el comportamiento del plato de acuerdo a lo indicado en el capítulo anterior.

Se tienen 560 válvulas de acero inoxidable, el 50% de calibre 14 y el resto de calibre 16, en un plato de acero al carbón de calibre 10.

$$A_b = A_{NC} = 47.1 \text{ pies}^2 (4.38 \text{ m}^2)$$

CARGA DE LÍQUIDO SOBRE EL PLATO =  $h_w + h_{ow}$

$h_{ow} = 1.6 \text{ pulg (41 mm)}$  de la figura 5.12 con GPM/pie de derramadero =  $\frac{2834}{40.4} = 70.15$  GPM/pie.

$$h_w + h_{ow} = 3 + 1.6 = 4.6 \text{ pulgadas}$$

ELEVACION	$A_S, \text{pies}^2$	$A_{ST}, \text{pies}^2$	$A_{ST}/A_b$	PULG. LIQ.GOTEO
½"	0.01193	6.68	0.1418	1.25
9/16"	0.0140	7.84	0.1665	1.40

CAIDA DE PRESION SECA PARA LOS DIFERENTES CALIBRES.

CALIBRE	$\Delta P_{SECA, \text{PULG.LIQ.}}$
12	2.75
14	1.96
16	1.59
18	1.32
20	0.978

$$h_H = C_{vw} R_{wv} H_v D_{MV}/D_L = 1.3(1.23)H_v 484/29.28$$

Para las diferentes elevaciones, los calibres que cumplen son del 12 al 16.

Para que todas las válvulas estén abiertas al flujo de diseño, se requieren:

CALIBRE	$U_{VHBO, \text{pps}}$	$A_{H \text{ REQ}, \text{pies}^2}$	No. Válv. Req.
12	6.63	6.727	526
14	5.6	7.96	622
16	5.0	8.92	697

$$\frac{PCSVAP}{A_{H \text{ REQ}}} = U_{VHBO} = \left( 2g R_{wv} C_{vw} \frac{H_v D_{MV}}{K_{vo} D_V} \right)^{1/2}$$

$$U_{VHBO} = \left( 2(32.2)(1.23)(1.3) \frac{H_v 484}{4.4 2.23} \right)^{1/2}$$

$$\text{No. VALV. REQ.} = \frac{A_{H \text{ REQ}}}{A_H}$$

Como se tienen válvulas de dos pesos diferentes, habrá cuatro puntos de balance:

- 1) Punto de balance cerrado para las válvulas ligeras.

$$U_{VHBCL} = \left( 2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vc}} \frac{DMV}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$K_{vc} = K'_{vc} \left( \frac{A_H}{A_{SC}} \right)^2 = 1.9 \left( \frac{0.01279}{0.00191} \right)^2 = 85.198$$

$$U_{VHBCL} = \left( 2(32.2) \left( \frac{0.06}{12} \right) 1.23 \frac{1.3}{85.198} \frac{484}{2.23} \right)^{1/2} = 1.145 \text{ pps}$$

$$h_H = K_{vc} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 85.198 \frac{2.23}{29.28} \frac{(1.145)^2}{2(32.2)} = 0.132 \text{ pies líq} = 1.59 \text{ pulg. líq.}$$

2) Punto de Balance Abierto para las válvulas Ligeras.

$$U_{VHBOL} = \left( 2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vi}} \frac{DMV}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$\frac{1}{K_{vi}} = \frac{X^2}{K_{vo}} + \frac{2X(1-X)}{\sqrt{K_{vo} K_{vc}}} + \frac{(1-X)^2}{K_{vc}}$$

X = fracción de válvulas ligeras = 0.5

$$K_{vo} = 4.4 \text{ y } K_{vc} = 85.198$$

$$\frac{1}{K_{vi}} = \frac{0.5^2}{4.4} + \frac{2(0.5)(1-0.5)}{\sqrt{4.4(85.198)}} + \frac{(1-0.5)^2}{85.198} = 0.08558$$

$$K_{vi} = 11.68$$

$$U_{VHBOL} = \left( 2(32.2) \left( \frac{0.06}{12} \right) (1.23) \left( \frac{1.3}{11.68} \right) \left( \frac{484}{2.23} \right) \right)^{1/2} = 3.09 \text{ pps}$$

$$h_H = K_{vi} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 11.68 \left( \frac{2.23}{29.28} \right) \frac{3.09^2}{2(32.2)} = 0.1319 \text{ pies líq.} = 1.58 \text{ pulg. líq.}$$

3) Punto de Balance Cerrado para las válvulas de calibre 14.

$$U_{VHBOP} = \left( 2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vi}} \frac{DMV}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$= \left( 2(32.2) \left( \frac{0.074}{12} \right) (1.23) \left( \frac{1.3}{11.68} \right) \frac{484}{2.23} \right)^{1/2} = 3.435 \text{ pps.}$$

$$h_H = K_{vi} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 11.68 \left( \frac{2.23}{29.28} \right) \frac{3.435^2}{2(32.2)} = 0.163 \text{ pies líq.} = 1.96 \text{ pulg. líq.}$$

4) Para el punto de Balance Abierto para las Válvulas de calibre 14.

$$U_{VHBOP} = \left( 2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vo}} \frac{DMV}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$= \left( 2(32.2) \left( \frac{0.074}{12} \right) (1.23) \left( \frac{1.3}{4.4} \right) \frac{484}{2.23} \right)^{1/2} = 5.597 \text{ pps}$$

$$h_H = K_{vo} \frac{D_V U_{VH}^2}{D_L 2g} = 4.4 \left( \frac{2.23}{29.28} \right) \frac{5.597^2}{2(32.2)} = 0.163 \text{ pies líq.} = 1.96 \text{ pulg. líq.}$$

Velocidad en el punto de operación.

$$U_{VH} = \frac{PCS}{A_H} = \frac{44.6}{560 \times 0.01279} = 6.227 \text{ pps}$$

Velocidad al flujo mínimo esperado.

$$U_{VH \text{ mín}} = \frac{PCS_{\text{mín}}}{A_H} = \frac{17.2}{560 \times 0.01279} = 2.4 \text{ pps}$$

$$\text{Fracción mínima de válvulas abiertas} = \frac{U_{VH \text{ mín}} - U_{VHBC}}{U_{VHBO} - U_{VHBC}} = vO$$

$$vO = \frac{2.4 - 1.145}{3.09 - 1.145} = 0.645 \text{ con respecto a las válvulas ligeras.}$$

$$\text{Caída de presión del plato seco} = K_{vo} \frac{D_V U_{VH}^2}{D_L 2g} = 4.4 \left( \frac{2.23}{29.28} \right) \frac{6.227^2}{2(32.2)} = 0.2018 \text{ pies líq.} = 2.4216 \text{ pulg. líq.}$$

Caída de presión seca en el punto de goteo = 1.4 pulg. líq. = 0.1167 pies líq.

Caída de presión máxima permisible DCBU máx.

$$\text{DCBU máx} = 0.5 (24 + 3) = 13.5 \text{ pulg. (343 mm)}$$

$$\text{DCBU máx} = 2\Delta P_{WET} + \Delta P_{SECA \text{ MAX DCBU}} + \Delta P_{CLARO \text{ BAJO LA BAJANTE}}$$

$$\Delta P_{SECA \text{ MAX DCBU}} = \text{DCBU}_{\text{máx}} - 2\Delta P_{WET} - \Delta P_{CLARO \text{ BAJO LA BAJANTE}}$$

$$= 13.5 - 2(2.35) - 0.52 = 8.28 \text{ pulg.} = 0.69 \text{ pies líq.}$$

La caída de presión seca máxima permisible por plato son 0.175 psi (9 mm Hg) (1.2 KPa).

$$\text{Si } D_L = 29.28 \text{ lb/pie}^3 \quad \Delta P / \text{plato máx} = 10.33 \text{ pulg. líq.} = 0.86 \text{ pies líq.}$$

$$\Delta P_{SECA \text{ MAX POR } \Delta P_T} = \Delta P_T - \Delta P_{WET} = 10.33 - 2.35 = 7.98 \text{ pulg. líq.}$$

La velocidad correspondiente a la  $\Delta P_{SECA \text{ DCBU máx}}$ . es :

Como las válvulas estarán totalmente abiertas.

$$U_{VH \text{ DCBU máx}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{vo} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.69)29.28}{4.4(2.23)} \right)^{1/2} = 11.5 \text{ pps.}$$

Para el punto de goteo, las válvulas estarán cerradas.

$$U_{VH \text{ goteo}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{vc} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.1167)29.28}{85.198(2.23)} \right)^{1/2} = 1.08 \text{ pps.}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a carga de líquido cte.

$$\% FLOOD = \frac{100}{0.51 \times T_{SF} \times D_F} \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$CFS_{NETO} = \frac{PCS_{VAP} (D_V / (D_L - D_V))^{1/2}}{A_{\text{neta de válvulas}}}$$

$$\text{Para } \% FLOOD = 100\% = \frac{100}{(0.51)(1.0)(0.9)} \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 (2834)}{35.44} \right)$$

$$\therefore CFS_{NETO} = 0.35288$$

$$PCS_{VAP} = \frac{(0.35288)47.1}{(2.23/(29.28-2.23))^{1/2}} = 57.89 \text{ pcs.}$$

$$U_{VH \text{ FLOOD a L cte}} = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{57.89}{560 \times 0.01279} = 8.08 \text{ pps.}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a relación L/V cte.

$$100 = \frac{100}{0.51 \times T_{SF} \times D_F} (X) \left( CFS_{NETO} + \frac{0.001327 \text{ GPM}}{\text{pie de derramadero proyectado}} \right)$$

$$100 = \frac{100}{0.51 \times 1.0 \times 0.9} (X) \left( 0.2719 + \frac{0.001327 (28.34)}{35.44} \right)$$

$$X = 1.2142$$

$$X(PCS) = 1.2142(44.6) = 54.15 \text{ pcs.}$$

$$U_{VH \text{ FLOOD a } \frac{L}{V} \text{ cte}} = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{54.15}{560 \times 0.01279} = 7.56 \text{ pps.}$$

### 6.3 DIMENSIONAMIENTO DE SULZER CHEMTECH USANDO PLATOS "FLOAT VALVE".

PLATO 1.

