



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"Diseño de un Sistema de Recuperación de Dimetilformamida a Partir de los Gases Agotados de Salida de un Sistema de Extrusión de Polímero."

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a n :

Carlos Héctor Alcaraz Fernández Cejudo

Manuel Francisco Guzmán Sáenz



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.

TESIS 1978

CLAS _____
ADE M. 17 14
FECHA _____
PROC _____
S. _____



21231

INGENIERO QUIMICO

A MI VENERADO PADRE:

HECTOR RAMON ALCARAZ RUIZ

QUE CON SU EJEMPLO Y SUS CONSEJOS
CONTRIBUYO A LA OBTENCION DE LA -
META QUE ME FIJE.

A MI ADORADA MADRECITA:

CAROLINA FERNANDEZ CEJUDO DE ALCARAZ
QUE CON SUS ESFUERZOS Y SUS DESVELOS
PERMITIO QUE LOGRARA LA CULMINACION_
DE MIS ESTUDIOS.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE:

PROF. HECTOR SIERRA ELIZONDO

VOCAL:

PROF. RUDI P. STIVALET CORRAL

SECRETARIO:

PROF. JOSE FRANCISCO GUERRA RECASENS

1o. SUPLENTE:

PROF. CLAUDIO A. AGUILAR MARTINEZ

2o. SUPLENTE:

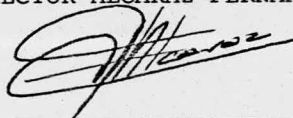
PROF. OSCAR PLIEGO LARA

SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

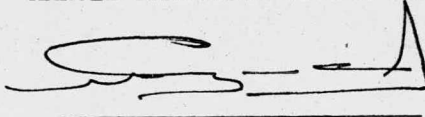
FACULTAD DE QUIMICA

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DE LOS SUSTENTANTES:

CARLOS HECTOR ALCARAZ FERNANDEZ CEJUDO



MANUEL FRANCISCO GUZMAN SAENZ



NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DE TEMA:

PROF. RUDI P. STIVALET CORRAL



A ROSARIO:

QUE CON SU COMPRENSION Y SU
CARIÑO INFLUYO DE MANERA DE
TERMINANTE EN LA CULMINA -
CION DE ESTE TRABAJO.

A MI ABUELITA:

MARIA SAID DE CARVAJAL

A MI MADRINA:

GLORIA FERNANDEZ CEJUDO SAID

A MIS HERMANOS:

MARIA ALCARAZ FERNANDEZ CEJUDO

GUILLERMO ALCARAZ FERNANDEZ CEJUDO

JORGE ARTURO ALCARAZ FERNANDEZ CEJUDO

PORQUE CON SU ENTUSIASMO Y ALEGRIA FO
MENTARON EN MI UN ALICIENTE PARA SUPE
RARME Y DE ESTA FORMA PODER OFRECER -
UN FUTURO MEJOR.

A MI MADRE :

FRANCISCA SAENZ DE GUZMAN

A LA MEMORIA DE MI PADRE:

MANUEL GUZMAN ALARCON

A MIS HERMANOS:

FRANCISCO M. GUZMAN SAENZ

MA. DEL PILAR GUZMAN SAENZ

NUESTRO SINCERO AGRADECIMIENTO QUE
POR SU ACERTADA DIRECCION Y EL SIN
GULAR INTERES QUE NOS BRINDO PARA-
REALIZAR EL PRESENTE TRABAJO, OTORU
GAMOS AL MAESTRO:

ING. RUDI P. STIVALET

DAMOS NUESTRO AGRADECIMIENTO A LAS
PERSONAS QUE COLABORARON CON NOSO-
TROS DESINTERESADAMENTE PARA LA --
REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

SR. ING. JORGE MANDOKI

SR. ING. EDUARDO ISLAS MORRIS

SR. ING. ENRIQUE GARCIA LOPEZ

I N D I C E G E N E R A L .

		Pág.
PROLOGO	.-	1
CAPITULO	I.- ASPECTOS GENERALES DE LA DMF EN LA- INDUSTRIA FIBROQUIMICA.	
	Generalidades.....	3
	a) Fibra Acrílica.....	5
	b) Recuperación de la DMF como Sol- vente en la Producción de la Fi- bra Acrílica.....	8
CAPITULO	II.- TORRE DE ABSORCION.	
	1) Condiciones de Operación.....	13
	2) Datos de Diseño.....	14
	3) Balance de Calor.....	17
	4) Balance de Materia.....	23
	5) Diseño Hidráulico.	
	a) Cálculo hidrodinámico de los- Platos.....	26
	b) Cálculo de la caída de pre -- sión total del Gas.....	32

	Pág.
c) Cálculo de la caída de presión del Líquido.....	36
6) Cálculo de la Eficiencia.	
a) Cálculo de la eficiencia del Plato según el Método del American Institute of Chemical Engineers.....	38
b) Cálculo del número de Platos-reales del equipo.....	47
7) Diseño Mecánico.	
a) Datos para el diseño mecánico.....	48
b) Esfuerzo en la cubierta debido a cargas muertas, viento y sismo.....	56
8) Diseño del Faldón.....	56
9) Anclaje.....	62
10) Aro Base con Análisis Estático..	66
11) Cimentación.....	68

CAPITULO III.- TORRE DE DESTILACION.

1) Cálculo del Diagrama de Equilibrio para el Sistema DMF-Agua.	75
---	----

	Pág.
2) Cálculo del número de Platos Teó- ricos.....	78
a) Datos de diseño y balance de - materia.....	78
b) Cálculo de la línea de Alimen- tación.....	79
3) Diseño Hidráulico.	
a) Cálculo hidrodinámico de los - Platos.....	84
b) Cálculo de la caída de presión total del Gas.....	89
c) Cálculo de la caída de presión del Líquido.....	93
4) Cálculo de la Eficiencia.	
a) Cálculo de la eficiencia del - plato según el método del Ame- rican Institute of Chemical En- gineers.....	96
b) Cálculo del número de platos - reales del equipo.....	106
c) Localización del plato de ali- mentación.....	112
5) Diseño Mecánico.	
a) Datos para el diseño mecánico.	115

	Pág.
b) Esfuerzos en la cubierta debi do a cargas muertas, viento y sismo.....	117
6) Diseño del Faldón.....	122
7) Anclaje.....	127
8) Aro Base con Análisis Estático..	129
9) Cimentación.....	130

CAPITULO IV.- CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

Consideraciones Económicas.....	136
1) Torre de Absorción.	
a) Especificaciones de la Torre- de absorción.....	139
b) Costo estimado para la Torre- de absorción.....	141
2) Torre de Destilación.	
a) Especificaciones de la Torre- de destilación.....	144
b) Costo estimado para la Torre- de destilación.....	146
3) Criterios para la Evaluación del Diseño.....	149

	Pág.
CONCLUSIONES.....	153
SIMBOLOGIA.....	154
REFERENCIAS.....	165

P R O L O G O .

La recuperación de solventes, especialmente de aquellas corrientes con muy bajas concentraciones, ó "agotadas", ha adquirido durante los últimos tiempos, una importancia capital en la economía de los procesos químicos, -- llegando en ocasiones a ser un factor primordial al considerarse la viabilidad económica de un proyecto determinado.

Esto es debido principalmente a los constantes aumentos de precios en las materias primas, escasez de las mismas, limitantes para la importación, etc., además de -- ser un punto importante en lo que a contaminación se refiere.

El principal factor a considerar por un Ingeniero Quí - mico al evaluar un proyecto determinado es sin duda alguna, el aspecto económico, que será en última instan - cia el parámetro que determinará si el proyecto es factible de realizarse ó no.

El objetivo del presente trabajo es evaluar las posibilidades de recuperar a partir de una corriente agotada a la salida de un sistema de extrusión de fibra acrílica el solvente Dimetil Formamida, en forma eficiente y economicamente atractiva. Esto se justifica primordialmente, por el gran mercado de las fibras acrílicas y -- por la enorme importancia de la Dimetil Formamida desde el punto de vista químico y económico en la fabricación de estas fibras.

Para llegar a esto, se ha considerado que puede hacerse por medio de un sistema compuesto de una torre de absorción para separar el solvente del aire y posteriormente esta solución pasa a una torre de destilación en donde se separarán el solvente purificado y el agua.

Podemos dividir el trabajo en dos partes, la parte técnica y la parte económica del mismo. En la primera de ellas se presentan las consideraciones termodinámicas - de los sistemas de absorción y destilación, los cálculos de diámetro, platos teóricos, eficiencias y platos reales, así como el diseño mecánico y de cimentación de ambos equipos.

En la segunda parte se analiza el proyecto desde el punto de vista económico, de acuerdo con los datos obtenidos en la primera parte. Esto se hace evaluando los -- costos estimados de los equipos calculados y haciendo -- un análisis de recuperación de la inversión con el ahorro que representa la recuperación de dicho solvente.

CAPITULO UNO.

ASPECTOS GENERALES DE LA DMF
EN LA INDUSTRIA FIBROQUIMICA

GENERALIDADES .

- a) Fibra Acrílica.

- b) Recuperación de la DMF como Soluvente en la Producción de Fibra Acrílica.

ASPECTOS GENERALES DE LA DMF
EN LA INDUSTRIA FIBROQUIMICA

Generalidades:

Dentro de la Industria Química podemos definir por antonomasia, a cualquier proceso químico como; la transformación química de un material en otro, así como todos los pasos que hay que seguir para lograrlo con eficiencia, seguridad y limpieza ecológica. (19)

Como podemos observar, uno de los factores más importantes a considerar, es la eficiencia del proceso, la cual por medio de la implementación de un proyecto con fines comerciales de producción, podría mejorar la economía del mismo.

Existen diferentes métodos que ofrecen maximizar la eficiencia, para mejorar la economía del proceso industrial, al respecto se pueden citar los siguientes: El uso de catalizadores y de tamices moleculares, la recuperación de solventes y de productos secundarios, la adaptación de nuevas tecnologías, el mejoramiento de las condiciones de reacción, por medio del incremento de la conversión, así como de las condiciones de operación y también el ahorro de energéticos, etc.

De los métodos anteriormente citados para el mejora miento de la eficiencia, se puede mencionar que éstos en la actualidad, debido a los constantes incre mentos en los costos; tanto de energéticos, materi- as primas y productos de servicio, causados por las contínuas variaciones en el mercado, hayan influido particularmente en los métodos referentes al ahorro de energéticos, recuperación y aprovechamiento de - solventes como de productos secundarios, para que - éstos adquirieran gran importancia en la economía - de los procesos industriales.

a) Fibras Acrílicas.

Dentro de la Industria Química, se puede observar - que las secciones representativas a considerar en - el mercado son las siguientes:

La Industria Petroquímica.

La Industria de Inorgánicos Básicos.

La Industria de Resinas Sintéticas.

La Industria Fibroquímica.

La Industria de Hule Sintético y sus derivados.

La Industria Agroquímica.

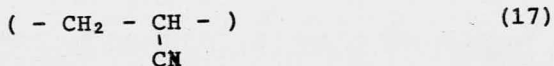
La INdustria de Materias Primas Farmacéuticas.

En este estudio nos referimos en particular, a la - sección de la Industria Fibroquímica, que se encuentra dividida en dos mercados; fibras naturales y fibras sintéticas. De éstas últimas, haremos destacar que la tasa de sustitución de fibras naturales - por fibras sintéticas se ha ido aumentando, al tener éstas fibras un porcentaje mayor en el mercado. Este porcentaje era en 1968 de un 25% y en 1974 de un 60%. (20)

El mercado de las fibras sintéticas, tiene identificada a la fibra acrílica como la de mayor importancia, debido a su alta participación en él, cabe mencionar el hecho de que en el año de 1972 la produc-

ción mundial de fibras sintéticas ascendió a 2,800- millones de libras, correspondiendo a un 80% de -- las fibras acrílicas, en la cifra anterior. (17)

La fibra acrílica ha sido definida por la U. S. Federal Commission, registrada en el libro Rules and Regulations under Textile Fiber Products Identification Act, efectivo a partir del 3 de marzo de 1960, como: Aquélla en la cual, la sustancia constituyente de la fibra es cualquier polímero de cadena larga, formado por al menos un 85% en peso por unidades de acrilonitrilo.



Se conoce como fibra modacrílica a aquélla que contiene del 35% al 85% en peso de unidades de acrilonitrilo.

Los polímeros de acrilonitrilo son conocidos dentro de la literatura alemana de patentes, desde fines de la década de los años veintes, pero debido a su inestabilidad a temperaturas cercanas a su punto de fusión y a la falta de solventes adecuados, su conversión a fibra sintética no era posible por ninguno de los métodos de extrusión, ya sea por el método de fusión ó por medio de solventes.

En 1938, H. Rein trabajando para I. G. Faben Industrie, describió fibras obtenidas a partir de polímero disuelto en soluciones acuosas de compuestos de benzilpiridina ó de sales metálicas, como el bromuro de litio, tiocianato de sodio ó perclorato de aluminio.

b) Recuperación de la Dimetilformamida como Solvente en la Producción de Fibras Acrílicas.

Du-Pont después de realizar diversos estudios de -- factividad sobre diferentes solventes para la producción de la fibra deseada, seleccionó la dimetilformamida (DMF) para éste uso y comenzó a desarrollar la "Fibra A" en los principios de la década de los cuarentas, produciendo la primera fibra acrílica en 1949.

Desde entonces a la fecha, la producción de la fibra acrílica ha experimentado un crecimiento muy rápido.

La producción de la fibra acrílica en la actualidad se lleva a cabo por medio del siguiente proceso:

Se tiene que formar una mezcla aproximada del 90% de acrilonitrilo y un 10% de algún otro monómero -- etilénico, ésta mezcla se agregará lentamente sobre una solución que contiene un sistema de catalizadores tipo redox. Al hacer ésto, se llevará a cabo el proceso de polimerización y el polímero resultante que es insoluble en agua, se precipitará formando un lodo. Dicho polímero precipitado se filtra, se lava y se seca. De aquí pasa a un tanque en el cual se disuelve en la DMF, formándose una solución

viscosa, esto se filtrará nuevamente y será forzada a través de una hilera, para formar los filamentos.

A partir de la extrusión de la fibra desde el orificio de la hilera, el solvente es separado de la masa plástica, dando lugar a la regeneración de la fibra acrílica en forma de filamentos.

El solvente se separa por medio del paso a contracorriente de gases calientes, los cuales pueden ser aire, nitrógeno ó gases de combustión, que salen del área de extrusión a temperaturas extremadamente elevadas. Al salir la fibra, ésta sigue su proceso de estirado, cortado, embalado, etc. Los gases pasan directamente a la planta de recuperación de solventes.

En dicha planta, los gases pasan primeramente por una serie de condensadores en los cuales se separa por medio de enfriamiento la mayor parte de la DMF, saliendo los gases agotados hacia un último sistema de recuperación de DMF, con una temperatura de 30°C y con una concentración de dimetilformamida de aproximadamente 2.17% en peso. Estos gases pasarán a la sección de agotamiento donde se tiene una Torre

Acrlonitrilo

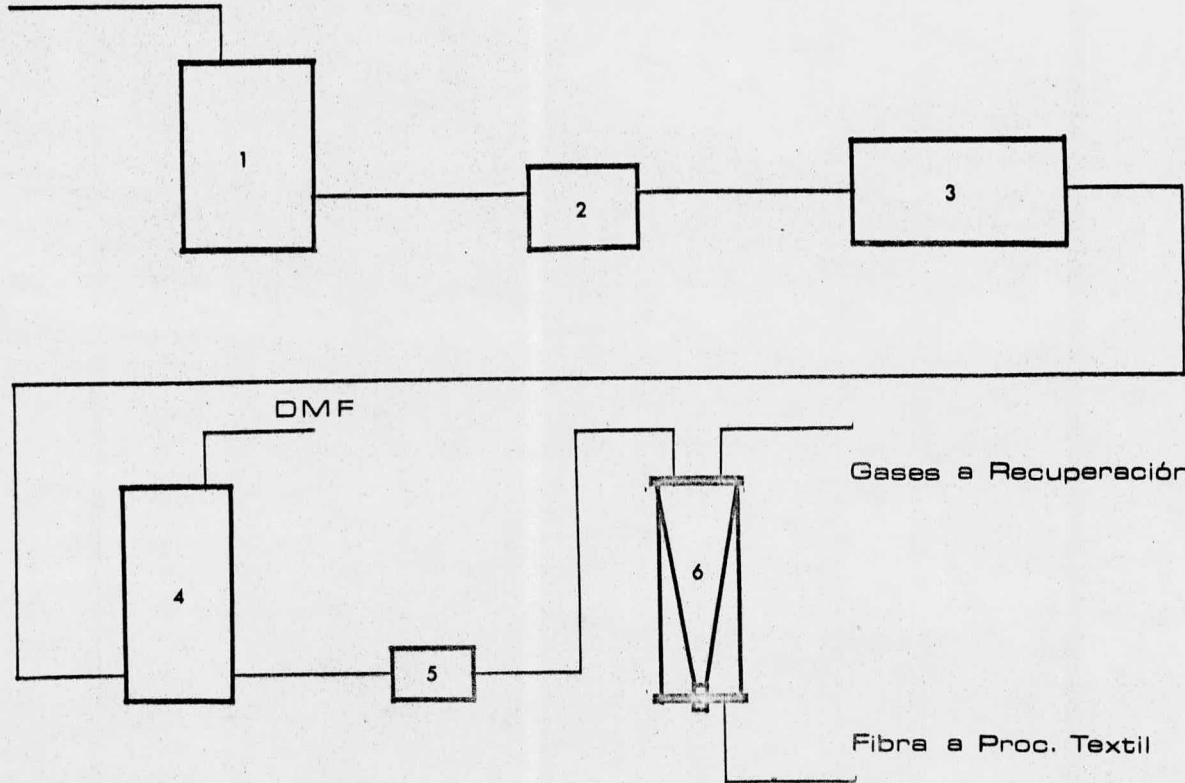


DIAGRAMA DE FLUJO.- Proceso de Producción de la Fibra Acrílica.

- 1) Polimerización 2) Filtración 3) Secado 4) Disolución 5) Filtración
6) Extrusión.

Absorción en agua y posteriormente a una Torre de -
destilación para separar la DMF del agua, de manera
que el solvente pueda recircularse al proceso de fi
bras acrílicas. Siendo ésta última sección de la -
cual nos ocuparemos en el presente estudio, determi
nando si este sistema de recuperación es rentable ó
no.

Nuestro solvente a recuperar, la Dimetilformamida -
es de gran importancia en la actualidad, debido a -
sus excelentes propiedades, entre las cuales se pue
den citar: Su fuerza solvente, estabilidad térmica
y química, miscibilidad en agua, alta polaridad así
como una alta constante dieléctrica.

En lo referente a sus aplicaciones, citaremos algu
nas a continuación, dependiendo de su campo de ac -
ción en las diferentes industrias:

Química y Farmacéutica.

- Medio de Reacción.
- Solvente de Cristalización.
- Intermedio Químico.

Petróleo y Petroquímica.

- Como solvente específico en --
la separación de hidrocarburos.

Resinas y Polímeros.

- Solvente para Películas.
- Medio de Polimerización.
- Solvente de Limpieza y Removedor.

La DMF al no ser solvente local, es un producto de costo elevado (U. S. \$ 1.70 kg), que representará los problemas lógicos de la mayoría de los productos de importación.

Debido a los problemas de disponibilidad y altos costos que representa la DMF y por ser un producto de vital importancia, existen proyectos elaborados por importantes Empresas productoras de fibras sintéticas para la producción de éste solvente en México.

CAPITULO DOS.

TORRE DE ABSORCION.

- 1) Condiciones de Operación.
- 2) Datos de Diseño.
- 3) Balance de Calor.
- 4) Balance de Materia.
- 5) Diseño Hidráulico.
 - a) Cálculo Hidrodinámico de los Platos.
 - b) Cálculo de la Caída de Presión Total del -
Gas.
 - c) Cálculo de la Caída de Presión del Líqui -
do.
- 6) Cálculo de la Eficiencia.
 - a) Cálculo de la Eficiencia del Plato según -
el método del American Institute of Chemi-
cal Engineers.
 - b) Cálculo del Número de Platos Reales del --
Equipo.

- 7) Diseño Mecánico.
 - a) Datos para el Diseño Mecánico.
 - b) Esfuerzos en la Cubierta, debido a Cargas Muertas, Viento y Sismo.
- 8) Diseño del Faldón.
- 9) Anclaje.
- 10) Aro Base con Análisis Estático.
- 11) Cimentación.

TORRE DE ABSORCION

1) Condiciones de Operación

Como se expresa en el capítulo anterior, procedemos a la exposición de las condiciones de operación en forma-esquemática:

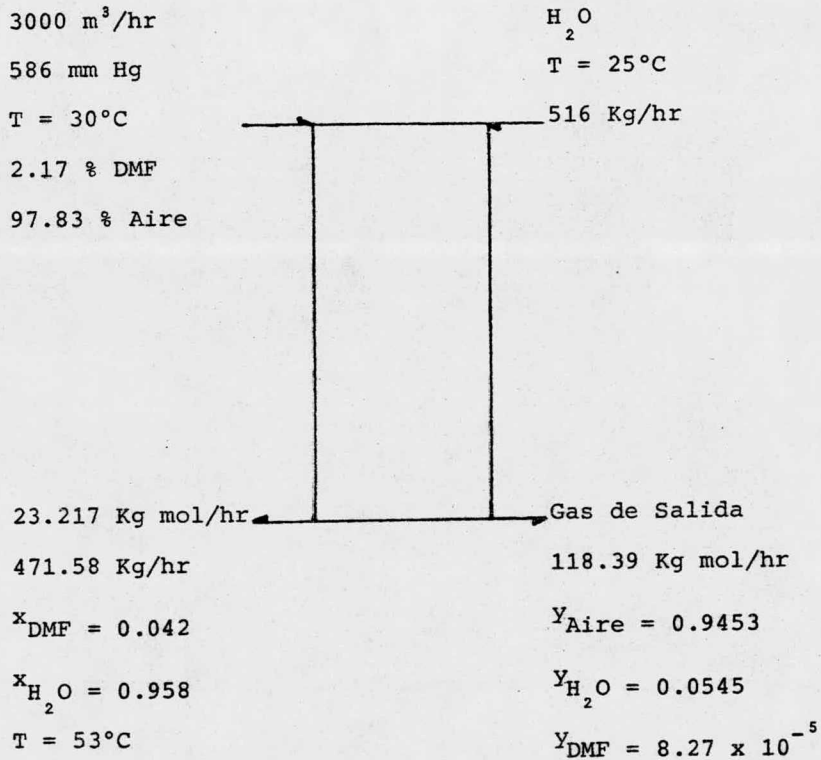


FIGURA No. I

TORRE DE ABSORCION

2) Datos de Diseño.

Densidad del aire a condiciones standard. (9).

$$1.2928 \text{ Kg/m}^3$$

Es necesario corregirla a las condiciones de operación del equipo. (586 mm Hg, 30°C).

$$1.2928 \times \frac{586}{760} \times \frac{(273 + 30)}{273} = 1.106 \text{ Kg/m}^3$$

Se calcula el gasto en masa de gas a la entrada a partir de el gasto en volúmen.

$$3000 \text{ m}^3/\text{hr} \times 1.106 \text{ Kg/m}^3 = 3318 \text{ Kg/hr}$$

A partir de los porcentos en peso se encuentra la cantidad de DMF a la entrada.

$$3318 \text{ Kg/hr} \times 0.0217 = 72 \text{ Kg/hr}$$

$$\frac{72 \text{ Kg/hr}}{73.09 \text{ Kg/Kg mol DMF}} = 0.985 \text{ Kg mol DMF/hr}$$

Cantidad de aire que entra junto con DMF.

$$3318 \text{ Kg/hr} \times 0.9783 = 3246 \text{ Kg/hr}$$

$$\frac{3246 \text{ Kg/hr}}{29 \text{ Kg/Kg mol aire}} = 111.93 \text{ Kg mol aire/hr}$$

Sumando ambas cantidades se obtiene la cantidad total molar a la entrada (A).

$$A = 111.93 \text{ Kg mol aire/hr} + 0.985 \text{ Kg mol DMF/hr}$$

$$A = 112.91 \text{ Kg mol/hr}$$

Considerando que no se presenta absorción del aire dentro de la Torre, la cantidad de aire a la salida de ésta será la misma que a la entrada.

$$3246 \text{ Kg/hr} = 111.93 \text{ Kg mol aire/hr}$$

Cantidad de vapor de agua a la salida de la Torre:

Suponemos que el gas que sale se encuentra saturado con vapor de agua.

$$\text{Presión de vapor de agua a } 30^{\circ}\text{C} = 32 \text{ mm Hg} \quad (9)$$

La humedad molar absoluta de saturación será: (2)

$$Y_s = \frac{P_a}{P_t} - P_a$$

$$Y_s = \frac{32}{586 - 32} = 0.0577 \text{ mol agua/mol aire}$$

Cantidad total molar de agua a la salida:

$$0.0577 \text{ mol agua/mol aire} (111.93 \text{ Kg mol aire}) = 6.46 \text{ Kg mol H}_2\text{O/hr}$$

Asumiendo que la cantidad de DMF en la corriente de salida es despreciable, el gasto total molar de gas a la salida es únicamente aire + vapor de agua.

$$111.93 \text{ Kg mol aire/hr} + 6.46 \text{ Kg mol H}_2\text{O/hr} = \\ 118.39 \text{ Kg mol/hr}$$

Con objeto de poder utilizar un flujo de gas para -
cálculos posteriores se toma un promedio entre el --
flujo de gas a la entrada y a la salida.

$$111.93 + 118.39 = 115.16 \text{ Kg mol/hr}$$

3) Balance de Calor.

Se tomará para los cálculos una temperatura de referencia de 30°C.

Tabla de calor de solución de DMF en agua (7)

<u>Fracción Mol de DMF</u>	<u>ΔH solución (BTU/lb)</u>
1.28×10^{-2}	89
2.67×10^{-2}	82.5
4.46×10^{-2}	75
5.82×10^{-2}	73.5

Utilizando la ecuación para balance de calor (2) tenemos:

$$H_L L - H_{L_2} L_2 = H_G G - H_{G_2} G_2 = G_S (H'_G - H'_{G_2})$$

Considerando que el gas de salida del equipo está libre de DMF y saturado con vapor de agua, su entalpia será únicamente el calor latente de vaporización del agua.

$$G_S (H'_G - H'_{G_2}) = G_S \Delta H_{vap.} (Y - Y_2)$$

Tomando en cuenta el balance de material para DMF - tenemos:

$$G_S (Y - Y_2) = L_S (X - X_2)$$

$$X_2 = 0$$

$$\therefore G_S (Y - Y_2) = L_S X$$

$$G_S (H'_G - H'_{G_2}) = L_S X (\Delta H_{vap})$$

Calor latente de vaporización de DMF a 30°C (7):

$$\Delta H_{vap} = 10,850 \text{ cal/g mol}$$

$$H_L L - H_{L_2} L_2 = (10,850 \text{ cal/g mol}) L_S X$$

El líquido a la entrada tiene una temperatura de - -
25°C y por lo tanto su entalpia será:

$$H_{L_2} = m' C_p (t_2 - t_0)$$

$$H_{L_2} = (18 \text{ g/g mol}) (1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}) (25^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$H_{L_2} = - 90 \text{ cal/g mol}$$

$$H_L L - (-90) L_2 = L_S X (10,850)$$

Si suponemos que le flujo de líquido a través de to -
da la Torre es constante, tendremos:

$$L_2 = L_S$$

$$H_L L = (-90 L_S) + (10,850) L_S X$$

$$H_L L = (-90 + 10,850 X) L_S$$

$$H_L \frac{L}{L_S} = (-90 + 10,850 X)$$

Utilizando la ecuación anterior, sustituyendo diferentes valores para χ (relación mol DMF - agua), obtendremos la entalpia del líquido a diferentes niveles de la Torre, con el objeto de construir una curva adiabática de equilibrio DMF - agua.

Suponiendo $\chi = 0.01$ mol DMF/mol H_2O

$$L/L_s = 1.01$$

Fracción mol de DMF $X = 0.01$

Utilizando la tabla anterior de calor de solución y por extrapolación se obtiene el calor de solución de DMF en agua a una fracción mol de 0.01

Calor de Solución = 90.3 BTU/lb = 3665.71 cal/g mol

Cambio de entalpia en la solución por la absorción de DMF:

$$\Delta H_s = \frac{- 3665.71 \times (0.01)}{1 + 0.01}$$

$$\Delta H_s = - 36.29 \text{ cal/g mol de solución}$$

Para obtener los gramos mol de solución, es necesario obtener el peso molecular promedio de la mezcla:

$$\bar{M} = \frac{0.01 (73.09) + 1 (18)}{1.01} = 18.54 \text{ g/g mol}$$

Suponiendo que la capacidad calorífica sea la del - -
agua:

$$C_L = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Utilizando la ecuación para la entalpia molar de una-
solución (2).

$$H_L = C_L (t_L - t_0) \bar{M} + \Delta H_S$$

$$H_L = \{ 1 (t_L - 30) 18.54 - 36.29 \}$$

Por otro lado tenemos:

$$H_L L/L_S = (-90 + 10,850 X) \text{ y } L/L_S = 1.01$$

$$\therefore \{ 1 (t_L - 30) 18.54 - 36.29 \} 1.01 =$$

$$-90 + 10.850 (0.01)$$

A partir de la ecuación anterior se obtiene la tem-
peratura del líquido:

$$t_L = 32.95^\circ\text{C}$$

Y tomando en cuenta la línea de equilibrio vapor DMF
en agua a partir de las gráficas de presión de vapor
de DMF y agua (8), obtendremos con $X = 0.01$ y - - -
 $t = 32.95^\circ\text{C}$.

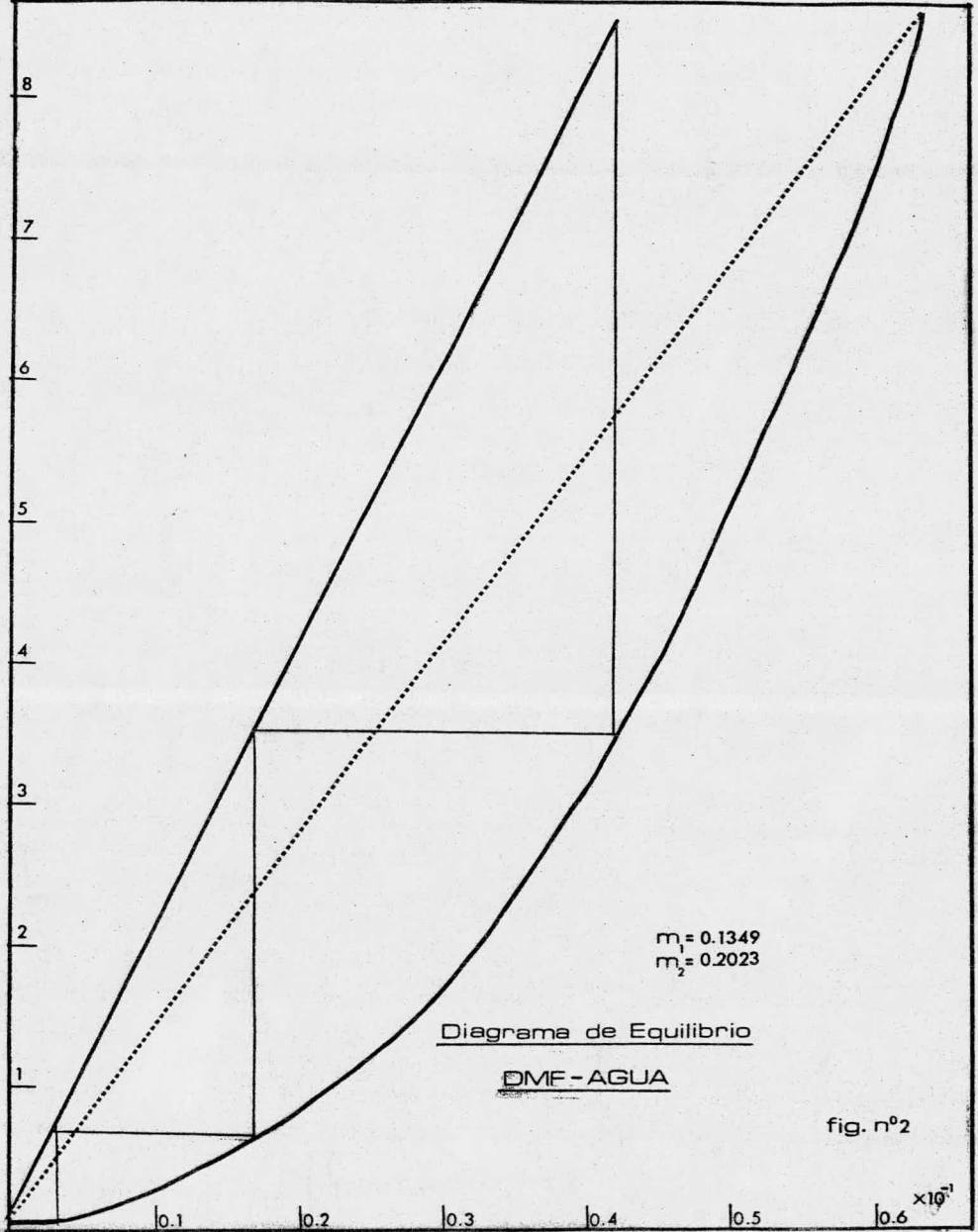
$$y = 0.000296$$

Suponiendo diferentes valores para la relación mol DMF-agua se obtendrán los valores correspondientes de la concentración en el vapor, con lo cual se formará la curva de equilibrio adiabática; A continuación se presentan en forma de tabla los resultados de este cálculo:

χ	L/L_s	X	H_s	ΔH_s	\bar{M}	C_L	t_L	$yx10^4$
0.015	1.015	0.0150	3568.97	- 52.74	18.81	1	36.61	5.34
0.020	1.020	0.0200	3471.11	- 68.11	19.00	1	40.13	8.49
0.025	1.025	0.0244	3379.25	- 82.42	19.34	1	43.41	12.50
0.030	1.030	0.0291	3300.97	- 96.14	19.60	1	46.58	17.50
0.035	1.035	0.0338	3212.00	-108.61	19.86	1	49.57	23.80
0.040	1.040	0.0385	3123.87	-120.14	20.11	1	52.44	31.40
0.050	1.050	0.0476	2950.14	-140.48	20.62	1	57.71	51.10
0.055	1.055	0.0520	2864.51	-149.33	20.87	1	60.19	63.60
0.060	1.060	0.0560	2779.68	-157.34	21.11	1	62.54	78.00
0.065	1.065	0.0610	2695.66	-164.52	21.36	1	64.77	94.50
0.070	1.070	0.0654	2612.42	-170.90	21.60	1	66.88	113.00
0.075	1.075	0.0697	2529.95	-176.50	21.84	1	68.93	134.00

En base a los resultados anteriores se construye la gráfica de equilibrio adiabática, figura N° 2

$\times 10^{-1}$



4) Balance de Material

A partir de la línea de equilibrio y con los puntos de concentración de DMF a la entrada y el requerido por la recuperación se encuentra la pendiente correspondiente a la cantidad mínima de líquido.