Plato que maneja el mayor flujo de la sección.

$$GPM = 678 \text{ (154 m}^3\text{/hr)} \quad PCS = 44.7 \text{ (4554 m}^3\text{/hr)}$$

$$D_L = 27.65 \text{ lb/pie}^3 \text{ (442.91 Kg/m}^3\text{)} \quad D_V = 1.8 \text{ lb/pie}^3 \text{ (28.83 Kg/m}^3\text{)}$$

$$\sigma = 4.73 \text{ dinas/cm.}$$

$$N.1 \quad DCA_{REQ} = \frac{(CFS_{LIQ})(TIEMPO DE RESIDENCIA)}{(FACTOR DE ESPUMA)(ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS)}$$

$$D_L - D_V = 27.65 - 1.8 = 25.85 \text{ lb/pie}^3$$

De la tabla N.1 ó de la gráfica 5.23.

Tiempo de residencia = 4 seg.

De la tabla N.1

Factor de espuma = 1.0

$$CFS_{LIQ} \rightarrow 678 \text{ GPM} = 1.51 CFS_{LIQ}$$

Espaciamiento entre platos = 30 pulg = 2.5 pies = 762 mm.

Sustituyendo:

$$DCA_{REQ} = \frac{(1.51)(4.0)}{(1.0)(2.5)} = 2.416 \text{ pies}^2.$$

$$N.2 \quad Ab_{REQ} = \frac{PCS_{VAP} + CFS_{LIQ}}{V(F_t)(FACTOR DE ESPUMA)}$$

$$\frac{\sigma}{D_V} = \frac{4.73}{1.8} = 2.63$$

De la figura 5.26,  $F_t = 1.01$

De la figura 5.24,  $V = 1.78$

$$R_D = (D_V / (D_L - D_V))^{1/2} = (1.8 / (27.65 - 1.8))^{1/2} = 0.26388$$

$$\frac{0.5}{R_D} = \frac{0.5}{0.26388} = 1.89 \quad V < \frac{0.5}{R_D} \therefore V = 1.78$$

$$Ab_{REQ} = \frac{44.7+1.51}{(1.78)(1.01)(1.0)} = 25.7 \text{ pies}^2$$

$$N.3 \quad \% DCA = \frac{DCA_{REQ}}{2 DCA_{REQ} + Ab_{REQ}} = \frac{2.416}{2(2.416) + 25.7} = 0.079 = 7.9 \%$$

Se propone un plato de un paso

$$\frac{\% DCA}{No.de pasos} = \frac{0.079}{1} = 0.079 \quad \frac{Ad}{At} = 0.079$$

De la tabla N.4  $\frac{H}{DIA} = 0.1330$   $H = 0.133 (84 \text{ pulg}) = 11.172 \text{ pulg.} \rightarrow 11.5 \text{ pulgadas.}$

$$\frac{H}{DIA} = \frac{11.5}{84} = 0.1369 \text{ y } \frac{Ad}{At} = 0.0824 \therefore Ad = 0.0824 \left( \frac{\pi}{4} 7^2 \right)$$

$$DCA_{DISP} = 3.17 \text{ pies}^2 (0.295 \text{ m}^2)$$

De acuerdo a la figura 5.30 para un servicio a presión se emplearán bajantes inclinadas.

El valor de DCA disp. será el valor promedio de la bajante inclinada, para mantener la capacidad de la bajante se debe ampliar el área en la parte superior de la bajante en forma proporcional a la disminución que se tenga en el fondo de ésta tal y como lo indica la misma figura.

$$DCA_{TOP} = \frac{DCA_{DISP}}{0.8} = \frac{3.17}{0.8} = 3.96 \text{ pies}^2 (0.368 \text{ m}^2)$$

$$DCA_{BOT} = 0.75 DCA_{DISP} = 0.75(3.17) = 2.38 \text{ pies}^2 (0.22 \text{ m}^2)$$

$$N.5 \quad \frac{DCA_{TOP}}{A_T} = \frac{3.96}{38.4846} = 0.1029 \text{ y de la tabla N.4}$$

$$\frac{L}{D} = 0.7325 \therefore L_{wi} = 0.7325(84 \text{ pulg}) = 61.53 \text{ pulg}(1563 \text{ mm})$$

$$\frac{GPM/No.de pasos}{L_{wi}} = \frac{(678/1)}{61.53} = 11$$

De acuerdo a la tabla N.5 no se requiere un incremento en el número de pasos.

$$N.6 \quad \text{CAPACIDAD DEL LIQUIDO} = \frac{DCA_{REQ}}{DCA_{DISP}} = \frac{2.416}{3.17} = 0.762$$

% INUNDAMIENTO DE LIQUIDO = 76.2%

$$A_b \text{ DISPONIBLE} = A_T - 2ADC_{DISP} = 38.4846 - 2(3.17) = 32.1446 \text{ pies}^2 (2.986 \text{ m}^2)$$

$$\text{CAPACIDAD DEL VAPOR} = \frac{A_b \text{ REQUERIDA}}{A_b \text{ DISPONIBLE}} = \frac{25.7}{32.1446} = 0.7995$$

% INUNDAMIENTO POR ARRASTRE = 79.95 %

$$\frac{DCA_{REQ}}{Ab_{REQ}} = \frac{2.416}{25.70} = 0.094 \quad \frac{DCA_{DISP}}{Ab_{DISP}} = \frac{3.17}{32.1446} = 0.098$$

La relación de áreas disponibles y las reales son muy similares por lo tanto OK.

$$N.7 \quad \frac{Ab_{DISPONIBLE}}{No. DE PASOS} = \frac{32.1446 \text{ pie}^2}{1 PASO} = 32.1446 \text{ pies}^2$$

De la figura 5.31

$$\frac{8.08 \text{ válvulas}}{\text{pie}^2 \text{ de Ab DISPONIBLE}} \therefore \text{No. de válvulas} = 8.08 (32.1446) = 259.73$$

No. Válvulas CORR. = (259.73)(0.85) = 220.7 → 221 válvulas.

$$N.8 \quad H_1 = \left( \frac{GPM/No. de pasos}{2.89 L_{wi}} \right)^{2/3}$$

$$H_1 = \left( \frac{678/1}{2.89 \times 61.53} \right)^{2/3} = 2.44 \text{ pulg.} = 62 \text{ mm}$$

$h_w = 3 \text{ pulgadas (76 mm)}$  por tener un espaciamiento de 30 pulgadas.

$$H_1 + h_w = 2.44 + 3 = 5.44 \text{ pulg.}$$

Elevación	$A_s, \text{pies}^2$	$A_{st}, \text{pies}^2$	$A_{ranura}/Ab$	Pulg. Líq. goteo	Pulg. H <sub>2</sub> O goteo
0.3125 "	0.01196	2.65	0.0825	0.75	0.332
0.375 "	0.01616	3.57	0.111	0.95	0.421
0.4375 "	0.02036	4.50	0.14	1.30	0.576
0.500 "	0.02456	5.43	0.169	1.60	0.71

Para todas las elevaciones el peso de las válvulas que cumpliría será el correspondiente a los calibres 12, 14 y 16.

Para que todas las válvulas estén abiertas al flujo de diseño se necesita:

Calibre	$PCS_{VAP} (13.1 D_V)^{1/2} / A_s$	$A_{ranuras req. \text{pies}^2}$
12	48.7	4.457
14	41.2	5.268
16	37.2	5.835

$$\text{No. válvulas B.A.} = A_{ranuras} / [0.0672 (\text{Elevación de las válvulas} - \text{Espesor del plato})]$$

Se usará un plato de acero al carbón de calibre 10.

Elevación	Calibre 12	Calibre 14	Calibre 16
0.3125	372	440	488
0.375	276	326	361

0.4375	219	259	287
0.500	181	215	238

Seleccionando como correcta la opción de emplear válvulas de calibre 14 con elevación de 0.5".

$$\Delta P_{SECA} = 0.89 \text{ pulg. } H_2O > 0.71 \text{ pulg. } H_2O \text{ OK.}$$

$$N.9 \quad \Delta P_{WET} = \beta(H_1 + H_2)$$

$$H_1 = 2.44 \text{ pulg.}$$

$$H_2 = h_w - \text{elevación de la válvula} = 3 - 0.5 = 2.5 \text{ pulg.}$$

De la figura 5.33 y con % inundamiento por arrastre = 79.95%

$$\beta = 0.635$$

$$\Delta P_{WET} = 0.635 (2.44 + 2.5) = 3.137 \text{ pulg. líq.}$$

$$N.10 \quad \Delta P_{TRAY} = \frac{\Delta P_{DRY}}{SG_{LIQ}} + \Delta P_{WET}$$

$$SG_{LIQ} = \frac{27.65}{62.4} = 0.443$$

$$\Delta P_{TRAY} = \frac{0.89}{0.443} + 3.137 = 5.146 \text{ pulg. líq.}$$

$$\Delta P_{TRAY, psi} = \frac{5.146 \times 27.65}{1728} = 0.082 \text{ psi.}$$

$$\Delta P_{TRAY, mmHg} = \frac{5.146 \times 27.65}{33.3} = 4.27 \text{ mmHg}$$

$$\Delta P_{TRAY} = 0.565 \text{ KPa}$$

$$N.11 \quad \left( \frac{GPM/No.de\ pasos}{Lwi} \right) = \left( \frac{678/1}{61.53} \right) = 11 \frac{GPM}{pulg.}$$

Para este valor se recomienda emplear charolas de sello, la bajante tendrá terminación recta.

$$H_4 = \left( \frac{(GPM/No.de\ pasos)144}{[Claro\ bajo\ una\ bajante\ lateral] Y (L_{wf})} \right)^2$$

De acuerdo a la figura 5.30 el claro bajo la bajante será igual a la profundidad de la charola, este valor se propone como 4 pulgadas.