Composición de los gases de entrada:

2.17% DMF

97.83% Aire

$$X_{\text{DMF}} = 0.0086$$

$$X_{\text{aire}} = 0.9913$$

Utilizando un 99% de recuperación tendremos a la salida 0.0098 Kg mol/hr de DMF y la composición de los gases de salida será:

$$X_{\text{DMF}} = 8.27 \times 10^{-5}$$

$$X_{\text{vap H}_2\text{O}} = 0.0545$$

$$X_{\text{aire}} = 0.9453$$

A partir de estos datos se obtiene la pendiente de la línea de operación a condiciones de líquido mínimo.

$$m_1 = 0.1349$$

Para efectos de cálculo consideraremos la pendiente - de la línea de operación como 1.5 veces la pendiente - a líquido mínimo (condiciones ideales) (6) .

$$m_2 = 1.5 m_1 = 0.2023$$

A partir de la gráfica y con la pendiente 2 se obtiene la fracción mol de DMF en el líquido a la salida - del equipo.

$$X_{\text{salida}} = 0.042$$

La cantidad de DMF recuperada será:

$$\text{DMF}_{\text{recuperada}} = 0.984 \text{ Kg mol/hr} = 71.92 \text{ Kg/hr}$$

El número total de moles a la salida del equipo es:

$$\frac{0.984}{0.042} = 23.217 \text{ Kg mol/hr}$$

Cantidad de agua a la salida de fondos es igual a;

Moles Totales - Moles DMF

$$23.217 - 0.984 = 22.24 \text{ Kg mol/hr} = 400 \text{ Kg/hr}$$

La cantidad de agua a la entrada es:

Agua en fondos + Vapor de agua en domo

$$22.24 + 6.46 = 28.7 \text{ Kg mol/hr} = 516.6 \text{ Kg/hr}$$

A partir de la gráfica de la figura N° 2 se obtiene el número de platos teóricos del equipo.

$$\text{N}^\circ \text{ de Platos Teóricos} = 3$$

5) Diseño Hidráulico.

a) Cálculo Hidrodinámico de los Platos. (6)

Gastos dentro de la Torre:

Gasto de gas = $3,000 \text{ m}^3/\text{hr}$ con densidad de $\rho_G =$

$$1.1428 \text{ Kg/m}^3$$

Gasto de líquido = $0.458 \text{ m}^3/\text{hr}$ con densidad de $\rho_L =$

$$1,000 \text{ Kg/m}^3$$

Para efectos de cálculo se considera una sobrecarga en estos gastos de 30%.

$$\begin{aligned} V_G &= 3,900 \text{ m}^3/\text{hr} & V_L &= 0.595 \text{ m}^3/\text{hr} \\ &= 1.083 \text{ m}^3/\text{seg} & &= 1.65 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg} \end{aligned}$$

Cálculo del diámetro de la Torre:

Suponemos que el diámetro es mayor de 1,500 mm.

Los valores para espaciamiento entre platos (h) y sello líquido (h_{ts}) son: (6)

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$h_{ts} = 25 \text{ mm}$$

La constante para calcular la velocidad de ascención del agua a través de las capuchas: (6)

$$C_1 = 0.052$$

Velocidad de ascención del gas a través de las capuchas:

$$W_{g_0} = C_1 \sqrt{\rho_L - \rho_G \div \rho_G}$$

$$W_{g_0} = 0.052 \sqrt{1,000 - 1.1428 \div 1.1428}$$

$$W_{g_0} = 1.537 \text{ m/seg}$$

Sección transversal de la columna:

$$S' = V_G \div W_{g_0}$$

$$S' = \frac{1.083 \text{ m}^3/\text{seg}}{1.537 \text{ m/seg}} = 0.7046 \text{ m}^2$$

Diámetro de la columna:

$$D = \sqrt{4s \div \pi}$$

$$D = \sqrt{\{ 4 (0.7046) \} \div \pi}$$

$$D = 0.947 \text{ m}$$

Como el diámetro obtenido no está de acuerdo a la suposición inicial de que el diámetro es mayor de --

1,500 mm, es necesario repetir el cálculo pero suponiendo el diámetro menor de 1,500 mm.

$$\text{Espaciamiento entre platos} = h = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Sello líquido} = h_{ts} = 25 \text{ mm}$$

Constante de Ascensión del gas:

$$C_2 = 0.037$$

Velocidad de ascensión del gas a través de las capuchas:

$$W_{g_0} = C_2 \sqrt{\rho_L - \rho_G \div \rho_G}$$

$$W_{g_0} = 0.037 \sqrt{1,000 - 1.1428 \div 1.1428}$$

$$W_{g_0} = 1.093 \text{ m/seg}$$

Sección de la columna:

$$S' = \frac{V_G}{W_{g_0}} = \frac{1.083 \text{ m}^3/\text{seg}}{1.093 \text{ m/seg}} = 0.99 \text{ m}^2$$

Diámetro de la columna:

$$D = 1.122 \text{ m}$$

Este resultado si está de acuerdo con la suposición inicial.

Con el objeto de utilizar un plato de tamaño standard-
se usará un plato de 1,524 mm de diámetro (5 ft), con-
capuchas de diámetro exterior de 100 mm = 4". (1)

Fig. N° 3

Características de las capuchas de burbujeo:

Fig. N° 4

Diámetro externo (ϕ)	100	mm
Altura muerta (h_{sr})	5	mm
Perímetro ($\phi \pi$)	314	mm
Número de ranuras/capucha (n')	32	
Ancho de la ranura (b_s)	5	mm
Espaciamiento entre ranuras (b_{st})	4.81	mm
Pitch entre ranuras (τ)	9.81	mm
Espesor de lámina (s)	2	mm
Altura de las ranuras (H_s)	30	mm
Forma de las ranuras	Rectangular	
Area total de ranura/capucha (S'_c)	46.3	cm ²

Distribución de las capuchas sobre el plato:

Número de capuchas/plato:	79
Distribución:	Triangular
Espaciamiento entre capuchas:	31.75 mm = 1 $\frac{1}{4}$ "
Número de orificios de drenaje:	4

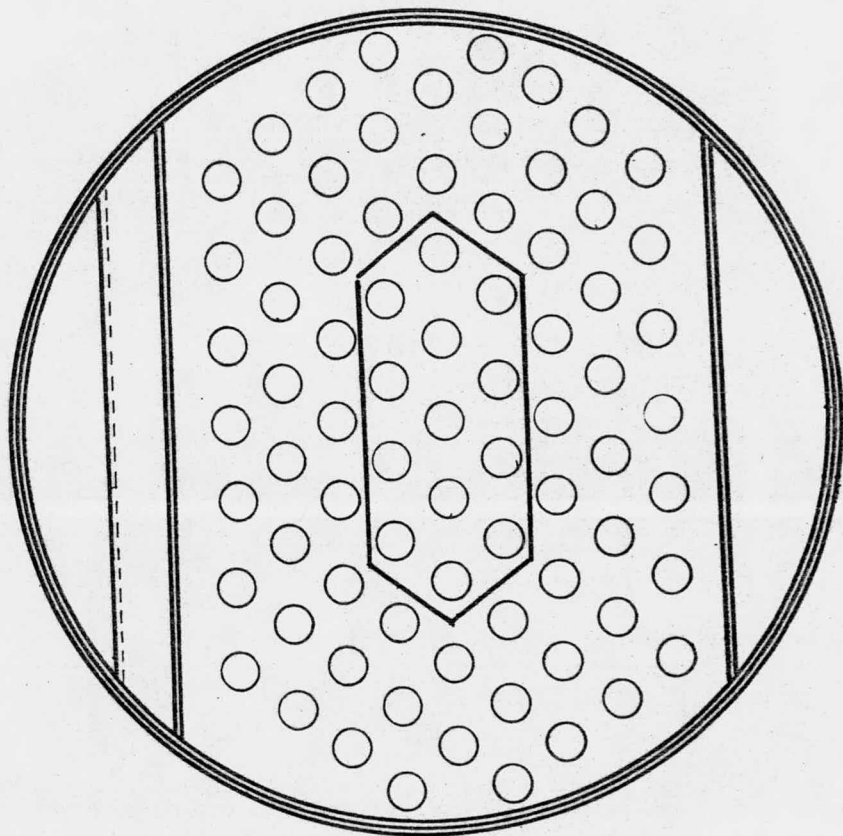
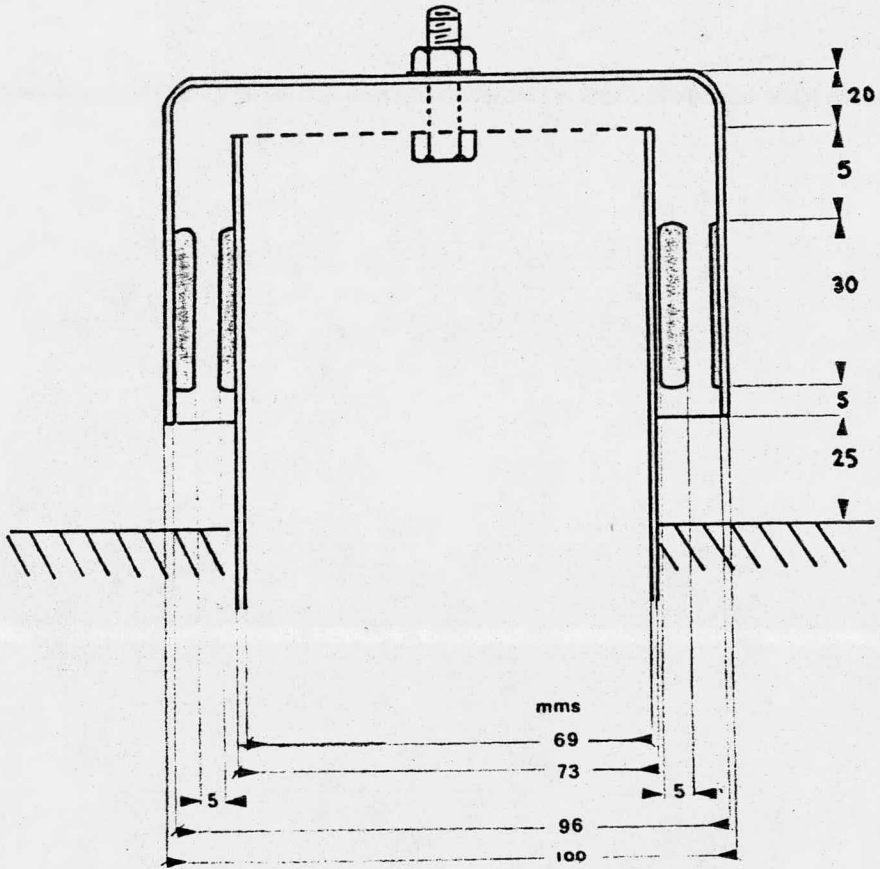


FIGURA No. 3

PLATO ESTANDAR DE 5 ft DE DIAMETRO CON CAPUCHAS DE 100 mm. (4")

CAPUCHA_{IP}



vista lateral

FIGURA No. 4

Altura del líquido promedio sobre el plato (h_m).

$$h_m = h_{ts} + h_{sc} + h_{sr} + H_s$$

$$\text{donde; } h_{sc} = h_{ts} = 25 \text{ mm}$$

$$h_m = 25 \text{ mm} + 25 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + 30 \text{ mm}$$

$$h_m = 85 \text{ mm}$$

b) Cálculo de la Caída de Presión Total del Gas.

$$S_s = \text{Area total de ranuras/plato}$$

$$S_s = 79 (46.3 \text{ cm}^2) = 3657.7 \text{ cm}^2 = 0.3657 \text{ m}^2$$

Caída de presión por la abertura de las ranuras (h_s)

$$h_s = 7.55 \left(\rho_G / \rho_L - \rho_G \right)^{\frac{1}{3}} H_s^{\frac{2}{3}} \left(V_G / S_s \right)^{\frac{2}{3}} =$$

$$7.55 \left(1.1428 / 1000 - 1.1428 \right)^{\frac{1}{3}} 30^{\frac{2}{3}} \left(1.083 / 0.3657 \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$h_s = 15.72 \text{ mm}$$

Altura del líquido sobre el vertedero (h_{ow}).

$$\text{Longitud del vertedero } (L_w) = 1,017 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0.266 V_L / L_w = 0.266 (0.458 \text{ m}^3 / \text{seg}) / (1.017 \text{ m})$$

$$\alpha = 0.119$$

$$L_w / D = 0.667$$

Con el valor de α y L_w/D obtenemos el factor de corrección para la constricción del vertedero, (E').

$$E' = f \left(V_L / L_w^{2.5} ; L_w / D \right)$$

$$\therefore E' = 1.01$$

$$h_{ow} = 2.84 E' \left(V_L / L_w \right)^{0.67}$$

$$h_{ow} = (2.84) (1.01) (0.46)^{0.67}$$

$$h_{ow} = 1.7 \text{ mm}$$

Ancho promedio del plato, (B_m).

$$B_m \frac{A_1}{L'} = \frac{\text{Area entre vertederos}}{\text{Distancia entre vertederos}} = 1.356 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 1.34 V_L / B_m$$

$$\alpha_1 = 1.34 (0.458 \text{ m}^3/\text{seg} \div 1.356 \text{ m}) = 0.452$$

$$0.82 w_{go} \sqrt{\rho_G} = 0.958$$

Con α_1 y $0.82 w_{go} \sqrt{\rho_G}$ obtenemos el factor de corrección para la carga del gas, (C_g) y el gradiente del líquido por hilera de capuchas, (Δ').

$$C_g = f \left(w_{go}, \rho_G ; V_L, B_m \right)$$

$$\therefore C_g = 0.8$$

$$\Psi = f (h_m ; V_L, B_m ; h_{SC})$$

$$\therefore \Psi = 4\Delta' = 2$$

$$\Rightarrow \Delta' = 0.5$$

$$\Delta = C_g \Delta' \mu'$$

Siendo μ' el número de filas de la capucha = 9.

$$\Delta = (0.8) (0.5) (9)$$

$$\Delta = 3.6 \text{ mm}$$

Chequeo de estabilidad del plato:

Area total de elevadores por plato (S_r).

$$S_{rj} = \text{Area del elevador} = 35.04 \text{ cm}^2$$

$$S_r = (35.04 \text{ cm}^2) (79) = 2768.82 \text{ cm}^2$$

Area anular entre elevador y capucha (S_{aj}).

$$S_{aj} = 41.03 \text{ cm}^2$$

$$S_{aj}/S_{rj} = 1.170$$

Con los datos anteriores se obtiene el coeficiente de ranura (K).

$$K = 0.53$$

Caída de presión por la fricción en las ranuras (h_{fv})

$$h_{fv} = 274 K (\rho_G / \rho_L - \rho_G) (V_G / S_r)^2$$

$$h_{fv} = 274 (0.53) (1.1428/1000 - 1.1428) (1.083/0.2768)^2.$$

$$h_{fv} = 2.54 \text{ mm}$$

Siendo la condición para estabilidad del plato;

$$\Delta \leq 0.5 (h_{fv} + h_s)$$

$$\Delta \leq 0.5 (2.54 + 15.72)$$

$$3.6 \leq 9.13$$

La condición para estabilidad del plato se cumple, lo cual nos indica que nuestro cálculo es correcto.

Cálculo de la altura del vertedero (h_w).

$$h_w = h_m - h_{ow} - \frac{1}{2}\Delta$$

$$h_w = 85 - 1.70 - 1.8 = 81.5 \text{ mm}$$

Caída de presión total del gas (h_t).

$$h_t = h_{fv} + h_s + h_{ss} + h_{ow} + \frac{1}{2}\Delta$$

$$h_{ss} = h_w - (h_{sc} + h_{sr} + H_s)$$

$$h_{ss} = 81.50 - (25 + 5 + 30)$$

$$h_{ss} = 21.5 \text{ mm}$$

$$\therefore h_t = 2.54 + 15.72 + 21.5 + 1.70 + 1.8$$

$$h_t = 43.26 \text{ mm}$$

c) Cálculo de la Caída de Presión del Líquido.