Y = 623 por tener bajantes con terminación recta (común)

$$\frac{DCA_{BOTT}}{A_T} = \frac{2.38}{38.4846} = 0.0618$$

$$\frac{L_{wf}}{D_T} = 0.63175 \therefore L_{wf} = 53 \text{ pulg.}$$

Sustituyendo :

$$H_4 = \left( \frac{(678/1)144}{(4)(623)53} \right)^2 = 0.546 \text{ pulg. líq. está entre 0.4 y 0.7 OK.}$$

$$DCBU = H_1 + H_2 + (\Delta P_{TRAY} + H_4) \left( \frac{D_L}{D_L - D_V} \right)$$

$$DCBU = 2.44 + 2.5 + (5.146 + 0.546) \left( \frac{27.65}{27.65 - 1.8} \right) = 11 \text{ pulg. líq. (279 mm)}$$

$$DCBU_{MAX} = \frac{TS + h_w}{2} = \frac{30 + 3}{2} = 16.5 \text{ pulg (419 mm)} > 11 \text{ pulg. OK.}$$

#### PLATO 4.

Plato que maneja la menor carga de la sección.

$$PCS_{vap} = 44.1(4500 \text{ m}^3/\text{hr}) \quad D_V = 1.75 \text{ lb/pie}^3(28.03 \text{ Kg/m}^3)$$

$$GPM = 595(135.1 \text{ m}^3/\text{hr}) \quad D_L = 28.77 \text{ lb/pie}^3(460.85 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\sigma = 5.08 \text{ din/cm}$$

La capacidad mínima de operación será el 50% de los flujos de diseño.

$$\therefore PCS_{vap} = 22.05 (2250 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$GPM = 297.5 (67.6 \text{ m}^3/\text{hr})$$

Ya se tienen fijadas las dimensiones del plato de acuerdo al dimensionamiento efectuado para el plato que maneja el mayor flujo de la sección.

$$DT = 7 \text{ pies} = 84 \text{ pulgadas (2134 mm)}$$

$$\text{ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS} = 30 \text{ pulgadas (762 mm)}$$

$$DCA_{DISP} = 3.17 \text{ pies}^2 (0.29 \text{ m}^2)$$

$$Ab_{DISP} = 32.1446 \text{ pies}^2 (2.99 \text{ m}^2)$$

$$DCA_{TOP} = 3.96 \text{ pies}^2 (0.368 \text{ m}^2)$$

$$DCA_{BOTTOM} = 2.38 \text{ pies}^2 (0.22 \text{ m}^2)$$

$$L_{wi} = 61.53 \text{ pulg. (1563 mm)}$$

$$L_{wf} = 53.0 \text{ pulg.}$$

$$\text{Area de Ranuras} = 5.43 \text{ pies}^2$$

$$h_w = 3 \text{ pulgadas (76 mm)}$$

$$\text{Elevación de las válvulas} = 0.500 \text{ pulg. (13 mm)}$$

Válvulas de Acero Inoxidable Calibre 14.

$$1. \quad DCA_{REQ} = \frac{(CFS_{LIQ})(TIEMPO DE RESIDENCIA)}{(FACTOR DE ESPUMA)(ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS)}$$

$$D_L - D_V = 28.77 - 1.75 = 27.02 \text{ lb/pie}^3$$

De la tabla N.1 ó de la gráfica 5.23

Tiempo de Residencia = 4 seg.

De la tabla N.1

FACTOR DE ESPUMA = 1.0

$$CFS_{LIQ} \rightarrow 297.5 \text{ GPM} = 0.662 \text{ CFS}_{LIQ}$$

Espaciamento = 30 pulg. = 2.5 pies entre platos

$$DCA_{REQ} = \frac{(0.662)(4.0)}{(1.0)(2.5)} = 1.059 \text{ pies}^2$$

$$2. \quad Ab_{REQ} = \frac{PCS_{VAP} + CFS_{LIQ}}{V F_t (FACTOR DE ESPUMA)}$$

$$\frac{\sigma}{D_V} = \frac{5.08}{1.75} = 2.9$$

De la figura 5.26

$$F_t = 1.015$$

De la figura 5.24

$$V = 1.85$$

$$R_D = \left( \frac{D_V}{D_L - D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{1.75}{28.77 - 1.75} \right)^{1/2} = 0.254$$

$$\frac{0.5}{R_D} = \frac{0.5}{0.254} = 1.97$$

$$V < \frac{0.5}{R_D} \quad \therefore V = 1.85$$

$$A_{bREQ} = \frac{22.05 + 0.662}{(1.85)(1.015)(1.0)} = 12.1 \text{ pies}^2$$

$$5. \quad \text{CAPACIDAD DE LIQUIDO} = \frac{DCA_{REQ}}{DCA_{DISP}} = \frac{1.059}{3.17} = 0.334$$

$$\% \text{ INUNDAMIENTO LIQ} = 33.4$$

$$\text{CAPACIDAD DEL VAPOR} = \frac{Ab_{REQ}}{Ab_{DISP}} = \frac{12.1}{32.1446} = 0.376$$

$$\% \text{ INUNDAMIENTO POR ARRASTRE} = 37.6\%$$

Para apreciar el comportamiento de la sección, se hará un esquema de operación de acuerdo a lo indicado en el capítulo 5.

Velocidad en el punto de balance abierto.

$$\text{Para calibre 14} \quad \frac{PCS_{VAP}(13.1 D_V)^{1/2}}{A_{St}} = 41.2$$

$$U_{VSBO} = \frac{41.2}{(13.1 D_V)^{1/2}} = \frac{41.2}{(13.1 \times 1.8)^{1/2}} = 8.48 \text{ pps.}$$

$$U_{VHBO} = U_{VSBO} \times \frac{A_S}{A_H} = 8.48 \times \frac{0.02456}{0.029304} = 7.1 \text{ pps}$$

Velocidad en el punto de operación.

$$U_{VS} = \frac{PCS_{VAP}}{A_{St}} = \frac{44.7}{5.43} = 8.2$$

$$U_{VH} = U_{VS} \times \frac{A_S}{A_H} = 8.2 \times \frac{0.02456}{0.029304} = 6.9 \text{ pps.}$$

Velocidad al flujo mínimo esperado.

$$U_{VHMIN} = \frac{PCS_{VAPMIN}}{A_H} = \frac{22.05}{221 \times 0.029304} = 3.4 \text{ pps.}$$

Para el punto de balance cerrado.

$$U_{VHBC} = \left( 2g h_v R_{wv} \frac{C_{wv}}{K_{vc}} \frac{DMV}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$K_{VC} = K'_{vc} \left( \frac{A_H}{A_{SC}} \right)^2 = 1.9 \left( \frac{0.029304}{0.00273} \right)^2 = 218.92$$

$$U_{VHBC} = \left( 2(32.2) \left( \frac{0.074}{12} \right) (1.222) \left( \frac{1.3}{218.92} \right) \left( \frac{510}{1.75} \right) \right)^{1/2} = 0.916 \text{ pps}$$

Fracción mínima de válvulas abiertas =  $V_o$

$$V_o = \frac{U_{VH \text{ min}} - U_{VHBC}}{U_{VHBO} - U_{VHBC}} = \frac{3.4 - 0.916}{7.1 - 0.916} = 0.402$$

Caída de presión seca del plato = 0.89 pulg.  $H_2O$

Caída de presión seca en el punto de goteo = 0.71 pulg.  $H_2O$  = 0.134 pies líq.

Caída de presión seca máxima permisible por DCBU máx.

$$\Delta P_{DRY \ DCBU \ MAX} = S_G \left( \frac{(D_L - D_V)(DCBU_{MAX} - H_1 - H_2)}{D_L} - \Delta P_{WET} - H_4 \right)$$

$$= 0.443 \left( \frac{(27.65 - 1.8)(16.5 - 2.44 - 2.5)}{27.65} - 3.137 - 0.546 \right) = 3.16 \text{ pulg. } H_2O = 0.594 \text{ pies líq.}$$

Caída de presión seca máxima permisible por  $\Delta P_{T \ MAX}$ .

Presión en el domo de la columna = 239.7 psia (1652.7 KPa abs)

Presión en el fondo de la columna = 243.2 psia (1676.9 KPa abs)

No. Platos reales = 20

$$\Delta P_{TOTAL \ DE \ LA \ COLUMNA} = 3.5 \text{ psia (24.1 KPa abs)}$$

$$\Delta P_T / PLATO, \ MAXIMA = 0.175 \text{ psi} = 9 \text{ mm Hg} = 1.2 \text{ KPa}$$

$$\text{Si } D_L = 27.65 \text{ lb/pie}^3 \quad \Delta P / \text{plato max} = 10.94 \text{ pulg. líq.}$$

$$\Delta P_T = \frac{\Delta P_{SECA}}{S_G} + \Delta P_w = 10.94 \text{ pulg. líq.}$$

$$\Delta P_{SECA} = (\Delta P_T - \Delta P_w) S_G = (10.94 - 3.137) \frac{27.65}{62.4} = 3.458$$

$$\Delta P_{SECA \ máx \ por \ \Delta P_T} = 3.46 \text{ pulg. } H_2O$$

Velocidad correspondiente a la  $\Delta P_{SECA \ DCBU \ MAX}$

Como las válvulas estarán totalmente abiertas.

$$U_{VH \ DCBU \ MAX} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{vo} D_V} \right)^{1/2}$$

$$= \left( \frac{2(32.2)(0.594)(27.65)}{(3.3)(1.8)} \right)^{1/2} = 13.34 \text{ pps.}$$

Para el punto de goteo.