Distancia baffle vertedero (1) = 110 cm.

Inmersión del vertedero (t_s) = 12.5 mm.

Distancia entre la parte baja del baffle y el piso del plato (D_{BP}).

$$D_{BP} = h_w - t_s$$

$$D_{BP} = 81.5 - 12.5$$

$$D_{BP} = 69 \text{ mm}$$

Area transversal de flujo en el plato (S_d).

$$S_d = D_{BP} L_w = (69) (1,017.5)$$

$$S_d = 70,207 \text{ mm}^2 = 0.070 \text{ m}^2$$

Caída de presión entre el baffle y el plato (h_d).

$$h_d = 0.128 (V_L/S_d)^2$$

$$h_d = 0.128 (0.468/0.070)^2 = 5.72 \text{ mm}$$

Altura de la columna de líquido en la bajante (H_d).

$$H_d = h_w + h_{ow} + \Delta + h_d + h_t$$

$$H_d = 81.5 + 1.7 + 3.6 + 5.72 + 43.26$$

$$H_d = 135.78 \text{ mm}$$

Caída de presión por la caída libre del líquido (h_o).

$$h_o = h + h_w - H_d$$

$$h_o = 400 + 81.5 - 135.78$$

$$h_o = 345.72 \text{ mm}$$

Factor de humedecimiento del plato inferior (t_*).

$$t_* = 0.8 \sqrt{h_{ow} h_o}$$

$$t_* = 0.8 \sqrt{(1.7) (345.72)}$$

$$t_* = 19.39$$

Ancho de la bajante = 190.5 mm

$$t_* / \text{Ancho de la bajante} = 0.101$$

t_* debe ser menor del 60% del ancho de la bajante, --
por lo consiguiente el resultado es válido.

6) Cálculo de la Eficiencia.

a) Cálculo de la eficiencia de plato según el método del -
American Institute of Chemical Engineers. (5)

I.- Cargas totales de gas y líquido dentro de la -- -
Torre:

$$G = 3,000 \text{ m}^3/\text{hr} = 29.43 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

$$L = 458 \text{ Kg/hr} = 2.018 \text{ GPM}$$

II.- Velocidad del vapor basada en el área de burbujeo

$$U_{va} = G / A_A$$

$$U_{va} = \frac{29.43 \text{ ft}^3/\text{seg}}{3.93 \text{ ft}^2} = 7.49 \text{ ft/seg}$$

III.- Calcular el factor F_{va}

$$F_{va} = U_{va} (\rho_G)^{0.5}$$

$$F_{va} = 7.49 \text{ ft/seg} (0.071 \text{ lb/ft}^3)^{0.5}$$

$$F_{va} = 1.995$$

IV.- Calcular el flujo de líquido por pie de ancho pro
medio de flujo = L/W_A

$$\text{Sí; } W_A = 4.45 \text{ ft}$$

$$\therefore L/W_A = \frac{2.018 \text{ GPM}}{4.45 \text{ ft}}$$

$$L/W_A = 0.453$$

V.- Calcular el factor de absorción λ

$$\lambda = m \frac{G_m}{L_m}$$

m = Pendiente de la línea de equilibrio DMF-agua.
Se utiliza para este cálculo una pendiente aproximada, como se indica en la figura N°

$$m = 0.085$$

G_m = Flujo molar de aire por pie cuadrado de área de la Torre.

$$G_m = \frac{G}{M_G} \frac{\rho_G}{A_T} = \frac{(29.43 \text{ ft}^3/\text{seg}) (0.071 \text{ lb}/\text{ft}^3)}{(29 \text{ lb}/\text{lb mol}) (19.63 \text{ ft}^2)}$$

$$G_m = 0.0036 \text{ lb mol}/\text{ft}^2 \text{ seg}$$

L_m = Flujo molar de agua por pie cuadrado de área de la Torre.

$$L_m = \frac{L}{M_L} \frac{\rho_L}{A_T} = \frac{(4.49 \times 10^{-3} \text{ ft}^3/\text{seg}) (62.3 \text{ lb}/\text{ft}^3)}{(18 \text{ lb}/\text{lb mol}) (19.63 \text{ ft}^2)}$$

$$L_m = 7.91 \times 10^{-4} \text{ lb mol}/\text{ft}^2 \text{ seg}$$

$$\lambda = 0.085 \frac{0.0036}{7.91 \times 10^{-4}}$$

$$\lambda = 0.386$$

VI.- Cálculo de la altura de espuma en pulgadas (h_f)

$$h_f = 2.53 F_{VA}^2 + 1.89 h_w - 1.6$$

$$h_f = 2.53 (1.995)^2 + 1.89 (3.20) - 1.6$$

$$h_f = 14.52 \text{ in}$$

VII.- Altura libre del líquido (h_c).

$$h_c = \frac{103 + 11.8 h_w - 40.5 F_{va} + 1.25 L/W_A}{\rho_L}$$

$$h_c = \frac{103 + 11.8 (3.2) - 40.5 (1.995) + 1.25 (0.453)}{62.3}$$

$$h_c = 0.972 \text{ in}$$

VIII.- Tiempo de contacto de líquido en segundos:

$$\theta_L = \frac{37.4 h_c A_A}{L}$$

$$\theta_L = \frac{37.4 (0.972) (3.93)}{2.018} = 70.79 \text{ seg}$$

IX.- Número de unidades de transferencia en fase líquida.

$$N_L = 103 D_L^{0.5} (0.26 F_{va} + 0.15) \theta_L$$

Cálculo de la difusividad en fase líquida (D_L^*) - por medio de la ecuación empírica desarrollada por D. F. Othmar. (6)

$$D_L^* = \frac{14}{\eta_{\text{agua}}^{1.1} (r_{\text{DMF}}/r_{\text{agua}})^{0.6} \nu_{\text{DMF}}^{0.6} \eta_{\text{DMF}}} \times 10^{-5}$$

donde:

$$\eta_{\text{agua}} = 0.657 \text{ cp} \quad (10)$$

$$\eta_{\text{DMF}} = 0.856 \text{ cp} \quad (7)$$

$$v_{\text{DMF}} = 94.30 \text{ cm}^3/\text{g mol} \quad (2)$$

$$r_{\text{DMF}} = 10,410 \text{ cal/g mol} \quad (7)$$

$$r_{\text{agua}} = 9,717 \text{ cal/g mol} \quad (11)$$

Substituyendo los valores anteriores:

$$D_L^* = 14 / \{ (0.657)^{1.1} (10,410/9,717) \times (94.30)^{0.6} (0.856) \} \times 10^{-5}$$

$$D_L^* = 1.824 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$D_L^* = 7.092 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{hr}$$

$$\therefore N_L = 103 (7.092 \times 10^{-5})^{0.5} \times \{ 0.26 (1.995) + 0.15 \} 70.79$$

$$N_L = 41.06$$

X.- Número de unidades de Transferencia en Fase gas:

$$N_G = (\rho_G D_V^* / \eta_V)^{0.5} \times$$

$$(0.776 + 0.116 h_w - 0.29 F_{va} + 0.217 L/W_A + 0.2\Delta)$$

Cálculo de la difusividad en fase gas por medio de la modificación de la ecuación de Hirschfelder- -- Bird-Spotz. (2)

$$D_V^* = \left\{ (0.00107 - 0.000246 \sqrt{1/M_A + 1/M_B}) T^{\frac{3}{2}} \times \right. \\ \left. \sqrt{1/M_A + 1/M_B} \right\} / P_t (r_{AB})^2 \{f(KT/\epsilon_{AB})\}$$

$$M_A = 73.09$$

$$M_B = 29$$

Para el cálculo del radio molecular de colisión se utiliza el método presentado por Treybal (2)

$$r_B = 3.617 \text{ \AA}$$

$$r_A = 1.18 v^{\frac{1}{3}}$$

A partir de la tabla 2.3 de Treybal, se obtiene el volúmen molecular de la DMF

$$v_{DMF} = 94.30 \text{ cm}^3/\text{g mol}$$

$$r_A = 1.18 (94.30)^{\frac{1}{3}}$$

$$r_A = 4.97 \text{ \AA}$$

$$r_{AB} = (r_A + r_B) / 2 = (3.617 + 4.97) / 2$$

$$r_{AB} = 4.294 \text{ \AA}$$

Cálculo de la función de colisión $f(KT/\epsilon_{AB})$ (2).

$$(\epsilon/k)_{\text{aire}} = 97.0^\circ \text{ K} \quad (2)$$

$$(\epsilon/k)_{DMF} = 1.21 T_b$$

T_b = Temperatura normal de ebullición de DMF =
426.15° K.

$$(\epsilon/k)_{DMF} = 1.21 (426.15)$$

$$(\epsilon/k)_{DMF} = 515.64^\circ \text{ K.}$$

$$(\epsilon_{AB}/k) = \sqrt{\epsilon_A/k \epsilon_B/k} = \sqrt{(515.64)(97)}$$

$$\epsilon_{AB}/k = 223.64^\circ \text{ K}$$

$$\frac{kT}{\epsilon_{AB}} = \frac{303.15^\circ \text{ K}}{223.64^\circ \text{ K}} = 1.36$$

$$f(kT/\epsilon_{AB}) = 0.64$$

$$D_V^* = \left\{ (0.00107 - 0.000246 \sqrt{1/73.09 + 1/29}) \times (303.15)^{\frac{3}{2}} \sqrt{1/73.09 + 1/29} \right\} / 0.77 (4.294)^{2.64}$$

$$D_V^* = 0.129 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$D_V^* = 0.129 \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}} \times \frac{0.00108 \text{ ft}^2}{1 \text{ cm}^2} \times \frac{3,600 \text{ seg}}{1 \text{ hr}}$$

$$D_V^* = 0.5 \text{ ft}^2/\text{hr}$$

Viscosidad del aire = 0.018 cp = 0.0432 lb ft/hr (9).

$$\rho_G = 0.071 \text{ lb/ft}^3$$

$$N_G = \{0.071(0.5)/0.0432\}^{0.5} \{0.776 + 0.116(3.2) - 0.29(1.995) + 0.217(0.453) + 0.2(0.1417)\}$$

$$N_G = 0.906 (0.695)$$

$$N_G = 0.63$$

XI.- Eficiencia total en fase gas.

$$-\log (1 - E_{OG}) = 0.434 \frac{N_L N_G}{N_L + \lambda N_G}$$

$$-\log (1 - E_{OG}) = 0.434 \{ (41.06) (0.63) \div (41.06) + (0.386) (0.63) \}$$

$$\log (1 - E_{OG}) = 0.272$$

$$1 - E_{OG} = 0.535$$

$$* E_{OG} = 0.465$$

XII.- Porcentaje de la resistencia en fase líquida.

$$\% r_L = \frac{\lambda N_G (100)}{N_L + \lambda N_G}$$

$$\% r_L = \frac{(0.386) (0.63) (100)}{(41.06) + (0.386) (0.63)}$$

$$\% r_L = 0.5888$$

XIII.- Coeficiente de difusividad de Eddy.

$$D_e = \{1 + 0.044 (\phi - 3)\}^2 (0.0124 + 0.0150 \times h_w + 0.017 U_{va} + 0.00250 L/W_A)^2$$

$$D_e = \{1 + 0.044 (3.93 - 3)\}^2 \{0.0124 + 0.015 \times (3.2) + 0.017 (7.49) + 0.0025 (0.453)\}^2$$

$$D_e = 0.038 \text{ ft}^2/\text{seg.}$$

XIV.- Número de Peclet.

$$L' = \text{Distancia entre Vertederos} = 358 \text{ ft.}$$

$$P_e = \frac{L'^2}{D_e \phi_L}$$

$$P_e = \frac{(3.58)^2}{0.038 (70.79)}$$

$$P_e = 4.76$$

XV.- Eficiencia de Murphree en relación con la eficiencia total en fase gas con la función λE_{OG} y el número de Peclet se obtiene el valor de la relación E_{mv}/E_{OG} .

$$\lambda E_{OG} = (0.386) (0.465)$$

$$\lambda E_{OG} = 0.179$$

$$\therefore E_{MV}/E_{OG} = 1.2$$

XVI.- Eficiencia de Murphree.

$$E_{MV} = 1.2 E_{OG} = (1.2) (0.465)$$

$$E_{MV} = 0.559$$

XVII.- Espaciamiento aparente entre platos:

$$h_a = h - h_f = 15.74 - 14.52$$

$$h_a = 1.22 \text{ in}$$

XVIII.- Usando el valor de U_{va}/h_a determinamos $e_w \sigma$ a partir de la gráfica de relación de entreninment. (5)

$$U_{va}/h_a = 7.49/1.22 = 6.1$$

$$\Rightarrow e_w \sigma = 15 \quad \text{sí; } \sigma = 72.75 \text{ dinas/cm}$$

$$\therefore e_w = 0.206$$

XIX.- Total de la fracción líquida de entrada:

$$r_e = \frac{449 e_w G \rho_G}{L \rho_L}$$

$$r_e = \frac{449 (0.206) (29.43) (0.071)}{(2.018) (62.3)}$$

$$r_e = 1.53$$

XX.- Eficiencia de plato humeda E_w y eficiencia total E_o .

$$E_w = \frac{E_{MV}}{1 + r_e E_{MV}} = \frac{0.559}{1 + 1.53 (0.559)}$$

$$E_w = 0.301$$

$$E_o = \frac{\text{Log} \{1 + E_w (\lambda - 1)\}}{\text{Log } \lambda}$$

$$E_o = \frac{\text{Log} \{1 + 0.301 (0.386 - 1)\}}{\text{Log} (0.386)} = \frac{\text{Log} (0.815)}{\text{Log} (0.386)}$$

$$E_o = 0.215$$

b).- Número de Platos Reales del Equipo.

$$N_R = \frac{\text{Platos Teóricos}}{\text{Eficiencia}}$$

$$N_R = \frac{3}{0.215}$$

$$N_R = 14$$

7) Diseño Mecánico.

a) Datos para el Diseño Mecánico.

Altura de la Torre (H_T) = 7.6 m = 24.94 ft.

Si se utiliza acero inoxidable 304, tenemos que:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{acero inoxidable 304}} &= \\ 0.29 \text{ lb/in}^3 &= 500.86 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned} \quad (9)$$

Tolerancia a la corrosión en 10 años (C).

$$C = 0.012 \text{ in} \quad (8)$$

En lo referente a la velocidad máxima del viento - registrada en la ciudad de México, a partir del - año de 1971, se obtuvo el siguiente dato:

$$\text{Velocidad máxima del viento} = 22.9 \text{ m/seg} \quad (12)$$

Por seguridad se tomará una velocidad máxima del viento (v_w) de :

$$v_w = 30 \text{ m/seg} = 67.07 \text{ mi/hr}$$

La presión ejercida por el viento, está relacionada con la velocidad del viento y se calcula por medio de la ecuación empírica desarrollada por la U. S. Bureau, en la cual se puede observar que:

$$1 \text{ mi/hr} \approx 0.31 \text{ lb/ft}^2 \quad (13)$$

∴ Presión ejercida por el viento = 20.79 lb/ft²

Cálculo de la presión interna debido a la columna de agua:

$$P_o = H_T \rho_{\text{agua}}$$

$$\text{donde; } \rho_{\text{agua}} = 1,000 \text{ Kg/m}^3 = 62.3 \text{ lb/ft}^3$$

$$P_o = (7.6) (1000) = 7,600 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_o = 9.93 \text{ lb/in}^2$$

Cálculo del espesor necesario de la cubierta considerando la presión interna:

$$\text{Presión de diseño (} P_D \text{)} = 20 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{Diámetro de la columna (} D \text{)} = 5 \text{ ft} = 1.52 \text{ m}$$

Esfuerzo admisible (S_A), usando acero inoxidable - 304 del código ASME = 17,000 lb/in² (9)

Eficiencia de la junta (E) a tope sin placa de refuerzo del código API - ASME = 0.7 (13)

A su vez el código API - ASME, proporciona la ecuación para el cálculo del espesor de la cubierta considerando la presión interna:

$$t = \frac{P_D D}{2 S_A E - P_o} + C \quad (13)$$

$$t = \frac{(20 \text{ lb/in}^2) (60 \text{ in})}{\{ (2) (17,000 \text{ lb/in}^2) (0.7) \} - 20 \text{ lb/in}^2} + 0.012$$

$$\therefore t = 0.062 \text{ in}$$

Siendo el espesor práctico más próximo = $\frac{1}{16}$ in.

- b) Esfuerzos en la Cubierta, debido a Cargas Muertas, Viento y Sismo.

Considerando primero los esfuerzos en la línea tangente, parte inferior del recipiente. Por lo tanto se calculará el peso estimado en operación sin incluir faldones.