Las válvulas estarán cerradas.

$$U_{VH \text{ goteo}} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{vc} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.134)(27.65)}{218.92 (1.8)} \right)^{1/2} = 0.778 \text{ pps.}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a carga de líquido cte.

$$A_{bREQ} = A_{bDISPONIBLE} = 32.1446 \text{ pies}^2$$

$$A_{bREQ} = 32.1446 = \frac{PCS_{VAP} + 1.51}{1.78 (1.01)(1.0)} \therefore PCS_{VAP} = 56.28$$

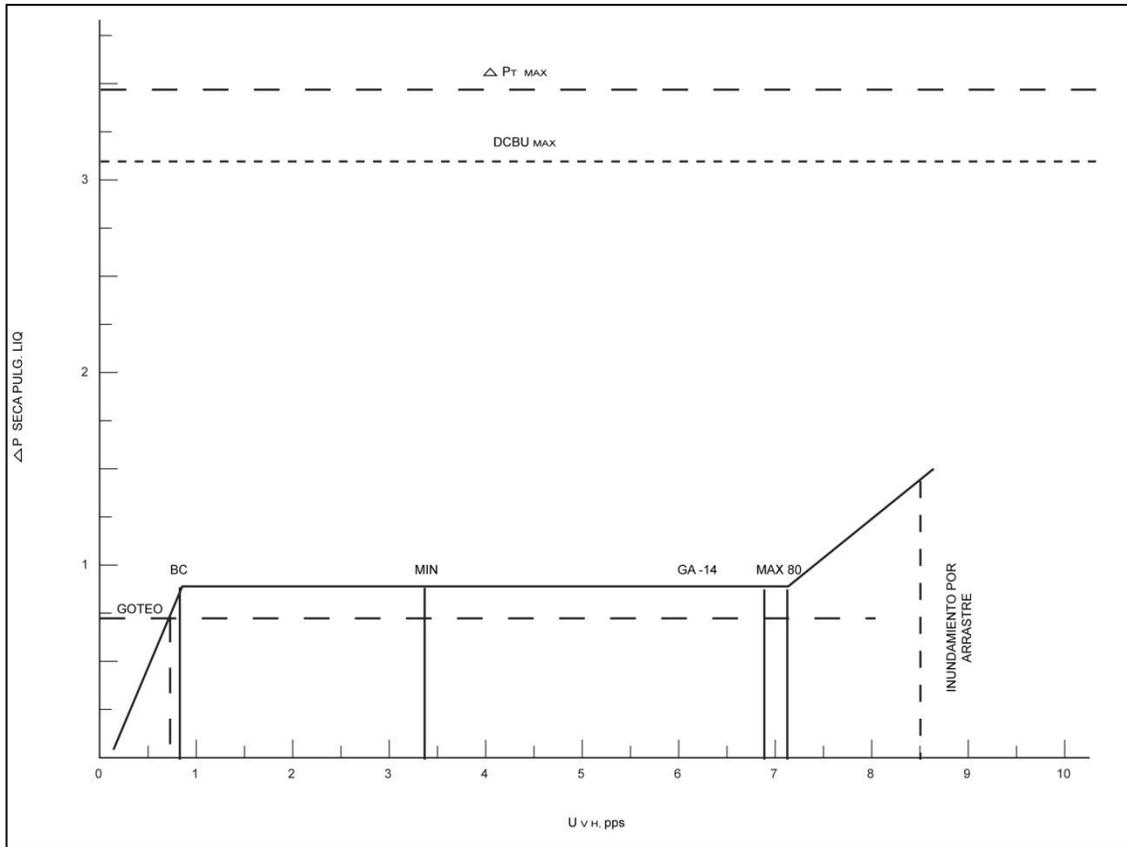
$$U_{VH FLOOD a L \text{ cte.}} = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{56.28}{221 \times 0.029304} = 8.69 \text{ pps.}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a relación L/V cte.

$$A_{bREQ} = 32.1446 = \frac{X(44.7 + 1.51)}{1.78(1.01)(1.0)} \therefore X = 1.25$$

$$X(PCS_{VAP}) = 1.25(44.7) = 55.875 \text{ PCS.}$$

$$U_{VH FLOOD a L/V \text{ cte.}} = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{55.875}{221 \times 0.029304} = 8.63 \text{ pps.}$$



## DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCION INFERIOR

PARA EL PLATO 19.

Plato que maneja el mayor flujo de la sección.

$$GPM = 2834 (643.7 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$D_L = 29.28 \text{ lb/pie}^3 (469 \text{ Kg/m}^3)$$

$$PCS = 44.6 (4.547 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$D_V = 2.23 \text{ lb/pie}^3 (35.72 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\sigma = 4.24 \text{ dinas/cm}$$

$$N.1 \quad DCA_{REQ} = \frac{(CFS_{LIQ})(TIEMPO DE RESIDENCIA)}{(FACTOR DE ESPUMA)(ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS)}$$

$$D_L - D_V = 29.28 - 2.23 = 27.05$$

De la Tabla N.1 ó de la gráfica 5.23.

Tiempo de Residencia = 4 segundos

De la Tabla N.1

Factor de Espuma = 1.0

$$CFS_{LIQ} \rightarrow 2834 \text{ GPM} = 6.31 \text{ PCS LIQ.}$$

ESPACIAMIENTO ENTRE LOS PLATOS = 24 PULGADAS = 2 PIES (610 mm)

Sustituyendo:

$$DCA_{REQ} = \frac{(6.31)(4.0)}{(1.0)(2)} = 12.62 \text{ pies}^2$$

$$N.2 \quad Ab_{REQ} = \frac{CFS_{VAP} + CFS_{LIQ}}{V(F_t) \text{ FACTOR DE ESPUMA}}$$

$$\frac{\sigma}{D_V} = \frac{4.24}{2.23} = 1.9$$

De la figura 5.26  $F_t = 1.0$

De la figura 5.24  $V = 1.6$

$$R_D = (D_V / (D_L - D_V))^{1/2} = (2.23 / (29.28 - 2.23))^{1/2} = 0.287$$

$$\frac{0.5}{R_D} = 1.74 \quad V < \frac{0.5}{R_D} \quad Ok \quad \therefore V = 1.6$$

$$Ab_{REQ} = \frac{44.6 + 6.31}{(1.6)(1.0)(1.0)} = 31.82 \text{ pies}^2$$

N.3 FACTOR DE SEGURIDAD = 0.8 PUES LA FIGURA 5.27 NO SEÑALA UN VALOR MENOR.

$$\text{AREA DE LA COLUMNA} = A_T = \frac{2 ADC_{REQ} + Ab_{REQ}}{\text{FACTOR DE SEGURIDAD}} = \frac{2(12.62) + 31.82}{0.8} = 71.325 \text{ pie}^2$$

$$D_T = 9.53 \rightarrow 10 \text{ pies (3048 mm)}$$

$$\therefore A_T = 78.54 \text{ pies}^2 (7.297 \text{ m}^2)$$

$$N.4 \quad \% DCA = \frac{DCA_{REQ}}{2DCA_{REQ} + Ab_{REQ}} = \frac{12.62}{2(12.62) + 31.82} = 22.12\%$$

Se propone un plato de un paso.

$$\frac{\% DCA}{\text{No.de pasos}} = \frac{22.12}{1} = 22.12$$

$$\text{De la tabla N.4 con } \frac{Ad}{A_T} = 22.12\% = 0.2212$$

$$\frac{H}{D_T} = 0.2730 \quad H = 0.2730 \times 10 \times 12 = 32.76 \text{ pulg.} \rightarrow 33", \frac{33}{10 \times 12} = 0.275$$

$$\frac{Ad}{A_T} = 0.2235 \quad Ad = 0.2235 \left( \frac{\pi}{4} 10^2 \right) = 17.55 \text{ pies}^2$$

$$DCA_{DISP} = 17.55 \text{ pies}^2$$

Sulzer recomienda para un servicio como este el empleo de bajantes inclinados, por lo tanto:

$$DCA_{TOP} = \frac{DCA_{DISP}}{0.8} = \frac{17.55}{0.8} = 21.94 \text{ pies}^2 (2.04 \text{ m}^2)$$

$$DCA_{BOT} = DCA_{DISP}(0.75) = 0.75(17.55) = 13.16 \text{ pies}^2 (1.22 \text{ m}^2)$$

N.5 Estimación del número de pasos.

$$\frac{DCA_{TOP}}{A_T} = \frac{21.94}{78.54} = 0.2793$$

$$\frac{L_{wi}}{D_T} = 0.9352 \quad L_{wi} = 0.9352(10 \times 12) = 112.2 \text{ pulg.} (2850 \text{ mm})$$

$$\frac{GPM}{\text{No.de pasos} \times L_{wi}} = \frac{2834}{1 \times 112.2} = 25.3$$

Comparando este valor en la tabla N.5 se precisa incrementar el número de pasos.

N.4 Se propone un plato de 2 pasos.

$$y \frac{\% DCA}{\text{No.de pasos}} = \frac{22.12}{2} = 11.06 \%$$

$$\text{De la tabla N.4 con } \frac{Ad}{A_T} = 11.06\% = 0.1106$$

$$\frac{H}{D_T} = 0.1678 \quad H = 0.1678 \times 10 \times 12 = 20.14 \text{ pulg.} \rightarrow 20.5 \text{ pulg.}$$

$$\frac{H}{D_T} = \frac{20.5}{10 \times 12} = 0.1708 \quad \frac{A_D}{A_T} = 0.1135$$

$$\therefore AD = 0.1135 \times 78.54 = 8.91 \text{ pies}^2$$

$$DCA_{DISP} = (8.91 \text{ pies}^2)2 = 17.82 \text{ pies}^2 (1.65 \text{ m}^2)$$

Como se emplearán bajantes inclinadas. Para una bajante lateral:

$$DCA_{TOP} = \frac{8.91}{0.8} = 11.1375 \text{ pies}^2 (1.03 \text{ m}^2)$$

$$DCA_{BOT} = 0.75(8.91) = 6.6825 \text{ pies}^2 (0.62 \text{ m}^2)$$

$$N.5 \quad \frac{DCA_{TOP}}{A_T} = \frac{11.1375}{78.54} = 0.1418 \quad \frac{L}{D_T} = 0.7990 \quad L = 95.88 \text{ pulg.}$$

$$L_{wi} = 95.88 \text{ pulg.} (2435 \text{ mm})$$

$$\frac{GPM}{\text{No.de pasos} \times L_{wi}} = \frac{2834}{(2)95.88} = 14.77 \text{ GPM/pulg.}$$

Se recomienda emplear el menor número de pasos posibles y como el valor de  $\frac{GPM}{No.de\ pasos\ Lwi}$  es inferior a 15 GPM/pulg, se emplearán charolas de retención y se considera como correcto el número de pasos de dos.

$$N.6 \quad CAPACIDAD\ DEL\ LIQUIDO = \frac{DCA_{REQ}}{DCA_{DISP}} = \frac{12.62}{17.82} = 0.7082$$

$$\% \text{ INUNDAMIENTO DE LIQUIDO} = 70.82\%$$

$$A_{b\ DISPONIBLE} = A_T - 2DCA_{DISP} = 78.54 - 2(17.82) = 42.9 \text{ pies}^2 (3.99 \text{ m}^2)$$

$$CAPACIDAD\ DEL\ VAPOR = \frac{A_{b\ REQ}}{A_{b\ DISP}} = \frac{31.82}{42.9} = 0.7417$$

$$\% \text{ INUNDAMIENTO POR ARRASTRE} = 74.17\%$$

Las inundaciones están balanceadas OK.