Area Total de la Torre:

Sí;

$$r = 2.5 \text{ ft}$$

$$H_T = 24.98 \text{ ft}$$

$$H_* = 1 \text{ ft}$$

$$\text{Cilindro} = 2 \pi r H_T = a$$

$$2 \text{ Cabezales} = 2 \{ \pi (r^2 + H_*^2) \} = b$$

$$14 \text{ Platos} = 14 \frac{(\pi D^2)}{4} = c$$

$$a = 2 \pi (2.5) (24.98) = 392.38 \text{ ft}^2$$

$$b = 2 \{ \pi (2.5)^2 + (1)^2 \} = 45.55 \text{ ft}^2$$

$$c = 14 \frac{ (\pi \cdot 5^2) }{ 4 } = 274.89 \text{ ft}^2$$

$$\text{Area Total de la Torre } (A_{tT}) = a + b + c = 712.53 \text{ ft}^2$$

Peso de la Torre vacía - (W_{TV}).

La cantidad de acero inoxidable será igual a el área - total de la Torre por el espesor necesario:

$$\text{Cantidad de Acero} = 712.53 \text{ ft}^2 \times (0.062/12) \text{ ft}$$

$$\Rightarrow \text{Cantidad de Acero} = 3.681 \text{ ft}^3$$

$$W_{TV} = \text{Cantidad de Acero} \times \rho_{\text{Acero}}$$

$$W_{TV} = 3.681 \text{ ft}^3 \times 500.86 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_{TV} = 1,863.87 \text{ lb}$$

Peso del agua, lleno completo para prueba hidrostática - (W_{PH}).

$$\text{Volúmen del Cilindro} = \pi r^2 H_T = A'$$

$$\text{Volúmen de 2 Cabezales} = 2 \left\{ \frac{1}{2} \pi H_* (r^2 + \frac{H_*^2}{3}) \right\} = B'$$

$$A' = \pi (2.5)^2 (24.98) = 490.48 \text{ ft}^3$$

$$B' = 2 \left\{ \frac{1}{2} \pi (1) (2.5^2 + \frac{1}{3}) \right\} = 20.68 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volúmen total de la Torre } (V_{tT}) = A' + B' = 511.16 \text{ ft}^3$$

$$W_{PH} = V_{tT} \times \rho_{\text{agua}}$$

$$W_{PH} = 511.16 \times 62.3$$

$$\therefore W_{PH} = 31,845.34 \text{ lb}$$

Cálculo del peso total de la Torre (W_{tT})

$$W_{tT} = W_{TV} + W_{PH}$$

$$W_{tT} = 1,863.87 \text{ lb} + 31,845.34 \text{ lb}$$

$$W_{tT} = 33,709.21 \text{ lb}$$

A continuación consideraremos los esfuerzos producidos por las cargas del viento.

Espesor basado en los esfuerzos correspondientes al lado de barlovento. (13)

$$S = S_A E = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' t} - \frac{W_{tT}}{\pi D t} + \frac{P D}{4 t}$$

$$S = (17,000) (0.7) = 11,900 \text{ lb/in}^2$$

$$\therefore 11,900 = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' t} - \frac{W_{tT}}{\pi D t} + \frac{P D}{4 t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' (11,900)} - \frac{W_{tT}}{\pi D (11,900)} + \frac{P D}{4 (11,900)}$$

$$t = \frac{2(20.79) (27.56)^2}{\pi (60.5) (11,900)} - \frac{33,709.21}{\pi (60) (11,900)} + \frac{20(60)}{4(11,900)}$$

$$\therefore t = 0.110 \text{ in}$$

Espesor considerando los esfuerzos correspondientes -
al lado de sotavento. (13)

$$S = S_A E = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' t} + \frac{W_{tT}}{\pi D_m t} - \frac{P D_m}{4 t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' S} + \frac{W_{tT}}{\pi D_m S} - \frac{P D_m}{4 S}$$

Por simple inspección, éste no resulta ser el espesor crítico.

Considerando que las condiciones de viento y cargas muertas pueden ocasionar pandeo, se calculará el espesor basado en el pandeo, tomando en cuenta el peso total del agua como la condición más desfavorable, para esto Jorgensen desarrolló una ecuación para la obtención del esfuerzo admisible por pandeo. (13)

$$S_B = \{ 2 \times 10^6 (t^*/D) \} E_1$$

donde:

$$E_1 = \text{factor de seguridad} = 0.8 \quad (13)$$

$$t^* = t - t_{\text{corroído}} = 0.063 - 0.012$$

$$\therefore t^* = 0.051 \text{ in}$$

$$\Rightarrow S_B = 2 \times 10^6 (0.051/60) 0.8 = 1,360 \text{ lb/in}^2$$

El espesor por pandeo se calcula conforme a la siguiente ecuación: (11)

$$t = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' S_B} + \frac{W_{tT}}{\pi D_m S_B}$$

$$t = \frac{2 (20.79) (27.56)^2}{\pi (60.5) (1,360)} + \frac{33,709.21}{\pi (60.25) (1,360)}$$

$$\therefore t = 0.25 \text{ in}$$

Esfuerzos producidos por la acción del sismo.

$$t = C_s W_{tT} H_{tT}/D S_A E$$

Donde el coeficiente sísmico (C_s) dependerá del tipo de subestructura, la zona en donde se localizará y el tipo de suelo.

$$\Rightarrow C_s = 0.04 \quad (14)$$

$$\therefore t = \frac{0.04 (33,709.21) (27.56)}{(60) (17,000) (0.07)}$$

$$\therefore t = 0.50 \text{ in}$$

Todos los valores resultaron menores que el basado en el esfuerzo admisible por pandeo; por lo tanto, el valor del espesor necesario es el obtenido por medio -- del pandeo.

$$\therefore \text{Espesor práctico más próximo} = 1/4''$$

8) Diseño del Faldón

(14)

De acuerdo a las proporciones y peso de la Torre emplearemos para nuestro diseño, un faldón con sección circular, ya que presenta la ventaja de tener todo el metal a la máxima distancia del eje natural y por lo consiguiente, su módulo de sección es máximo, a su vez, éste tipo de sección es la más económica.

Dada la importancia de la junta soldada y desde el punto de vista de la resistencia, considerando la temperatura a que esta trabajando la Torre, usaremos el acero SA-283-C, ya que éste es más económico, presenta facilidades para ser maquinado, adoptar la forma de la sección circular y tiene una resistencia de 885 kg/cm, al faldón se le da una eficiencia en la junta soldada de 49% e incrementado por el factor 1,33 por efectos de sismo ó viento.

Debido a la forma del faldón, analizaremos dos secciones críticas, que son:

- a) Unión cascarón
- b) Sección más baja, o sea la línea de la base.

Cálculo del Espesor del Faldón.

Utilizando la fórmula de la Elipse.

$$Y = \frac{B}{H} (H^2 - Z^2)$$

$$B = D'/4 = 60.5 \text{ in}/4 = 15.13 \text{ in} = 38.42 \text{ cm}$$

$$H = D'/2 = 60.5 \text{ in}/2 = 30.25 \text{ in} = 76.84 \text{ cm}$$

$$Z = H - X_*$$

Suponemos que el valor de $X_* = \frac{1''}{4} = 0.64 \text{ cm}$.

$$\therefore Z = 76.84 - 0.64 = 76.20$$

$$\Rightarrow Y = \frac{38.42}{76.84} (76.84^2 - 76.20^2)$$

$$Y = 0.5 (97.95)$$

$$Y = 48.97 \text{ cm}$$

Espesor del Faldón en la junta Faldón - Cabezal.

$$\text{Esfuerzo Permisible } (S_A) = 885 \times 1.33 \times 0.49$$

$$\therefore S_A = 576.75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Diámetro Medio } (D_m) = D' - t_{\text{faldón}} = 153.67 - 0.64$$

$$\therefore D_m = 153.03 \text{ cm}$$

$$\text{Circunferencia Media } (C_m) = \pi D_m = \pi(153.03)$$

$$\therefore C_m = 480.76 \text{ cm}$$

$$\text{Area Media } (A_m) = \pi D_m^2/4 = \pi (153.03)^2/4$$

$$\therefore A_m = 18,392.60 \text{ cm}^2$$

Peso de operación en la línea tangencial (W_{LT}).

$$W_{LT} = 809.65 \text{ Kg} + 14,152.85 \text{ Kg}$$

$$\therefore W_{LT} = 14,962 \text{ Kg}$$

Fuerza Sísmica (F_s).

$$F_s = C_s W_{LT} = 0.04 \times 14,962$$

$$\therefore F_s = 598.50$$

Momento en la línea tangencial (M_{LT}).

$$M_{LT} = F_s H_{LT}$$

Donde la altura en la línea tangencial (H_{LT}) = 7.6 cm

$$\Rightarrow M_{LT} = 598.50 \times 7.6 = 4,548.60 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$\therefore M_{LT} = 454,859.86 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Los efectos producidos por la acción del sismo actúa - sobre la Torre y los momentos resultantes de dicha acción causarán efectos de compresión en una mitad del - faldon y de tensión en la otra mitad. Si a éstos dos- esfuerzos sumamos los de compresión debidos al peso de la columna, vemos que la mitad más esforzada de una -- sección cualquiera del faldón, será en la que se pre - senten los dos esfuerzos de compresión sumados.

$$\Rightarrow \text{Compresión} = W_{LT}/C_m = 14,962.00/480.76$$

$$\text{Compresión} = 31.12 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Flexión} = M_{LT}/A_m = 454,859.86/18,392.60$$

$$\text{Flexión} = 24.73 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Compresión} + \text{Flexión} = 55.83 \text{ Kg/cm}$$

Espesor en la línea tangencial (t_{LT}).

$$t_{LT} = \frac{55.83 \text{ Kg/cm}}{576.75 \text{ Kg/cm}^2} = 0.10 \text{ cm} < 0.64$$

Espesor del faldón en la línea base con prueba hidros tática y momento de viento.

La prueba de viento con carga hidrostática es impor tante porque la Torre una vez terminada se coloca y -

se realiza la prueba hidrostática, la cual va a estar expuesta a la acción del viento durante todo el tiempo que dure ésta, mientras se revisan toda clase de soldaduras y boquillas. Por otro lado la alternativa sismo con peso de montaje se considera innecesaria -- porque es muy remoto el caso.

$$W_{tT} = 15,290.24 \text{ Kg}$$

$$\text{Momento de viento } (M_w) = A_* Y_* P_w C_*$$

donde:

$$\text{Area expuesta. } A_* = 689.76 \text{ ft}^2 = 64.08 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura expuesta. } Y_* = 25.55 \text{ ft} = 7.79 \text{ m}$$

$$\text{Presión de viento. } P_w = 20.79 \text{ lb/ft}^2 = 101.51 \text{ Kg/m}^2$$

Porcentaje debido a las cargas de viento para recipientes verticales debido a plataformas, escaleras y tuberías (C_*) = 10% según estándar. (14)

$$= M_w = (64.08) (7.79) (101.51) (1.1)$$

$$M_w = 55,739.30 \text{ Kg - m}$$

$$\therefore M_w = 5,573,929.53 \text{ Kg - cm}$$

$$\text{Compresión} = W_{tT}/C_m = 15,290.24/480.76$$

$$\text{Compresión} = 31.80 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Flexión} = M_v/A_m = 5,573,929.53/18,392.60$$

$$\text{Flexión} = 303.05 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Compresión} + \text{Flexión} = 334.85 \text{ Kg/cm}$$

Espesor en la línea base (t_{Lb})

$$t_{Lb} = \frac{334.85 \text{ Kg/cm}}{576.75 \text{ Kg/cm}^2} = 0.58 \text{ cm} < 0.64$$

Como se observa el espesor gobernante es de 0.58 cm - en la parte inferior con carga hidrostática y viento, por lo tanto, esta sección es la más crítica y esto - hace que nuestra suposición de 0.64 cm sea válida.

9) Anclaje.

(14)

Para sujetar la Torre a la cimentación, se usarán pernos de anclaje, los que trabajan tanto a tensión como a compresión evitando el volteo de la Torre. Los esfuerzos de tensión en las anclas serán causados debido al momento producido por la presión del viento y del sismo; viéndose disminuidos a causa del peso propio de la Torre, la carga por ancla (C_a) será:

$$C_a = \frac{4 M - W D_{ca}}{n D_{ca}}$$

donde:

D_{ca} = Diámetro de la circunferencia de anclas

n = Número de anclas

M = Momento gobernanante

W = Peso de montaje

En la práctica se considera un diámetro mínimo para anclas de 32 mm ($1\frac{1}{2}$ ") y un diámetro máximo de anclas de 64 mm ($2\frac{1}{2}$ ") utilizando en casos especiales anclas de 70 mm ($2\frac{3}{4}$ ") ó de 76 mm (3") como máximo, así -- como el número de anclas debe ser múltiple de 4, éstas principalmente por procedimientos de construcción y considerando que el sismo actúa en cualquier dirección en contrará anclas trabajando por pares.

Se puede observar a partir de nuestra fórmula anterior que a mayor diámetro de la circunferencia de anclas (D_{ca}), menor será la carga inducida en ella, por lo que consideraremos un diámetro de ancla (D_a) que es igual a 6.4 cm.

$$D_{ca} = D' + 2 (D_a + 2.54)$$

$$D_{ca} = 153.67 + 2 (6.4 + 2.54)$$

$$\therefore D_{ca} = 171.55 \text{ cm}$$

$$\text{Circunferencia de Anclas} = \pi D_{ca} = 538.94 \text{ cm}$$

Cálculo del número máximo de anclas, para lo cual haremos notar que la separación máxima entre anclas es de 35 cm porque la placa que va ahogada en el concreto es para éste caso de 30 cm, dejando una holgura de 5 cm entre placa y placa, por lo tanto el número de anclas máximo que cabe en dicha circunferencia será:

$$n_{\text{máximo}} = \frac{538.94}{35} = 15.4 \text{ anclas}$$

Propondremos 16 anclas que es múltiplo de 4 utilizando acero normal incrementando en 1.33 por efectos de sismo tendremos que el esfuerzo permisible de las anclas es de $985 \times 1.33 = 1310.05 \text{ Kg/cm}^2$ (9)

Como se observó anteriormente la sección más crítica es la parte inferior con carga hidrostática y viento,

por lo tanto, calcularemos las anclas en este punto, -
donde:

$$M_w = 5,573,929.53 \text{ Kg cm}$$

$$W_{tT} = 15,290.24 \text{ Kg}$$

$$\Rightarrow C_a = \frac{(4 \times 5,573,929.53) - (15,290.24 \times 171.55)}{16 \times 171.55}$$

$$C_a = 7,167.25 \text{ Kg}$$

$$\text{Area requerida} = \frac{C_a}{S_A} = \frac{7,167.25}{1,310.05} = 5.47 \text{ cm}^2 < 24$$

Con anclas de 64 mm ($2\frac{1}{2}$ ") es satisfactorio, en el estandar A2.602 indica que para este tipo de anclas solo -
se tiene una área en la raíz de 24 cm² (14)

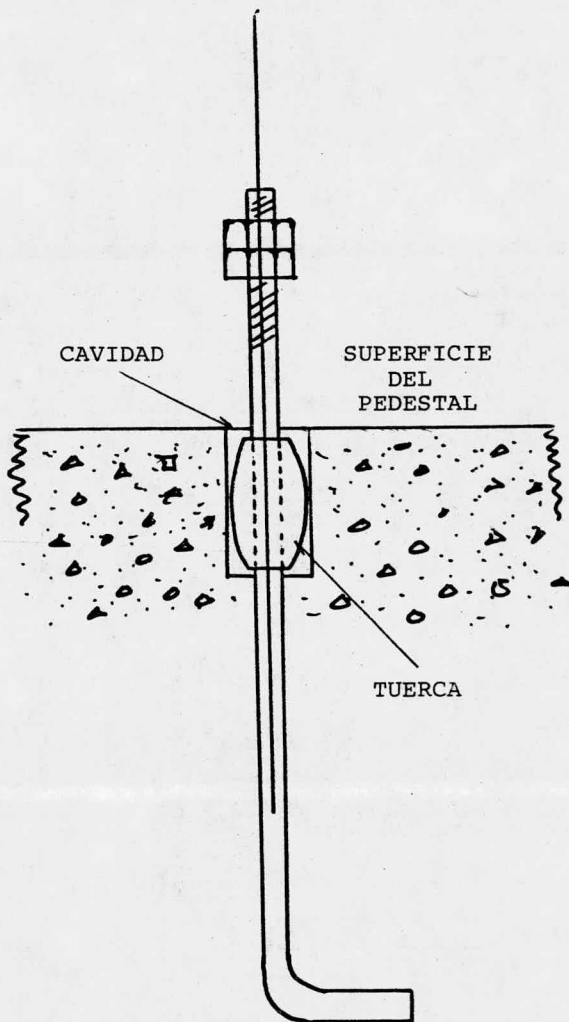


FIGURA No. 5
DETALLE DEL ANCLAJE

10) Aro Base con Análisis Estático.

(14)

Como el faldón no puede descansar directamente sobre la cimentación de concreto, ya que los esfuerzos de penetración serían muy grandes y el concreto no resistiría, para evitar esto, se usa un aro base; que es una placa en forma de aro, que tiene por objeto - aumentar el área de apoyo sobre el concreto.

Para el cálculo del aro base utilizaremos un esfuerzo permisible del concreto de 52.7 Kg/cm^2 . (16)

Tomando el momento gobernante que es el del viento, - tenemos:

$$\text{Ancho del Aro Base} = \frac{\text{Flexión} + \text{Compresión}}{\text{Aplastamiento del Concreto}}$$

$$\text{Flexión} = M_w / A_m = 5,573,929.53 / 18,392.60$$

$$\therefore \text{Flexión} = 303.05 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Compresión} = W_{tT} / C_m = 15,290.24 / 480.76$$

$$\therefore \text{Compresión} = 31.80 \text{ Kg/cm}$$

$$\Rightarrow \text{Ancho del Aro Base} = \frac{303.05 + 31.80}{52.7} = 6.44 \text{ cm}$$

VARIABLES DEL FALDÓN EN
LA TORRE DE ABSORCIÓN.

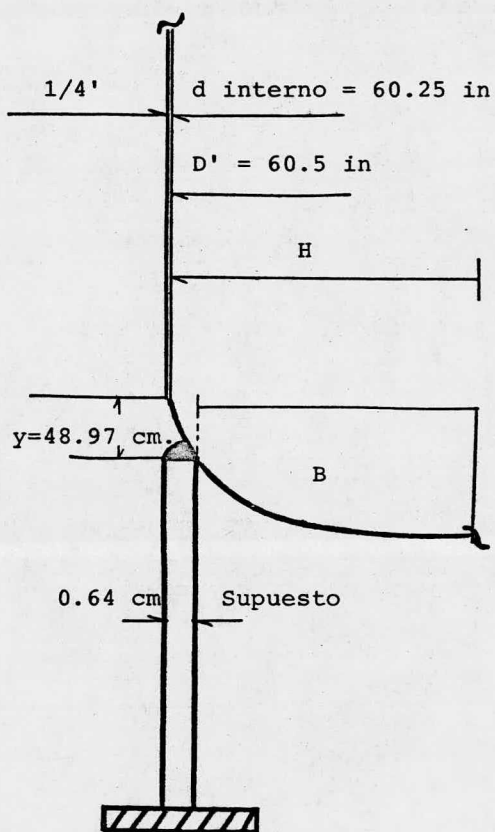


FIGURA No. 6

11) Cimentación

(15)

El proyecto de cimentación se hace empíricamente en muchos aspectos. Esto es especialmente cierto, si la cimentación se apoya en arcilla, arena o limo. Es necesario hacer pruebas de carga en el lugar de la obra cuando se presenta un suelo de capacidad de carga dudosa. Al realizar éstas pruebas correctamente, los estratos del subsuelo se ven sujetos a condiciones semejantes a las previstas para el equipo.

La línea de congelación está a 1.53 m abajo de la rasante, por lo tanto, la cimentación tendrá una profundidad de 2.3 m, con el lecho superior a 0.38 m arriba de la rasante, de manera que el desplante de la cimentación queda a 1.91 m abajo de la misma, o sea a 0.38 m abajo de la línea de congelación.

La cimentación tendrá forma octagonal, que es la que se recomienda para éstos casos, porque en ella se combinan características de estabilidad, facilidad de construcción y cantidad mínima de material, mejores que en otras formas. El soporte del cimiento tendrá un diámetro menor de 2.3 m, ya que la Torre tiene 1.53 m y deberá dejarse espacio para las anclas, etc. Se supondrá que el diámetro menor de la base es de 5.2 m.

El espesor de la base dependerá de los esfuerzos de flexión y de los de corte, lo supondremos a 0.77 m.

Cálculo del peso del cimientto.

$$\begin{aligned}
 \text{Area octágono, 2.3 m.} &= 0.828 \text{ d}^2 = 4.38 \text{ m}^2 \\
 \text{Volúmen soporte.} &= 1.53 \times 4.38 = 6.7 \text{ m}^3 \\
 \text{Area, octágono base.} &= 0.828 \times 5.2^2 = 22.39 \text{ m}^2 \\
 \text{Volúmen de la base.} &= 0.77 \times 22.39 = 17.24 \text{ m}^3 \\
 \text{Volúmen total.} &= 6.7 + 17.24 = 23.94 \text{ m}^3 \\
 \text{Carga máxima, terreno.} &= 10 \text{ ton/m}^2 = 1 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Peso del concreto "Portland"} = 2,403 \text{ Kg/m}^3 \quad (16)$$

$$\text{Peso del cimientto} = 23.94 \times 2,403 = 57,527.82 \text{ Kg}$$

Como es un cimientto por substitución.

$$\text{Peso de la tierra de relleno} = 1,440 \text{ Kg/m}^3 \quad (16)$$

Volúmen de la tierra de relleno.

$$(1.53 \text{ m} - 0.38 \text{ m}) (22.39 \text{ m}^2 - 4.38 \text{ m}^2) = 20.71 \text{ m}^3$$

Peso del relleno de tierra.

$$(20.71) \times (1,440) = 29,822.40 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de la Torre vacía } (W_{TV}) = 845.45 \text{ Kg}$$

Peso de la Torre y su cimientto (W_t)

$$W_t = 845.45 + 57,527.82 + 29,822.40 = 88,195.67 \text{ Kg}$$

Peso de la Torre llena de agua (W_{tT}) = 15,290.24 Kg

Peso de la estructura y cimentación (\bar{W})

$$\bar{W} = W_t + W_{tT} = 88,195.67 \text{ Kg} + 15,290.24 \text{ Kg}$$

$$\bar{W} = 103,485.91 \text{ Kg}$$

Presión de desplante (S_1).

$$S_1 = \bar{W} / \text{área octágono base} = 103,485.91 / 22.39$$

$$S_1 = 4,621.97 \text{ Kg/m}^2 = 0.462 \text{ Kg/cm}^2$$

Diámetro efectivo expuesto a la presión del viento -

$$(D_o) = 1.5367 \text{ m.}$$

La presión sobre el área proyectada por la Torre en un plano normal a la dirección del viento (P_c).

$$P_c = 0.0047 (v_w)^2$$

$$P_c = 0.0047 (108 \text{ Km/hr})^2 = 54.821 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Altura de la Torre } (H_T) = 7.6 \text{ m}$$

Cálculo de la carga total del viento (P_w')

$$P_w' = P_c D_o H_T = 54.821 \times 1.5367 \times 7.6$$

$$\therefore P_w' = 640.248 \text{ Kg}$$

$$\text{Altura del cimientto} = 2.3 \text{ m}$$

Cálculo del brazo de palanca (z).

$$z = 2.3 + (7.6/2) = 6.1 \text{ m}$$

$$z = 610 \text{ cm}$$

Momento de vuelco con relación a la base del cimien -
to (M_f).

$$M_f = P_w' z = (640.248) (610)$$

$$M_f = 390,551.12 \text{ Kg cm}$$

Módulo de sección para la base octagonal de cimenta -
ción (Z).

$$Z = 0.1016 d^3 = 0.1016 (520)^3$$

$$Z = 14,285,772.87 \text{ cm}^3$$

Carga unitaria en el suelo debido al vuelco (S_z).

$$S_z = M_f/Z = 390,551.12/14,285,772.87$$

$$S_z = 0.0273 \text{ Kg/cm}^2$$

Carga total máxima en el suelo (S_o).

$$S_o = S_1 + S_z = 0.4622 + 0.0273$$

$$S_o = 0.4895 \text{ Kg/cm}^2$$

Esta carga es satisfactoria, ya que el suelo soporta con seguridad una carga de 1 Kg/cm^2 .

Carga mínima en el suelo debido a la carga muerta -
(S_2).

$$S_2 = W_t / \text{área octágono base} = 88,195.67 / 22.39$$

$$S_2 = 3,939.07 \text{ Kg/m}^2 = 0.3939 \text{ Kg/cm}^2$$

Esta es la carga muerta en las peores condiciones, -
y como es mayor que el esfuerzo producido por el --
vuelco, al suelo que queda debajo de la cimentación-
estará trabajando en compresión en todos los puntos,
indicando así que la cimentación es estable.

Variables de Auto
soporte para las
Torres de Recupe-
ración de DMF.

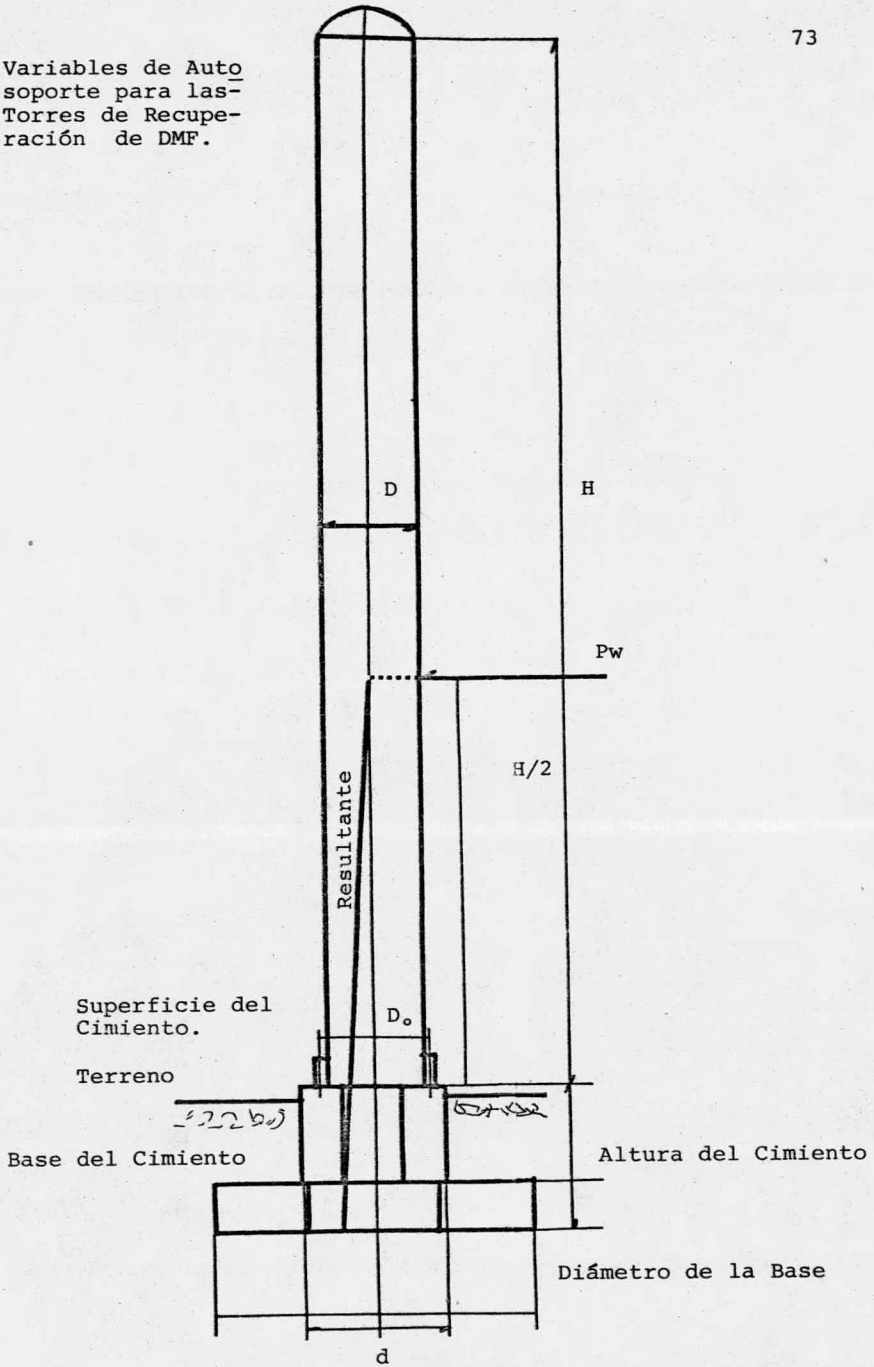


FIGURA No. 7

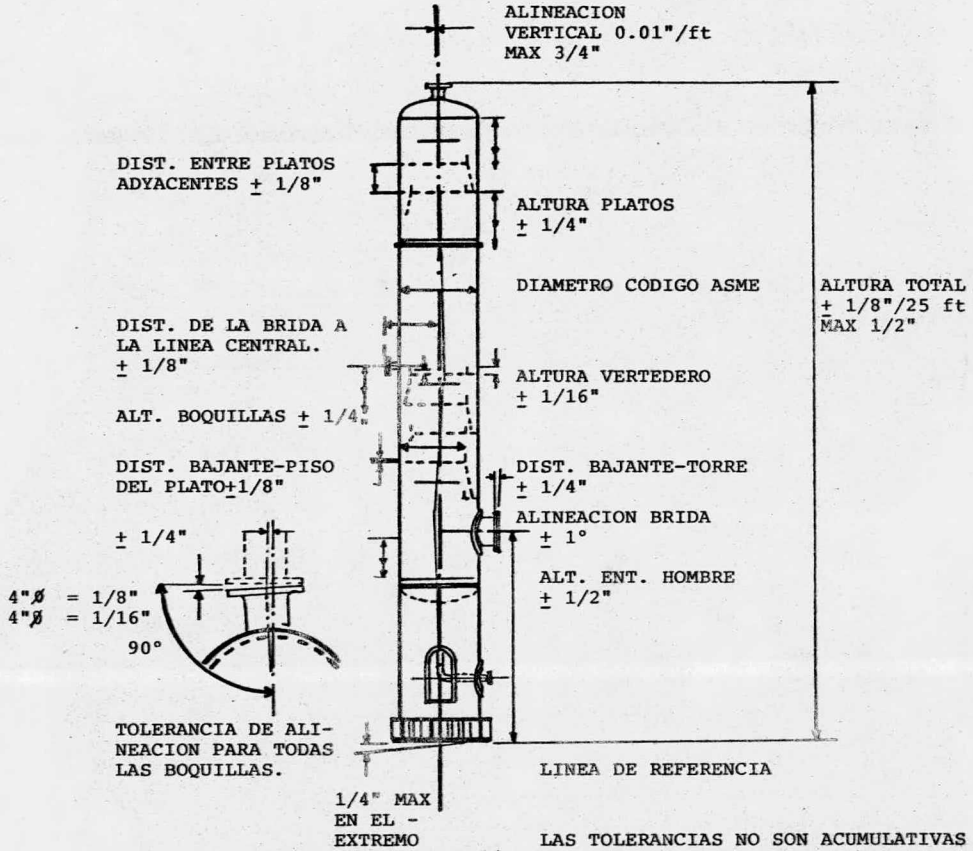


FIGURA No. 8

TOLERANCIAS SUGERIDAS PARA LA CONSTRUCCION
DE LA TORRE.

CAPITULO TRES.

TORRE DE DESTILACION.

- 1) Cálculo del Diagrama de Equilibrio para el Sistema DMF-Agua.
- 2) Cálculo del Número de Platos Teóricos.
 - a) Datos de Diseño y Balance de Materia.
 - b) Cálculo de la Línea de Alimentación.
- 3) Diseño Hidráulico.
 - a) Cálculo Hidrodinámico de los Platos.
 - b) Cálculo de la Caída de Presión Total - del Gas.
 - c) Cálculo de la Caída de Presión en el - Líquido.
- 4) Cálculo de la Eficiencia.
 - a) Cálculo de la Eficiencia de Plato, según el método del American Institute of Chemical Engineers.

- b) Cálculo del Número de Platos Reales del -
Equipo.
 - c) Localización del Plato de Alimentación.
- 5) Diseño Mecánico.
- a) Datos para el Diseño Mecánico.
 - b) Esfuerzos en la Cubierta, debido a Cargas
Muertas, Viento y Sismo.
- 6) Diseño del Faldón.
- 7) Anclaje.
- 8) Aro Base con Análisis Estático.
- 9) Cimentación.

TORRE DE DESTILACION.

- 1) Cálculo del Diagrama de Equilibrio para el Sistema DMF-Agua.

Tomando como datos conocidos la temperatura y las presiones de vapor de ambos componentes (7), (9), utilizaremos las ecuaciones de la ley de Raoult para soluciones ideales para encontrar la concentración en el líquido, así como la fracción usual de equilibrio en la fase gas.

$$\text{A temperatura de } 100^{\circ} \text{ C} \quad P_t = 586 \text{ mm Hg}$$

$$P_a = 760 \text{ mm Hg}$$

$$P_B = 150 \text{ mm Hg}$$

$$X^* = \frac{P_t - P_B}{P_a - P_B} = \frac{586 - 150}{760 - 150} = 0.7147$$

$$y^* = \frac{P_a X^*}{P_t} = \frac{760 (0.7147)}{586} = 0.927$$

Por medio del método de cálculo anterior, se construye la siguiente tabla:

<u>T (°C)</u>	<u>P_a (mm Hg)</u>	<u>P_B (mm Hg)</u>	<u>X*</u>	<u>y*</u>
90	525.76	100.00		
93	586.00	110.00		
95	634.00	125.00	0.9050	0.979
100	760.00	150.00	0.7147	0.927
105	949.00	170.00	0.5340	0.865
110	1,085.00	220.00	0.4230	0.783
115	1,327.00	240.00	0.3180	0.720
120	1,500.00	290.00	0.2450	0.626
125	1,635.00	330.00	0.1960	0.547
130	2,218.00	390.00	0.1070	0.405
135	2,571.00	450.00	0.0640	0.281
140	2,924.00	520.00	0.0270	0.137
150	3,630.00	760.00		

Estos datos se grafican en la Figura N° 9

2) Cálculo del Número de Platos Teóricos.

a) Datos de Diseño.