$$\frac{DCA_{REQ}}{A_{b\ REQ}} = \frac{12.62}{31.82} = 0.3966$$

$$\frac{DCA_{DISP}}{A_{b\ DISP}} = \frac{17.82}{42.9} = 0.415$$

LA RELACIÓN DE AREAS DISPONIBLES Y LAS REALES SON MUY SIMILARES OK.

$$N.7 \quad \frac{A_{b\ DISPONIBLE}}{No.de\ pasos} = \frac{42.9}{2} = 21.45 \text{ pies}^2/paso$$

De la figura 5.31

$$7.72 \text{ válvulas/pie}^2 \text{ de } A_{b\ DISP} \therefore \text{No. de válvulas} = 7.72 (42.9) = 331.2$$

$$0.85 (331.2) = 281.5 \rightarrow 282 \text{ válvulas.}$$

$$N.8 \quad H_1 = \left( \frac{GPM/No.de\ pasos}{2.89 Lwi} \right)^{2/3} = \left( \frac{2834/2}{2.89(95.88)} \right)^{2/3} = 2.97 \text{ pulg. (75 mm)}$$

$$h_w = 3 \text{ pulg (76 mm)} \text{ por tener un espaciamiento de 24 pulg.}$$

$$H_1 + h_w = 2.97 + 3 = 5.97 \text{ pulgadas.}$$

Elevación	$A_S, \text{pies}^2$	$A_{st}, \text{pies}^2$	Aranuras/Ab	Pulg. líq. goteo.	Pulg. $H_2O$ goteo
0.3125"	0.01196	3.37	0.0786	0.90	0.42
0.375"	0.01616	4.56	0.106	1.15	0.54
0.4375"	0.02036	5.74	0.133	1.35	0.63
0.500"	0.02456	6.93	0.16	1.7	0.80

Para las diferentes elevaciones, el peso que cumpliría será el correspondiente a los calibres 14 y 12.

Para que todas las válvulas estén abiertas al flujo de diseño, se necesita:

Calibre	$PCS_{VAP} (13.1 D_V)^{1/2} / A_S$	$A_{RANURAS REQ, pies^2}$
12	48.7	4.95
14	41.2	5.85

No. de válvulas B.A. =  $A_{RANURAS} / [0.0672(ELEVACION DE LA VALVULA - ESPESOR DEL PLATO)]$

Se empleará un plato de acero al carbón de calibre 10.

Elevación	Calibre 12	Calibre 14
0.3125	414	489
0.375	306	362
0.4375	243	287
0.500	202	238

Se selecciona como correcta la opción de emplear válvulas de calibre 14 con elevación de 0.4375 pulg.

$$\Delta P_{SECA} = 0.89 \text{ pulg. } H_2O > 0.63 \text{ pulg. } H_2O \quad OK$$

$$N.9 \quad \Delta P_{WET} = \beta(H_1 + H_2)$$

$$H_1 = h_w - \text{elevación de la válvula} = 3 - 0.4375 = 2.5625 \text{ pulg.}$$

De la figura 5.33 y con % inundamiento por arrastre = 74.17%

$$\beta = 0.61$$

$$\Delta P_{WET} = 0.61(2.97 + 2.5625) = 3.37 \text{ pulg.}$$

$$N.10 \quad \Delta P_{TRAY} = \frac{\Delta P_{TRAY}}{S_{GLIQ}} + \Delta P_{WET}$$

$$S_{GLIQ} = \frac{29.28}{62.4} = 0.469$$

$$\Delta P_{TRAY} = \frac{0.89}{0.469} + 3.37 = 5.27 \text{ pulg. líq.}$$

$$\Delta P_{TRAY_{psi}} = 5.27 \text{ pulg. líq.} \times \frac{29.28}{1728} = 0.089 \text{ psi} = 4.6 \text{ mm Hg} = 0.61 \text{ KPa}$$

$$N.11 \quad \left( \frac{GPM/No.de pasos}{L_{wi}} \right) = \left( \frac{2834/2}{95.88} \right) = 14.77 \frac{GPM}{pulg.}$$

Para este valor se recomienda emplear charolas de sello, la bajante tendrá terminación recta (común).

$$H_4 = \left[ \frac{(GPM/No.de\ pasos)^{144}}{(CLARO\ BAJO\ UNA\ BAJANTE\ LATERAL)(Y)(L_{wf})} \right]^2$$

De acuerdo a la figura 5.30 el claro bajo la bajante será igual a la profundidad de la charola, este valor se propone como 4 pulgadas.

$Y = 623$  por tener bajantes con terminación recta.

$$\frac{DCA_{BOTT}}{A_T} = \frac{6.6825}{78.54} = 0.0851$$

$$\frac{L_{wf}}{D_T} = 0.6940 \quad \therefore \quad L_{wf} = 0.694(120") = 83.28\ pulg$$

Sustituyendo:

$$H_4 = \left[ \frac{(2834/2)^{144}}{(4)(623)(83.28)} \right]^2 = 0.967\ pulg.$$

Para caer dentro de los límites recomendados por Sulzer se emplearán bajantes con terminación redondeada tipo bastón.

Ahora  $Y = 1038$

$$H_4 = \left[ \frac{(2834/2)^{144}}{(4)(1038)(83.28)} \right]^2 = 0.35\ pulg. \approx 0.4\ decimos \quad OK$$

$$DCBU = H_1 + H_2(\Delta P_{TRAY} + H_4) \left( \frac{D_L}{D_L - D_V} \right)$$

$$= 2.97 + 2.5625(5.27 + 0.35) \left( \frac{29.28}{29.28 - 2.23} \right) = 11.61\ pulg. (295\ mm)$$

$$DCBU_{MAX} = \frac{TS + h_w}{2} = \frac{24+3}{2} = 13.5\ pulg(343\ mm) > 11.61\ pulg. \quad OK.$$

## PLATO 6

Plato que maneja la menor carga de la sección.

$$GPM = 2164 (491.5\ m^3/hr) \quad D_L = 30.31\ lb/pie^3 (485.5\ kg/m^3)$$

$$PCS = 34.4 (3506\ m^3/hr) \quad D_V = 1.77\ lb/pie^3 (28.35\ kg/m^3)$$

$$\sigma = 5.69\ dinas/cm$$

La capacidad mínima de operación será el 50% de los flujos de diseño.

$$\therefore GPM = 1082(245.7\ m^3/hr)$$

$$PCS = 17.2 (1753.2\ m^3/hr)$$

Ya se tienen fijadas las dimensiones del plato de acuerdo al dimensionamiento efectuado para el plato que maneja el mayor flujo de la sección.

$$DT = 10 \text{ pies} = 120 \text{ pulgadas (3048 mm)}$$

$$\text{Espaciamiento entre platos} = 24 \text{ pulgadas. (610 mm)}$$

$$DCA_{DISP} = 17.82 \text{ pies}^2 (1.655 \text{ m}^2)$$

$$A_{b \text{ DISP}} = 42.9 \text{ pies}^2 (3.986 \text{ m}^2)$$

$$DCA_{TOP} = 11.1375 \text{ pies}^2 (1.03 \text{ m}^2)$$

$$DCA_{BOT} = 6.6825 \text{ pies}^2 (0.62 \text{ m}^2)$$

$$L_{wi} = 95.88 \text{ pulgadas (2435 mm)}$$

$$L_{wf} = 83.28 (2115 \text{ mm})$$

$$\text{Área de Ranuras} = 5.74 \text{ pies}^2$$

$$h_w = 3 \text{ pulgadas} \quad (76 \text{ mm})$$

$$\text{Elevación de las válvulas} = 0.4375 \text{ pulgadas (11 mm)}$$

Válvulas de Acero Inoxidable de calibre 14.

$$1.- \quad DCA_{REQ} = \frac{(CFS_{LIQ})TIEMPO \text{ DE RESIDENCIA}}{(FACTOR \text{ DE ESPUMA})(TS, \text{ PIES})}$$

$$D_L - D_V = 30.31 - 1.77 = 28.54 \text{ lb/pie}^3$$

De la tabla N.1 ó de la gráfica 5.23

Tiempo de Residencia = 4 segundos.

De la tabla N.1 Factor de Espuma = 1.0

$$CFS_{LIQ} \rightarrow 1082 \text{ GPM} = 2.41 \text{ PCS}_{LIQ}$$

ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS = 24 PULGADAS = 2 PIES.

$$DCA_{REQ} = \frac{(2.41)(4.0)}{(1.0)(2)} = 4.82 \text{ pies}^2$$

$$2.- \quad A_{b \text{ REQ}} = \frac{PCS_{VAP} + CFS_{LIQ}}{(V)(Ft)(FACTOR \text{ DE ESPUMA})}$$

$$\frac{\sigma}{D_V} = \frac{5.69}{1.77} = 3.21$$

De la figura 5.26 Ft = 1.0

De la figura 5.24  $V = 1.9$

$$R_D = \left( \frac{D_V}{D_L - D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{1.77}{30.31 - 1.77} \right)^{1/2} = 0.249$$

$$\frac{0.5}{R_D} = \frac{0.5}{0.249} = 2.0$$

$$V < \frac{0.5}{R_D} \therefore V = 1.9$$

$$A_{bREQ} = \frac{17.2 + 2.41}{(1.9)(1.0)(1.0)} = 10.32 \text{ pies}^2$$

6.- CAPACIDAD DE LIQUIDO =  $\frac{DCA_{REQ}}{DCA_{DISP}} = \frac{4.82}{17.82} = 0.2704$

% INUNDAMIENTO LIQ = 27.04 %

$$\text{CAPACIDAD DE VAPOR} = \frac{A_{bREQ}}{A_{bDISP}} = \frac{10.32}{42.9} = 0.24$$

% INUNDAMIENTO POR ARRASTRE = 24%

Para apreciar el comportamiento de la sección, se hace un esquema de operación empleando lo indicado en el capítulo 5.

Velocidad en el punto de balance abierto

Para calibre 14.  $\frac{PCS_{VAP}(13.1 D_V)^{1/2}}{A_{st}} = 41.2$

$$U_{VSBO} = \frac{41.2}{(13.1 D_V)^{1/2}} = \frac{41.2}{(13.1 \times 2.23)^{1/2}} = 7.6 \text{ pps.}$$

$$U_{VHBO} = U_{VSBO} \times \frac{A_S}{A_H} = 7.6 \times \frac{0.02036}{0.029304} = 5.28 \text{ pps}$$

Velocidad en el punto de operación.

$$U_{VS} = \frac{PCS_{VAP}}{A_{st}} = \frac{44.6}{5.74} = 7.77 \text{ pps.}$$

$$U_{VH} = U_{VS} \times \frac{A_S}{A_H} = 7.77 \times \frac{0.02036}{0.029304} = 5.4 \text{ pps.}$$

Velocidad el flujo mínimo esperado.

$$U_{VH \text{ mín}} = \frac{PCS_{VAP \text{ mín}}}{A_H} = \frac{17.2}{282(0.029304)} = 2.1 \text{ pps.}$$

Para el punto de balance cerrado.

$$U_{VHBC} = \left( 2g h_V R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vc}} \frac{D_{MV}}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$K_{VC} = K'_{VC} \left( \frac{A_H}{A_{SC}} \right)^2 = 1.9 \left( \frac{0.029304}{0.00273} \right)^2 = 218.92$$

$$U_{VHBC} = \left[ (2)(32.2) \left( \frac{0.074}{12} \right) (1.2021) \left( \frac{1.3}{218.92} \right) \left( \frac{484}{2.23} \right) \right]^{1/2} = 0.78 \text{ pps.}$$

$$\text{Fracción mínima de válvulas abiertas} = \frac{U_{VH \min} - U_{VHBC}}{U_{VHBO} - U_{VHBC}} = V_O$$

$$V_O = \frac{2.1 - 0.78}{5.28 - 0.78} = 0.293$$

Caída de presión seca del plato = 0.89 pulg.  $H_2O$ .

Caída de presión seca en el punto de goteo = 0.63 pulg.  $H_2O$  = 0.11 pies líq.

Caída de presión máxima permisible por  $DCBU_{m\acute{a}x}$ .

$$\begin{aligned} \Delta P_{DRY \ DCBU \ MAX} &= S_G \left[ \frac{(D_L - D_V)(DCBU_{MAX})H_1 - H_2}{D_L} - \Delta P_{WET} - H_4 \right] \\ &= 0.469 \left[ \frac{(29.28 - 2.23)(13.5 - 2.97 - 2.5625)}{29.28} - 3.37 - 0.35 \right] \\ &= 1.7 \text{ pulg. } H_2O = 0.3 \text{ pies líq.} \end{aligned}$$

La caída de presión máxima permisible por plato son 0.175 psi (9 mm Hg). (1.2 KPa.)

Si  $D_L = 29.28 \text{ lb/pie}^3$        $\Delta P/\text{plato máx} = 10.33 \text{ pulg. líq}$

$$\Delta P_T = \frac{\Delta P_{SECA}}{S_G} + \Delta P_w$$

$$\Delta P_{SECA} = (\Delta P_T - \Delta P_w)(S_G) = 10.33 \text{ pulg. líq.}$$

$$\Delta P_{SECA \ máx \ por \ \Delta P_T} = (10.33 - 3.37) \frac{29.28}{62.4} = 3.27 \text{ pulg. } H_2O.$$

La velocidad correspondiente a la  $\Delta P_{SECA} DCBU_{m\acute{a}x}$ . es :

Como las válvulas estarán totalmente abiertas

$$U_{VH \ DCBU \ MAX} = \left( \frac{2g h_H D_L}{K_{VO} D_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{2(32.2)(0.3)(29.28)}{4.81(2.23)} \right)^{1/2} = 7.26 \text{ pps.}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a carga de líquido cte.

$$A_{b \ REQ} = A_{b \ DISP} = 42.9 = \frac{PCS_{VAP} + 6.31}{(1.6)(1.0)(1.0)} \quad \therefore \quad PCS_{VAP} = 62.33$$

$$U_{VH \ FLOOD \ a \ L \ cte.} = \frac{PCS_{VAP}}{A_H} = \frac{62.33}{282(0.029304)} = 7.54 \text{ pps}$$

Para la velocidad en el punto de inundamiento a relación L/V cte.

$$A_{bREQ} = A_{bDISP} = 42.9 = \frac{X(44.6+6.31)}{(1.0)(1.6)(1.0)}$$

$$X = 1.348$$

$$X(PCSVAP) = 1.348(44.6) = 60.1 PCS$$

$$U_{VHFLOOD} \text{ a } \frac{L}{V} \text{ cte.} = \frac{PCSVAP}{A_H} = \frac{60.1}{282(0.029304)} = 7.27 \text{ pps.}$$

Se tienen pocas válvulas abiertas a flujo mínimo, tratando de obtener una mejor distribución del vapor y a manera de ejemplo, se utilizarán válvulas de dos pesos diferentes. Se colocan válvulas ligeras (calibre 20) alternadas con las pesadas (calibre 14) que se habían propuesto anteriormente.

Si se usa el 50% de válvulas ligeras y el resto de válvulas pesadas.

- 1) Punto de balance cerrado para las válvulas ligeras.

$$U_{VHBCL} = \left(2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vc}} \frac{D_{MV}}{D_V}\right)^{1/2} = 0.554 \text{ pps.}$$

$$h_H = K_{vc} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 218.92 \frac{2.23}{29.28} \left(\frac{0.554^2}{2(32.2)}\right) = 0.0795 \text{ pies líq.} = 0.45 \text{ pulg. } H_2O$$

- 2) Punto de balance abierto para las válvulas ligeras.

$$U_{VHBOL} = \left(2g H_V R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vi}} \frac{D_{MV}}{D_V}\right)^{1/2}$$

$$\frac{1}{K_{vi}} = \frac{X^2}{K_{vo}} + \frac{2X(1-X)}{\sqrt{K_{vo} K_{vc}}} + \frac{(1-X)^2}{K_{vc}}$$

$$X = \text{fracción de válvulas ligeras} = 0.5$$

$$\frac{1}{K_{vi}} = \frac{0.5^2}{4.81} + \frac{2(0.5)(1-0.5)}{\sqrt{(4.81)(218.92)}} + \frac{(1-0.5)^2}{218.92} = 0.0685 \quad K_{vi} = 14.59$$

$$U_{VHBOL} = \left(\frac{2(32.2)(0.037)(1.2021)(1.3)484}{12 \times 14.59 \times 2.23}\right)^{1/2} = 2.148 \text{ pps.}$$

$$h_H = K_{vi} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = \frac{14.59(2.23)(2.148^2)}{(29.28)2(32.2)} = 0.0796 \text{ pies líq} = 0.45 \text{ pulg. } H_2O$$

- 3) Punto de balance cerrado para las válvulas calibre 14.

$$U_{VHBCLP} = \left(2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vi}} \frac{D_{mv}}{D_V}\right)^{1/2}$$

$$= \left(2(32.2) \frac{0.074}{12} (1.2021) \frac{(1.3) 484}{14.59 \times 2.23}\right)^{1/2} = 3.04 \text{ pps.}$$

$$h_H = K_{vi} \left( \frac{D_V}{D_L} \right) \left( \frac{U_{VH}^2}{2g} \right) = 14.59 \frac{(2.23)}{29.28} \frac{3.04^2}{2(32.2)}$$

$$h_H = 0.159 \text{ pies líq.} = 0.89 \text{ pulg. } H_2O$$

- 4) Para el punto de balance abierto para las válvulas de calibre 14.

$$U_{VHBOP} = \left( 2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vo}} \frac{D_{mv}}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$= \left( 2(32.2) \frac{0.074}{12} (1.2021) \frac{(1.3)}{4.81} \frac{484}{2.23} \right)^{1/2} = 5.29$$

$$h_H = K_{vo} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 4.81 \left( \frac{2.23}{29.28} \right) \frac{5.29^2}{2(32.2)}$$

$$h_H = 0.159 \text{ pies líq} = 0.89 \text{ pulg. } H_2O$$

El punto de balance abierto para las válvulas ligeras (2.15 pps) se encuentra muy cercano al flujo mínimo de operación (2.1 pps), para flujo mínimo se tendrá una caída de presión seca de :

$$h_H = K_{vi} \left( \frac{D_V}{D_L} \right) \left( \frac{U_V^2}{2g} \right) = 14.59 \frac{(2.23)}{29.28} \frac{2.1^2}{2(32.2)} = 0.076 \text{ pies líq.} = 0.43 \text{ pulg. } H_2O$$

En el punto de goteo se tienen 0.63 pulg.  $H_2O$ .

∴ no es posible emplear este arreglo.

Se propone utilizar el 25% de las válvulas de calibre 20 y el resto de calibre 14.

Si  $X = 0.25$

- 1)  $U_{VHBCL} = 0.554 \text{ pps}$  y  $h_H = 0.45 \text{ pulg. } H_2O$

$$2) \frac{1}{K_{vi}} = \frac{X^2}{K_{VO}} = \frac{2(X)(1-X)}{\sqrt{K_{vo} K_{vc}}} + \frac{(1-X)^2}{K_{vc}}$$

$$\frac{1}{K_{vi}} = \frac{0.25^2}{4.81} + \frac{2(0.25)(1-0.25)}{\sqrt{(4.81)(218.92)}} + \frac{(1-0.25)^2}{218.92} = 0.0271$$

$$\therefore K_{vi} = 36.9$$

$$U_{VHBOL} = \left( 2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vi}} \frac{D_{mv}}{D_V} \right)^{1/2}$$

$$= \left( \frac{2(32.2)(0.037)(1.2021)(1.3)(484)}{12(36.9)(2.23)} \right)^{1/2} = U_{VHBOL} = 1.35 \text{ pps.}$$

$$h_H = K_{vi} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 36.9 \left( \frac{2.23}{29.28} \right) \frac{1.35^2}{2(32.2)} = 0.079 \text{ pies líq.} = 0.44 \text{ pulg. } H_2O.$$