Corriente de Alimentación (Salida Torre de Absorción).

$$F = 23.217 \text{ Kg mol/hr}$$

$$F = 471.58 \text{ Kg/hr}$$

$$T = 53^{\circ}\text{C}$$

$$X_{\text{DMF}} = 0.042$$

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.958$$

Cantidad de DMF en la corriente de entrada.

$$23.217 (0,042) = 0.975 \text{ Kg mol/hr} = 71.27 \text{ Kg/hr}$$

Cantidad de Agua en la corriente de entrada.

$$23.217 (0.958) = 22.24 \text{ Kg mol/hr} = 400.35 \text{ Kg/hr}$$

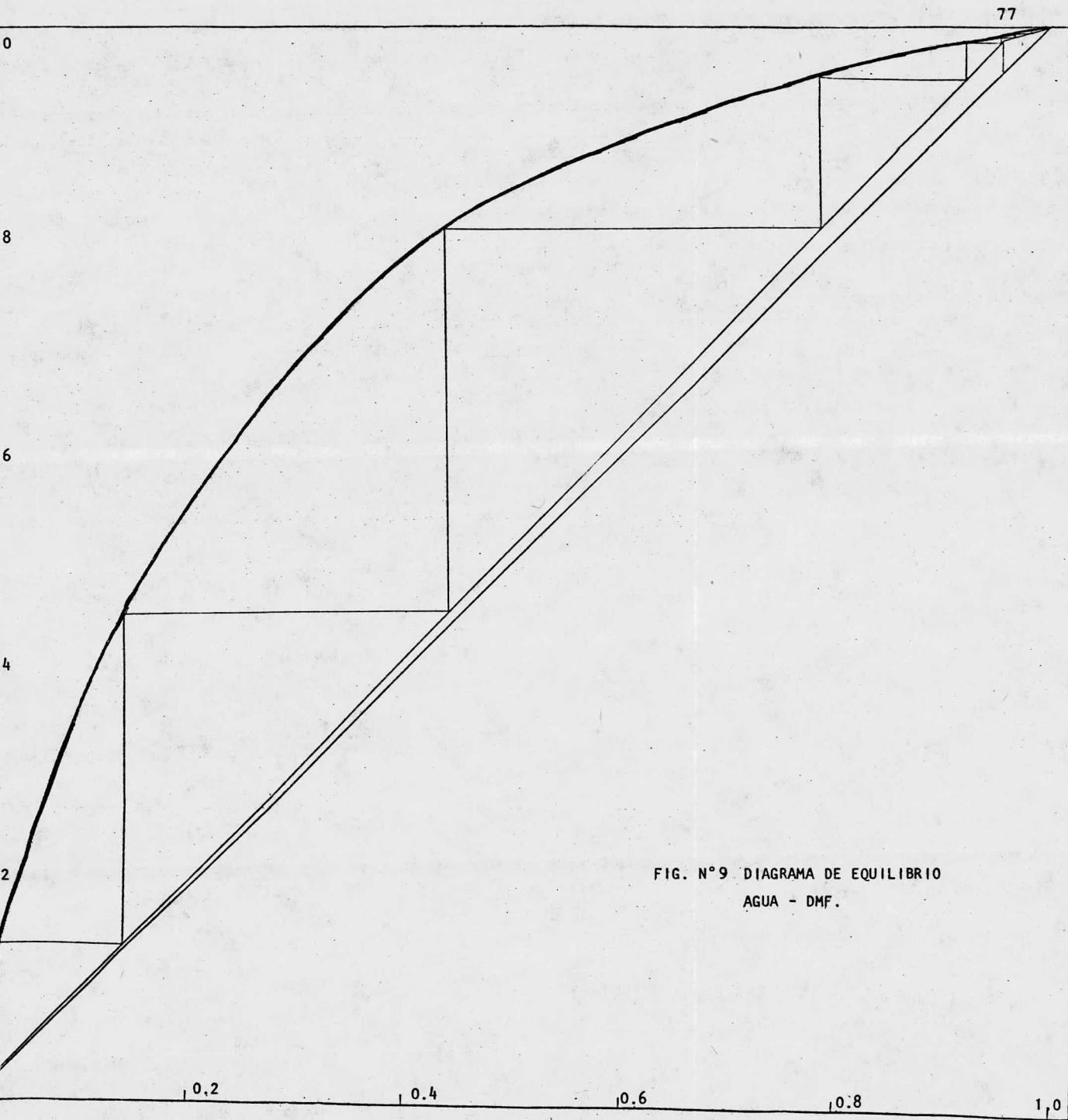
La pureza requerida para el producto será de un máximo de, 0.004% de agua. (7)

Fracción mol requerida a la salida del producto

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.00016$$

$$X_{\text{DMF}} = 0.9998$$

Suponiendo una fracción mol de agua a la salida



superior de:

$$X_{\text{H}_2\text{O Domos}} = 0.999$$

Balance de Materia.

$$R = \frac{X_{\text{H}_2\text{O Alimentación}} - X_{\text{H}_2\text{O Fondos}}}{X_{\text{H}_2\text{O Domos}} - X_{\text{H}_2\text{O Fondos}} (F) = \frac{X_F - X_B}{X_D - X_B} F$$

$$R = \frac{0.958 - 0.00016}{0.999 - 0.00016} (23.217) = 22.26 \text{ Kg mol/hr}$$

$$B = \frac{X_{\text{H}_2\text{O Domos}} - X_{\text{H}_2\text{O Alimentación}}}{X_{\text{H}_2\text{O Domos}} - X_{\text{H}_2\text{O Fondos}} (F) = \frac{X_D - X_F}{X_D - X_B} F$$

$$B = \frac{0.999 - 0.958}{0.999 - 0.00016} (23.217) = 0.953 \text{ Kg mol/hr}$$

b) Cálculo de la línea de Alimentación.



Temperatura de burbuja de la mezcla de Alimentación.

$$T_B = 94^\circ\text{C}$$

Composición de la mezcla en fase vapor en el punto de burbuja:

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.99 ; X_{\text{DMF}} = 0.01$$

Calores latentes de vaporización:

$$\Delta H_{\text{vap.H}_2\text{O}} \Big|_{94.5} = 17,578.8 \text{ BTU/lb mol} = 976.6 \text{ BTU/lb}$$

$$\Delta H_{\text{vap.DMF}} \Big|_{94.5} = 18,784.13 \text{ BTU/lb mol} = 257 \text{ BTU/lb}$$

$$\Delta H_{\text{vap.mezcla}} = \Delta H_{\text{vap.H}_2\text{O}} X_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta H_{\text{vap.DMF}} X_{\text{DMF}}$$

$$\Delta H_{\text{vap.mezcla}} = 17,578.8 (0.99) + 18,784.13 (0.01)$$

$$\Delta H_{\text{vap.mezcla}} = 17,590.85 \text{ BTU/lb mol}$$

Peso molecular promedio de la mezcla:

$$\bar{M} = 18 (0.99) + 73.09 (0.01)$$

$$\bar{M} = 18.55 \text{ lb/lb mol}$$

$$\Delta H_{\text{vap.mezcla}} = \frac{17,590.85 \text{ BTU/lb mol}}{18.55 \text{ lb/lb mol}} = 948.29 \text{ BTU/lb}$$

Calor específico del líquido a la temperatura de Alimentación (53°C). (9)

$$C_{\text{P,H}_2\text{O}} \Big|_{53^\circ\text{C}} = 1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$$

Utilizando la ecuación para la pendiente de la línea de Alimentación. (3)

$$f' = - \frac{C_{PL} (T_B - T_F)}{\Delta H_{vap}}$$

$$f' = - \frac{1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F} (201.2^\circ\text{F} - 127.4^\circ\text{F})}{948.29 \text{ BTU/lb}}$$

$$f' = - 0.0778$$

Ecuación para la línea de alimentación.

(3)

$$y = - \frac{1 - f'}{f'} X + \frac{X_F}{X}$$

$$y = - \frac{1 + 0.0778}{(- 0.0778)} X + \frac{0.958}{(- 0.0778)}$$

$$y = 13.85 X - 12.31$$

Con los datos de la pendiente y coordenadas de 2 puntos, obtendremos la línea de la figura N° 9

$$m = 13.85 \quad X_1 = 0.958 \quad X_2 = 0.9$$

$$y_1 = 0.958 \quad y_2 = ?$$

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$y_2 = 13.85 (0.9 - 0.958) + 0.958$$

$$y_2 = 0.1547$$

A partir de la gráfica, de la figura N° 9 , obtendremos el punto en donde cortan la curva de equilibrio y la línea de alimentación.

$$X_C = 0.960$$

$$Y_C = 0.993$$

Obtención del número de platos teóricos a partir de la gráfica. (1)

$$(L/V)_{\min} = \frac{(L/D_*)_{\min}}{(L/D_*)_{\min} + 1} = \frac{X_D - Y_C}{X_D - X_C}$$

$$(L/V)_{\min} = \frac{0.999 - 0.993}{0.999 - 0.960} = 0.1538 \frac{\text{moles de reflujo}}{\text{moles de vapor}}$$

$$0.1538 = \frac{(L/D_*)}{(L/D_*) + 1}$$

$$(L/D_*) = 0.181$$

Para checar nuestro resultado, precederemos al siguiente cálculo:

Para obtener el número de platos teóricos se utiliza - 1.5 veces el valor de (L/D_*) , obtenido a condiciones de reflujo mínimo, por lo que las pendientes se afectan por este factor.

$$(L/D_*) = 1.5 (0.181) = 0.271$$

Pendiente de la línea de operación a este reflujo.

$$(L/V) = \frac{(L/D_*)}{(L/D_*) + 1} = \frac{0.271}{1.271} = 0.2132$$

Con esta pendiente y las condiciones en el fondo de la Torre ($x_2 = 0.999$; $y_2 = 0.999$), se obtienen los puntos para las líneas de operación en las dos secciones de la Torre.

$$x_1 = 0.9$$

$$0.2132 = \frac{0.999 - y_1}{0.999 - 0.9}$$

$$y_1 = 0.9778$$

Una vez que se tienen las líneas de operación, por medio del método gráfico, se obtienen el número de platos teóricos, a partir de la figura No. 9.

El resultado es de 10 platos teóricos.

3) Diseño Hidráulico.

a) Cálculo Hidrodinámico de los Platos.

Gasto de gas a través de la Torre, considerando -
el gasto constante e igual a la salida del domo .

$$R = 22.26 \text{ Kg mol/hr}$$

Peso molecular promedio del gas:

$$\bar{M} = 18 (0.999) + 73.09 (0.001) = 18.05$$

$$R = 22.26 \text{ Kg mol/hr} (18.05 \text{ Kg/Kg mol})$$

$$\therefore R = 401.8 \text{ Kg/hr}$$

Temperatura del vapor a la salida de la Torre, -
considerando que está en equilibrio con el líquido
y prácticamente es vapor de agua.

$$T = 93^{\circ}\text{C}$$

Densidad del vapor a esas condiciones. (10)

$$\rho = 0.03 \text{ lb/ft}^3 = 0.481 \text{ Kg/m}^3$$

Gasto volumétrico del Gas:

$$G = \frac{401.8 \text{ Kg/hr}}{0.481 \text{ Kg/m}^3} = 835.34 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Gasto de líquido.

$$B = 0.953 \text{ Kg mol/hr} \times 73.09 \text{ Kg/Kg mol}$$

$$B = 69.65 \text{ Kg/hr}$$

Densidad del líquido (suponiendo exclusivamente DMF) (7)

$$\rho_L = 0.876 \text{ g/cm}^3 = 54.57 \text{ lb/ft}^3$$

Gasto volumétrico del líquido.

$$L = \frac{69.65}{876} = 0.079 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.347 \text{ GPM}$$

Para efectos de cálculo suponemos una sobrecarga de -
30% (6)

$$V_G = 1,085.94 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$V_L = 0.103 \text{ m}^3/\text{hr} = 2.87 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg} = 453 \text{ GPM}$$

Cálculo del diámetro de la Torre. (6)

Suponemos el diámetro de la columna menor de 1,500 mm.
Con éste dato obtenemos los valores para espaciamento-
entre platos y sello líquido. (6)

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$h_{ts} = 25 \text{ mm}$$

Valor de la constante C_1 .

$$C_1 = 0.038$$

Velocidad de ascención del gas a través de las capu -
chas.

$$W_{g_0} = C_1 \sqrt{\rho_L - \rho_G \div \rho_G}$$

$$W_{g_0} = 0.038 \sqrt{876 - 0.481 \div 0.481}$$

$$W_{g_0} = 1.62 \text{ m/seg}$$

Sección transversal de la columna.

$$S' = \frac{V_G}{W_{g_0}} = \frac{0.3 \text{ m}^3/\text{seg}}{1.62 \text{ m/seg}} = 0.185 \text{ m}^2$$

$$S' = \frac{\pi D^2}{4} = 0.185 \text{ m}^2$$

$$\therefore \text{Diámetro} = 0.485 \text{ m}$$

Este valor está de acuerdo con la suposición inicial, de ser menor de 1,500 mm.

Con objeto de utilizar platos de diseño estandard, se -
usarán platos de 2ft 6" (762 mm) con diámetro de capu
cha de 4" (100 mm).

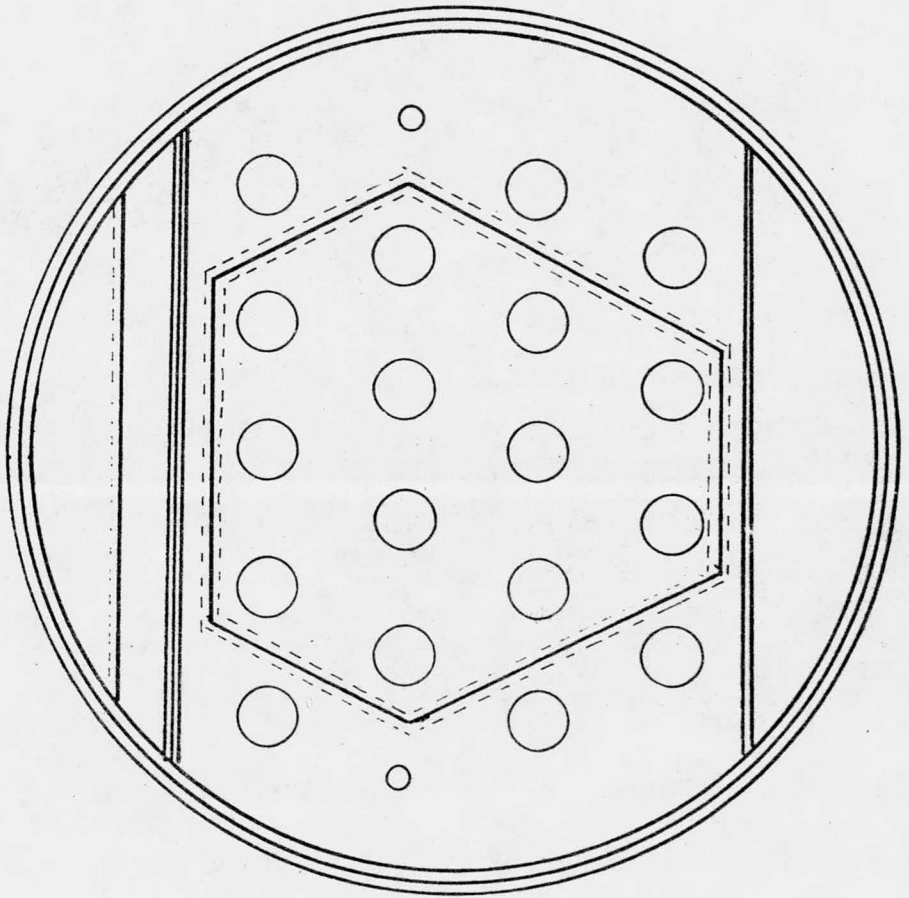


FIGURA No. 10

PLATO ESTANDARD DE 2 ft 6" DE DIAMETRO CON CAPUCHAS DE 100 mm (4")

Especificaciones de la capucha.