- 3)  $U_{VHBOP} = \left( 2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vi}} \frac{D_{mv}}{D_v} \right)^{1/2}$

$$= \left( \frac{2(32.2)(0.074)(1.2021)(1.3)484}{12(36.9)(2.23)} \right)^{1/2} = 1.91 \text{ pps.}$$

$$h_H = K_{vi} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 36.9 \frac{2.23}{29.28} \frac{1.91^2}{2(32.2)} = 0.159 \text{ pies líq.}$$

$$h_H = 0.89 \text{ pulg. } H_2O.$$

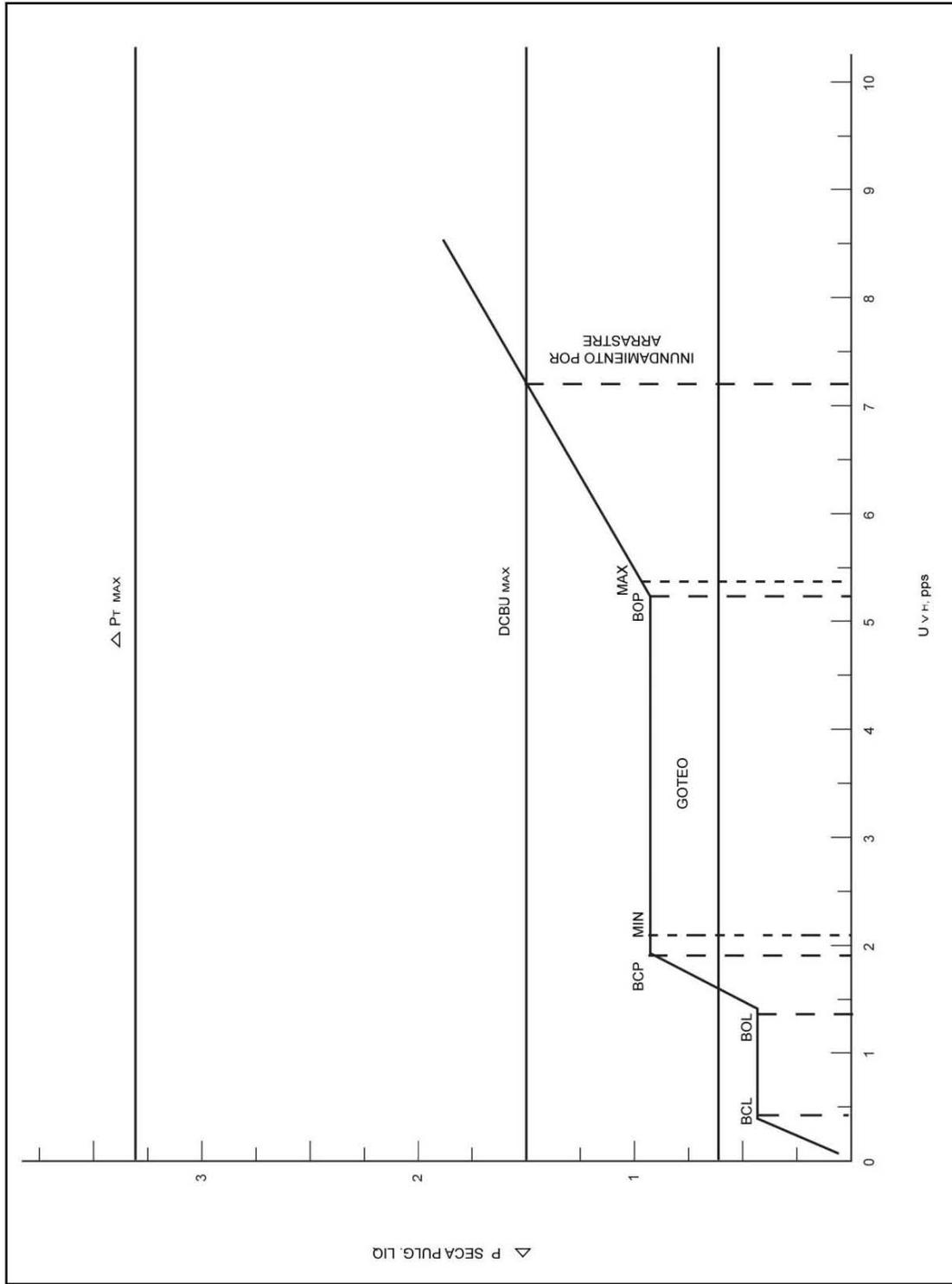
$$4) \quad U_{VHBOp} = \left( 2g H_v R_{wv} \frac{C_{vw}}{K_{vo}} \frac{D_{mv}}{D_v} \right)^{1/2}$$

$$= \left( \frac{2(32.2)(0.074)(1.2021)(1.3)484}{12(4.81)(2.23)} \right)^{1/2} = 5.29 \text{ pps.}$$

$$h_H = K_{vo} \frac{D_V}{D_L} \frac{U_{VH}^2}{2g} = 4.81 \left( \frac{2.23}{29.28} \right) \frac{5.29^2}{2(32.2)} = 0.159 \text{ pies líq.}$$

$$h_H = 0.89 \text{ pulg. } H_2O.$$

Grificando en el esquema de operación se ve que se tendrá un buen funcionamiento.



				<b>HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA PLATOS</b>		
<b>PLANTA:</b> FRACCIONADORA				PROYECTO No E-000		
<b>LOCALIZACION:</b> MEXICO				HOJA 1 DE 2		
<b>CLAVE DE LA TORRE:</b> DA-001				No DE UNIDADES 20		
<b>SERVICIO :</b> TORRE DESETANIZADORA						
SECCION		SUPERIOR		SUPERIOR	SUPERIOR	
No. DE PLATOS DE LA SECCION		1-5		1-5	1-5	
PLATO CRITICO DE LA SECCION		1		1	1	
CONDICIONES DE OPERACIÓN (1)						
VAPOR	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup> a P,T		0.0288	0.0288	0.0288	
	FLUJO	kg/h	131155	131155	131155	
		m <sup>3</sup> /h a P,T	4554	4554	4554	
LIQUIDO	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup> a P,T		0.4429	0.4429	0.4429	
	FLUJO	kg/h	68215	68215	68215	
		LPM a P,T	2567	2567	2567	
	VISCOSIDAD	CP	-	-	-	
	TENSION SUPERF	dinas/cm	4.73	4.73	4.73	
TEMPERATURA		LIQUIDO °C	-4	-4	-4	
		VAPOR °C	3	3	3	
PRESION		kg/cm <sup>2</sup> man	15.8	15.8	15.8	
CRITERIOS DE DISEÑO			<b>KOCH-GLITSCH</b>	<b>KOCH-GLITSCH</b>	<b>SULZER</b>	
INUNDACION MAXIMA POR ARRASTRE %			82	85	80	
INUNDACION MAXIMA EN BAJANTES %/mm			82/381	85/419	80/419	
CAIDA DE PRESION MAXIMA POR PLATO mm Hg			9.0	9.0	9.0	
RANGO DE OPERACIÓN %			40-82	40-85	40-80	
CARACTERISTICAS DE LOS PLATOS						
TIPO DE PLATO			BALLAST	FLEXITRAY	FLOAT VALVE	
DIAMETRO mm			2438	2286	2134	
ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS mm			762	762	762	
NUMERO DE PASOS			UNO	DOS	UNO	
AREA ACTIVA m <sup>2</sup>			3.914	3.57	2.99	
AREA DE BAJANTES m <sup>2</sup>			0.378	0.352	0.368	
TIPO DE BAJANTES			INCLINADAS	INCLINADAS	INCLINADAS	
ALTURA DEL VERTEDERO mm			51	76	76	
TIPO DE UNIDADES DE CONTACTO			V-1	A	B	
NUMERO DE UNIDADES POR PLATO			576	457	221	
DATOS HIDRAULICOS DEL SISTEMA						
FACTOR DE ESPUMA			1	0.9	1	
% DE INUNDACION A CAPACIDAD MAX/NOR/MIN			80/80/40	76/76/38	80/80/40	
ALTURA DE LIQUIDO EN LAS BAJANTES mm			244	208	272	
ALTURA DE LIQUIDO SOBRE EL VERTEDERO mm			48	34	62	
CAIDA DE PRESION POR PLATO mm Hg			3.9	4.5	4.3	
CAIDA DE PRESION POR SECCION mm Hg			20	22.5	21.5	
METALURGIA						
MATERIAL DE CONSTRUCCION PLATO			AC GA 10	AC GA 10	AC GA 10	
CORROSION PERMISIBLE mm			3	3	3	
MATERIAL DE CONSTRUCCION BAJANTE			AC GA 10	AC GA 10	AC GA 10	
CORROSION PERMISIBLE mm			3	3	3	
MATERIAL DE CONSTRUCCION UNIDADES DE CONTACTO			AI GA16	AI. GA 14/16	AI GA 14	
CORROSION PERMISIBLE mm			-	-	-	
1) LAS CONDICIONES SE REFIEREN AL LIQUIDO QUE SALE DEL PLATO Y AL VAPOR QUE ENTRA AL MISMO						
REVISION	0	1	2	3	4	
FECHA	2011					
ELAB POR	LDCA					

				HOJA DE DATOS DE PROCESO PARA PLATOS		
PLANTA: FRACCIONADORA				PROYECTO No E-000		
LOCALIZACION: MEXICO				HOJA 2 DE 2		
CLAVE DE LA TORRE: DA-001				No DE UNIDADES 20		
SERVICIO : TORRE DESETANIZADORA						
SECCION			INFERIOR	INFERIOR	INFERIOR	
No. DE PLATOS DE LA SECCION			6-20	6-20	6-20	
PLATO CRITICO DE LA SECCION			19	19	19	
CONDICIONES DE OPERACIÓN (1)						
VAPOR	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup> a P,T		0.0357	0.0357	0.0357	
	FLUJO	kg/h	162328	162328	162328	
m <sup>3</sup> /h a P,T		4547	4547	4547		
LIQUIDO	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup> a P,T		0.469	0.469	0.469	
	FLUJO	kg/h	301886	301886	301886	
		LPM a P,T		10728	10728	10728
	VISCOSIDAD CP		-	-	-	
TENSION SUPERF dinas/cm		4.24	4.24	4.24		
TEMPERATURA		LIQUIDO °C	22	22	22	
		VAPOR °C	24	24	24	
PRESION		kg/cm <sup>2</sup> man	15.2	15.2	15.2	
CRITERIOS DE DISEÑO			KOCH-GLITSCH	KOCH-GLITSCH	SULZER	
INUNDACION MAXIMA POR ARRASTRE %			82	85	80	
INUNDACION MAXIMA EN BAJANTES %/mm			82/305	85/343	80/343	
CAIDA DE PRESION MAXIMA POR PLATO mm Hg			9.0	9.0	9.0	
RANGO DE OPERACIÓN %			40-82	40-85	40-80	
CARACTERISTICAS DE LOS PLATOS						
TIPO DE PLATO			BALLAST	FLEXITRAY	FLOAT VALVE	
DIAMETRO mm			3505	3048	3048	
ESPACIAMIENTO ENTRE PLATOS mm			610	610	610	
NUMERO DE PASOS			DOS	CUATRO	DOS	
AREA ACTIVA m <sup>2</sup>			6.07	4.38	3.986	
AREA DE BAJANTES m <sup>2</sup>			1.78	1.687	1.03	
TIPO DE BAJANTES			INCLINADAS	INCLINADAS	INCLINADAS	
ALTURA DEL VERTEDERO mm			51	76	76	
TIPO DE UNIDADES DE CONTACTO			V-1	A	B	
NUMERO DE UNIDADES POR PLATO			580	560	282	
DATOS HIDRAULICOS DEL SISTEMA						
FACTOR DE ESPUMA			1.0	0.9	1	
% DE INUNDACION A CAPACIDAD MAX/NOR/MIN			76/76/38	82/82/41	74/74/37	
ALTURA DE LIQUIDO EN LAS BAJANTES mm			267	198	295	
ALTURA DE LIQUIDO SOBRE EL VERTEDERO mm			53	41	75	
CAIDA DE PRESION POR PLATO mm Hg			4.6	4.3	4.6	
CAIDA DE PRESION POR SECCION mm Hg			69	64.5	69	
METALURGIA						
MATERIAL DE CONSTRUCCION PLATO			AC GA 10	AC GA 10	AC GA 10	
CORROSION PERMISIBLE mm			3	3	3	
MATERIAL DE CONSTRUCCION BAJANTE			AC GA 10	AC GA 10	AC GA 10	
CORROSION PERMISIBLE mm			3	3	3	
MATERIAL DE CONSTRUCCION UNIDADES DE CONTACTO			AI GA16	AI. GA 14/16	AI GA 18/20	
CORROSION PERMISIBLE mm			-	-	-	
1) LAS CONDICIONES SE REFIEREN AL LIQUIDO QUE SALE DEL PLATO Y AL VAPOR QUE ENTRA AL MISMO						
REVISION	0	1	2	3	4	
FECHA	2011					
ELAB POR	LDCA					

## CONCLUSIONES

En este trabajo se lograron los objetivos, cuando se realice el dimensionamiento de una columna de destilación, se tendrán las suficientes bases y una metodología de cálculo para su correcto dimensionamiento y funcionamiento.

En la actualidad, los platos valvulados y los platos perforados son los de mayor aceptación, debido a su mayor capacidad y eficiencia.

Sin embargo, los platos de válvulas presentan un comportamiento singular que les confiere una mayor flexibilidad, es decir tienen la propiedad de mantener constante su eficiencia en un muy amplio rango de operación. Dicho comportamiento es el siguiente: A los flujos de diseño las válvulas se encuentran totalmente abiertas y su comportamiento es similar al de un plato perforado con gran área abierta. Cuando la carga es un poco menor la fuerza ascendente del vapor no es suficiente para sostener a las válvulas totalmente abiertas y una de ellas empieza a cerrar, el plato está en su punto de balance abierto. A menores flujos, parte de las válvulas están abiertas y el resto permanece cerrado, la cantidad de válvulas abiertas será proporcional al flujo de vapor manejado a través del plato; lo anterior reduce el área abierta y por lo tanto la caída de presión se mantiene constante, igual a la del punto de balance abierto, hasta llegar a un punto en el que todas las válvulas estarán cerradas y nuevamente el plato se comporta como uno perforado pero de poca área abierta. De aquí en adelante, la caída de presión del plato disminuye conforme se reduce el flujo de vapor hasta llegar al punto de goteo que es donde la eficiencia del plato empieza a disminuir significativamente. A flujos mayores a los de diseño el comportamiento de los platos perforados y de válvulas será el mismo y la eficiencia empezará a declinar cuando la cantidad de arrastre empiece a ser significativa (hacia el punto de inundamiento). En el rango comprendido entre el flujo de operación y el punto de goteo, la eficiencia se mantiene dentro de un nivel aceptable.

Los diseños de los platos valvulados pueden mejorarse aún más, al colocar válvulas de dos pesos (calibres) diferentes pues se obtienen una mayor flexibilidad y, a bajos flujos, una mejor distribución del vapor. Por lo anterior, los platos valvulados favorecen una operación más económica de la columna al permitir trabajar a bajas cargas sin que la eficiencia disminuya. Con otro tipo de platos sería necesario incrementar el reflujo, para mantener la eficiencia, con el consiguiente aumento en los costos de operación de la columna.

Como se ha señalado, la flexibilidad es un término importante para el diseño de un plato de destilación y es la principal ventaja de los platos valvulados sobre los platos de otros tipos, sin embargo las secuencias para el dimensionamiento preliminar que proporcionan los fabricantes de platos de válvulas no consideran su evaluación, por ello fue necesario complementarlos empleando conceptos tomados de la literatura disponible sobre el tema.

Con las secuencias de cálculo y las recomendaciones de diseño mostradas en este trabajo es posible efectuar el dimensionamiento preliminar de una columna con platos valvulados y de sus internos o bien checar el funcionamiento de una columna existente.

Para el diseño preliminar de la columna desetanizadora que se tomó como ejemplo, se encontró que los platos con válvulas rectangulares de Sulzer presentan una mayor capacidad que los otros tipos de platos valvulados lo que permitirá emplear diámetros menores y hacer un diseño más económico de la columna. La razón por la cual estos platos pueden manejar mayores flujos que los otros modelos, para un diámetro determinado, se debe únicamente a la configuración de las válvulas pues el resto de la geometría es prácticamente el mismo para todos los platos de flujo cruzado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Judson King. "Separation Processes". McGraw Hill. Editorial Reverte. New York 2003.
- (1) Jose Lluch Urpí. "Tecnología y margen de Refino del Petróleo". Editorial Díaz de Santos. España 2008.
- Ernest E. Ludwig. "Applied Process Design". Volume 2. Three edition. United States Of America 1997.
- R K Sinnott. "Chemical Engineering Design". Volume 6. For Edition. Oxford 2005.
- Binay K. Dutta. "Principles of Mass Transfer and Separation Processes". Prentice Hall. India 2007.
- (2) Henry Z. Kister. "Distillation Operation". Mc Graw Hill. United States Of America 1990.
- William L. Luyben. "Reactive Distillation Design and control". Editorial Wiley. New Jersey 2008.
- Douglas L. Erwin. "Industrial Chemical Process". Mc Graw Hill. New York 2002.
- Norman P. Lieberman. "Troubleshooting Process Operations". For Edition. Tulsa Oklahoma 2009.
- Robert H. Perry. "Perry's Chemical Engineers". Eight Edition. Mc Graw Hill 2008.
- (3) Charles Holland. "Fundamentals of Multicomponent Distillation". Mc Graw Hill. New York 1997.
- (4) Ludwig, Ernest E. "Applied process design for chemical and petrochemical plants" Butterworth-Heinemann, 2001.
- (5) Mujtaba, I. M. "Batch Distillation: design and operation". Series on chemical engineering. Vol. 3. Imperial College, 2004.
- Petlyuk, Felix B. "Distillation theory and its application to optimal design of separation units". Cambridge series in chemical engineering. Cambridge University Press, 2004.
- Coulson, J. M. "Fluid flow, heat transfer and mass transfer". Butterworth Heinemann, 1999.
- Al-Arfaj M.A. y W.L. Luyben, Comparison of alternative control structures for an ideal two-product reactive distillation column, Ind. Eng. Chem. Res., 39(9), 2000.
- (6) Alejski K. y F. Duprat, Dinamic simulation of the multicomponent reactive distillation, Chem. Eng. Sci., 51, 1996.
- Desher J.R. y J.T. Carney, Sulphur increase seen mostly heavy fractions of lower quality crudes, oil & Gas J., 92(2), 1994.

- Firoozabadi A., Thermodynamics of hydrocarbons reservoirs, Mc Graw Hill, 1999.
- Gani R., Ruiz C.A. y I.T. Cameron, A generalized model for distillation column I. Model description and applications, Comp. and Chem. Eng. 10(3), 1990.
- (7) Jacobsen E.W. y S. Skogestad, Instability of distillation columns, AIChE J., 40(9), 1994.
- Papastathopoulou H.S. y W.L. Luyben, Control of a binary sidestream distillation column, Ind Eng. Chem. Res., 30, 1991.
- (8) Perry R.H. Green D.W. y J.O. Maloney, "Manual del Ingeniero Químico", Tomo 1, 7 Edición, Mc Graw Hill, 1999.
- (9) Refining Process, Hydrocarbon Processing, Nov. 2002.
- Walas S.M., Phase equilibria in chemical Engineering. Butterworth Publishers, 1985.
- Yaws C.L. "Chemical Properties Handbook", Mc Graw Hill, 1999.
- Siirola, J.J. An industrial perspective on process synthesis. AIChE symp. Ser. 304, 1995.
- (10) Skogestad S., Dynamics and control of distillation columns "A critical Survey", modeling, Identification and control, 18, 1997.
- (11) Luyben W.L. "Process modeling simulation and control for chemical engineers", 2 edition, Mc Graw Hill, 1990.
- Doherty M.F. y G. Buzad, Reactive distillation by design, Trans. Inst Chem. Eng., 70A, 1992.
- (12) L. Mott, Robert. "Mecánica de fluidos". Prentice Hall, 1996.
- R. Munson, Bruce. "Fundamentos de Mecánica de fluidos". Limusa Wesley. 1999.
- (13) Welty, J.R. y C.E. Wicks. "Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. Noriega Editores. 1997.
- Bird, R.B. "Fenómenos de Transporte". Reverte. España 1998.
- (14) Manual para el diseño Hidráulico de Recipientes. Ingeniería de Proceso. IMP.
- (15) Sloley Andrew W. Properly Design Thermosyphon Reboilers. Chemical Engineering. 1997.
- (16) Chen, E. Optimize Reboiler Design. Hydrocarbon Processing. 2001.
- (17) KOCH-GLITSCH COMPANY
- (18) SULZER CHEMTECH COMPANY