(6)

Diámetro externo (ϕ)	100	mm
Altura muerta (h_{sr})	5	mm
Perímetro ($\phi \pi$)	314	mm
Número de ranuras con capucha (n')	32	
Ancho de las ranuras (b_s)	5	mm
Espaciamiento entre ranuras (b_{st})	4.81	mm
Pitch entre ranuras (τ)	9.81	mm
Espesor de lámina (s)	2	mm
Altura de las ranuras (H_s)	30	mm
Forma de las ranuras	Rectangular	
Area total de ranuras p/capucha (S'_c)	46.3	cm ²
Arreglo de capuchas s/el plato	Triangular	
Número de capuchas p/plato	18	
Espaciamiento entre capuchas	31.75 mm = $1\frac{1}{4}$ "	
Pitch entre capuchas	$\frac{1}{4}$ "	
Orificios de drenaje	2	

Altura del líquido promedio sobre el plato (h_m).

$$h_m = h_{ts} + h_{sc} + h_{sr} + H_s$$

$$\text{donde; } h_{sc} = h_{ts} = 25 \text{ mm}$$

$$h_m = 25 \text{ mm} + 25 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + 30 \text{ mm}$$

$$h_m = 85 \text{ mm}$$

b) Cálculo de la caída de presión total del gas.

$$S_s = \text{Area total de ranuras por plato}$$

$$S_s = N^\circ \text{ de capuchas por plato} \times S'_c$$

$$S_s = 18 \times 46.3 \text{ cm}^2$$

$$S_s = 833.4 \text{ cm}^2$$

Caída de presión por la abertura de las ranuras.

$$h_s = 7.55 \left(\rho_G / \rho_L - \rho_G \right)^{\frac{1}{3}} H_{S_3}^{\frac{2}{3}} \left(V_G / S_s \right)^{\frac{2}{3}} =$$

$$7.55 \left(0.481/876 - 0.481 \right)^{\frac{1}{3}} 30^{\frac{2}{3}} (0.3/0.0833)^{\frac{2}{3}}$$

$$h_s = 14.02 \text{ mm}$$

Altura del líquido sobre el vertedero (h_{ow}).

$$\text{Longitud del vertedero } (L_w) = 517 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0.226 V_L}{L_w} = \frac{0.226 (0.103 \text{ m}^3/\text{hr})}{0.517 \text{ m}} = 0.045$$

$$L_w/D = 517/762 = 0.679$$

Con los valores de α y de L_w/D obtenemos, el valor -- para el factor E' y la altura del líquido sobre el vertedero. (6)

$$\text{Factor } E' = 1.01$$

$$h_{ow} = 2.84 E' (V_L/L_w)^{2/3}$$

$$h_{ow} = 2.84 (1.01) (0.103/0.517)^{2/3}$$

$$h_{ow} = 0.978$$

Ancho promedio del plato, (B_m).

$$B_m = \frac{A_1}{L'} = \frac{\text{Area entre vertederos}}{\text{Distancia entre vertederos}}$$

$$B_m = 3830/55.93 = 68.49 \text{ cm}$$

$$\alpha_1 = 1.34 \frac{V_L}{B_m} = \frac{1.34 (0.103 \text{ m}^3/\text{hr})}{684.9}$$

$$\alpha_1 = 2.015 \times 10^{-4}$$

$$0.82 w_{go} \sqrt{\rho_G} = 0.82 (1.62) \sqrt{0.481} = 0.921$$

Con α_1 y $0.82 w_{go} \sqrt{\rho_G}$ obtenemos los valores C_g y $4\Delta'$. (6)

$$C_g = 0.8$$

$$y = 4\Delta' \quad y = 2 \quad \Delta' = 2/4 = 0.5$$

$$\mu' = N^{\circ} \text{de filas de capuchas en el plato} = 4$$

$$\Delta = C_g \Delta' \mu'$$

$$\Delta = 0.8 (0.5) (4) = 1.6 \text{ mm}$$

Area total de elevadores por plato (S_r).

$$\text{Area del elevador} = 35.04 \text{ cm}^2$$

$$S_r = 35.04 (18) = 630.72 \text{ cm}^2$$

Area anular entre el elevador y la capucha (S_{aj}).

$$S_{aj} = 41.03 \text{ cm}^2$$

$$S_{aj}/S_{rj} = 1.170$$

Con S_{aj}/S_{rj} se obtiene el valor para K. (6)

$$K = 0.53$$

Caída de presión debido a la fricción.

$$h_{fv} = 274 K (\rho_G / \rho_L - \rho_G) (V_G / S_r)^2$$

$$h_{fv} = 274 (0.53) (0.481/876 - 0.481) (0.3/0.063)^2$$

$$h_{fv} = 1.81 \text{ mm}$$

Chequeo de estabilidad del plato.

Condición de estabilidad:

$$\Delta \leq 0.5 (h_{fv} + h_s)$$

$$\Delta \leq 0.5 (1.81 + 14.02)$$

$$1.6 \leq 7.91 \quad \underline{\underline{\text{OK}}}$$

Altura del vertedero.

$$h_w = h_m - h_{ow} - \frac{1}{2} \Delta$$

$$h_w = 85 - 0.978 - \frac{1}{2} (1.6)$$

$$h_w = 83.22 \text{ mm}$$

Caída de presión total del gas (h_t)

$$h_t = h_{fv} + h_s + h_{ss} + h_{ow} + \frac{1}{2} \Delta$$

$$h_{ss} = h_w - (h_{sc} + h_{sr} + H_s)$$

$$h_{sc} = h_{ts} = 25 \text{ mm}$$

$$h_{ss} = 83.22 - (25 + 5 + 30) = 23.22$$

$$\therefore h_t = 1.81 + 14.02 + 23.22 + 0.978 + \frac{1}{2} \quad (1.6)$$

$$h_t = 40.83 \text{ mm}$$

c) Cálculo de la Caída de Presión en el Líquido.

$$\text{Distancia baffle vertedero (l)} = 1.67 \text{ ft} = 50.9 \quad (1)$$

$$\text{Inmersión del vertedero (} t_s \text{)} = 12.5 \text{ mm} \quad (6)$$

Distancia entre la parte del baffle y el piso del plato (D_{BP}).

$$D_{BP} = h_w - t_s = 83.22 - 12.5$$

$$D_{BP} = 70.72 \text{ mm}$$

Area libre entre la parte baja del baffle y el piso del plato (S_d).

$$S_d = D_{BP} L_w = (7.072 \text{ cm}) (51.75 \text{ cm})$$

$$S_d = 367.95 \text{ cm}^2$$

Caída de presión por la constricción en la bajante (h_d).

$$h_d = 0.128 (v_L/s_d)^2 = 0.128 (0.103/0.0365)^2$$

$$h_d = 1.02 \text{ mm}$$

Altura de la columna de líquido en la bajante (H_d).

$$H_d = h_w + h_{ow} + \Delta + h_d + h_t$$

$$H_d = 83.22 + 0.978 + 1.6 + 1.02 + 40.83$$

$$H_d = 127.64 \text{ mm}$$

Caída de presión por la caída libre del líquido (h_o).

$$h_o = h + h_w - H_d$$

$$h_o = 400 + 83.22 - 127.64$$

$$h_o = 355.58$$

Factor de humedecimiento del plato inferior (t_*).

$$t_* = 0.8 \sqrt{h_{ow} h_o}$$

$$t_* = 0.8 \sqrt{(0.978) (355.58)}$$

$$t_* = 14.92$$

El ancho de la bajante es el 13.3% del diámetro total de la Torre. (1)

Ancho de la Bajante = 10.13 cm

t_*/ancho de la bajante debe ser menor a 0.6

$t_*/\text{ancho} = 14.92/101.3 = 0.15$

Al ser menor la relación t_*/ancho de la bajante, nuestro resultado es por lo consiguiente válido.

4) Cálculo de la Eficiencia.

a) Cálculo de la Eficiencia de plato según el método del American Institute of Chemical Engineers. (5)

I.- Cálculo de la carga total de vapor y de líquido.

$$G = 0.3 \text{ m}^3/\text{seg} = 10.59 \text{ ft}^3/\text{seg}.$$

$$L = 2.87 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg} = 0.453 \text{ GPM}.$$

II.- Determinar la velocidad del vapor basada en el área de Burbujeo.

$$A_A = 833.4 \text{ cm}^2 = 0.9 \text{ ft}^2$$

$$U_{va} = \frac{G}{A_A} = \frac{10.59 \text{ ft}^3/\text{seg}}{0.9 \text{ ft}^2} = 11.77 \text{ ft/seg}$$

III.- Calcular F_{va} .

$$F_{va} = U_{va} \rho_G^{0.5}$$

$$\rho_G = 0.03 \text{ lb/ft}^3$$

$$\therefore F_{va} = 11.77 (0.03)^{0.5} = 2.04$$

IV.- Calcular el flujo de líquido por pie de ancho promedio del plato.

$$W_A = \text{Ancho promedio del plato} = 684.9 \text{ mm} = 2.25 \text{ ft}$$

$$\frac{L}{W_A} = \frac{0.453 \text{ GPM}}{2.25 \text{ ft}}$$

$$\frac{L}{W_A} = 0.201 \text{ GPM/ft}$$

V.- Calcular λ (Factor de Absorción).

Tomaremos cuatro puntos en la gráfica de equilibrio para obtener la pendiente de la línea de equilibrio en estos puntos, siendo estos los que se encuentran en el cruce de la línea de equilibrio con las líneas de los platos teóricos.

Punto 1 (0.87 , 0.976)

Pendiente en este punto: $m_1 = 0.185$

Punto 2 (0.345 , 0.75)

Pendiente en el punto 2: $m_2 = 0.667$

Punto 3 (0.1 , 0.375)

Pendiente en el punto 3: $m_3 = 1.944$

Punto 4 (0.01 , 0.08)

Pendiente en el punto 4: $m_k = 4.375$

Calcularemos λ (Factor de Absorción), con cada una de las pendientes anteriores.

Suponer que los gastos G_m y L_m no varían a todo lo largo de la Torre.

G_m = Flujo molar del gas por pie cuadrado de área de la Torre.

$$\text{Area Total} = 4.91 \text{ ft}^2$$

$$G_m = \frac{G \rho_G}{M_G A_T} = \frac{(10.59 \text{ ft}^3/\text{seg}) (0.03 \text{ lb}/\text{ft}^3)}{(18 \text{ lb}/\text{lb mol}) (4.91 \text{ ft}^2)}$$

$$G_m = 3.598 \times 10^{-3} \text{ lb mol}/\text{seg ft}^2$$

$$G_m = 12.9 \text{ lb mol}/\text{hr ft}^2$$

$$L_m = \frac{L \rho_L}{M_L A_T} = \frac{(1.013 \times 10^{-3} \text{ ft}^3/\text{seg}) (54.57 \text{ lb}/\text{ft}^3)}{(73.09 \text{ lb}/\text{lb mol}) (4.91 \text{ ft}^2)}$$

$$L_m = 1.541 \times 10^{-4} \text{ lb mol}/\text{seg ft}^2$$

$$L_m = 0.544 \text{ lb mol}/\text{hr ft}^2$$

$$\lambda_1 = \frac{m_1 G_m}{L_m} = 0.185 \frac{12.9}{0.554} = 4.31$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2 G_m}{L_m} = 0.667 \frac{12.9}{0.554} = 15.53$$

$$\lambda_3 = \frac{m_3 G_m}{L_m} = 1.944 \frac{12.9}{0.554} = 45.37$$

$$\lambda_4 = \frac{m_4 G_m}{L_m} = 4.375 \frac{12.9}{0.554} = 101.87$$

VI.- Cálculo de la altura de espuma (h_f).

$$h_f = 2.53 F_{va}^2 + 1.89 h_w - 1.6$$

$$h_w = 83.22 \text{ mm} = 3.28 \text{ in}$$

$$h_f = 2.53 (2.04)^2 + 1.89 (3.28) - 1.6$$

$$h_f = 15.13 \text{ in}$$

VII.- Cálculo de la altura del líquido (h_c).

$$h_c = \frac{103 + 11.8 h_w - 40.5 F_{va} + 1.25 L/W_A}{\rho_L}$$

$$h_c = \frac{103 + 11.8 (3.28) - 40.5 (2.04) + 1.25 (0.201)}{54.57}$$

$$h_c = 1.09 \text{ in}$$

VIII.- Cálculo del tiempo de contacto del líquido (θ_L):

$$\theta_L = \frac{37.4 h_c A_A}{L}$$

$$\theta_L = \frac{37.4 (1.09) (0.9)}{0.453}$$

$$\theta_L = 80.99 \text{ seg}$$

IX.- Cálculo del número de unidades de transferencia en fase líquida.

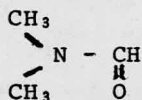
$$N_L = 103 D_L^{0.5} (0.26 F_{VA} + 0.15) \theta_L$$

Cálculo de la difusividad en fase líquida (D_L) por el método de Wilke. (6)

$$\text{Volúmen molar del agua} = 18.8 \text{ cm}^3/\text{g mol} \quad (6)$$

$$\text{Volúmen molar de DMF por el método de Le Bas'} (6)$$

Dimetil Formamida:



Contribuciones por cada uno de los átomos de la molécula:

$$(\text{C} = 14.8) \times 3 = 44.4$$

$$(\text{H} = 3.7) \times 7 = 25.9$$

$$(\text{N} = 12.0) \times 1 = 12$$

$$(\text{O} = 12.0) \times 1 = 12$$

$$\text{Total} \quad \quad = 94.30 \text{ cm}^3/\text{g mol.}$$

Factor ϕ_B para el solvente en el caso del Agua:

$$\phi_B = 1$$

A partir de la Tabla 2.14 de Habler.

(6)

$$F_A \times 10^{-7} = 2.8$$

$$F_A = 2.8 \times 10^7 \text{ } ^\circ\text{K seg/cm}^2 \text{ cp}$$

Viscosidad de la solución en su punto de Burbuja -
(94°C)

$$\eta_r = 0.3 \text{ cp}$$

$$D_L^* = \frac{T}{F_A \eta_r} \text{ (cm}^2/\text{seg)}$$

$$D_L^* = \frac{367.15}{2.8 \times 10^7 \times 0.3} = 4.37 \times 10^{-5}$$

$$D_L^* = 4.37 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{seg.}$$

$$D_L^* = (4.37 \times 10^{-5}) (3,600) (1.076 \times 10^{-3})$$

$$D_L^* = 7.092 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{hr.}$$

$$N_L = 103 (7.092 \times 10^{-5})^{0.5} \times \\ \{0.26 (2.04) + 0.15\} 80.99$$

$$N_L = 47.80$$

X.- Cálculo del número de Unidades de Transferencia en fase gas.

$$N_G = (\rho_G D_V^* / \eta_V)^{0.5} \{0.776 + 116 \times$$

$$h_w - 0.29 F_{va} + 0.0217 (L/W_A) + 0.2 \Delta \}$$

Cálculo de la Difusividad en fase gas por medio de -
la ecuación de Arnold y Gilliland. (6)

$$D_V^* = 0.0043 \{T^{\frac{3}{2}}/P (V_A^{\frac{1}{3}} + V_B^{\frac{1}{3}})^2 \} \times$$

$$\sqrt{1/M_A + 1/M_B} \quad (\text{cm}^2/\text{seg})$$

$$V_A = 94.30 \text{ cm}^3/\text{g mol} \quad M_A = 73.09$$

$$V_B = 18.80 \text{ cm}^3/\text{g mol} \quad M_B = 18.00$$

$$T = 94^\circ\text{C} = 367.15^\circ\text{K}$$

$$P = 586 \text{ mm Hg} = 0.77 \text{ atm.}$$

$$D_V^* = 0.0043 \left\{ (367.15)^{\frac{3}{2}} / 0.77 (94.3^{\frac{1}{3}} + 18.8^{\frac{1}{3}})^2 \right\} \times \sqrt{1/73.09 + 1/18}$$

$$D_V^* = 0.20 \text{ cm}^2/\text{seg} = 0.77 \text{ ft}^2/\text{hr}$$

$$\Delta = 1.6 \text{ mm} = 0.06 \text{ in}$$

$$h_w = 83.22 \text{ mm} = 3.28 \text{ in}$$

$$\eta_v = 0.0128 \text{ cp} = 0.0307 \text{ lb ft/hr}$$

$$N_G = (0.0282 \times 0.77/0.03)^{0.5} \{0.776 + 0.0116 \times 3.28 - 0.29 (2.04) + 0.217 (0.201) + 0.2 (0.06)\}$$

$$N_G = 0.494$$

XI.- Cálculo de la eficiencia total en fase gas (E_{OG}) con cada uno de los cuatro casos mencionados en el punto N° V.

$$-\log (1 - E_{OG}) = 0.434 N_L N_G / (N_L + \lambda N_G)$$

$$\text{Caso 1; } -\log (1 - E_{OG}) = 0.434 \times \{47.80 \\ (0.494)/47.80 + 4.31 (0.494)\}$$

$$E_{OG_1} = 0.376$$

$$\text{Caso 2; } -\log (1 - E_{OG}) = 0.434 \times \{47.80 \\ (0.494)/47.80 + 15.53 (0.494)\}$$

$$E_{OG_2} = 0.347$$

$$\text{Caso 3; } -\log (1 - E_{OG}) = 0.434 \times \{47.80 \\ (0.494)/47.80 + 45.37 (0.494)\}$$

$$E_{OG_3} = 0.286$$

$$\text{Caso 4; } -\log (1 - E_{OG}) = 0.434 \times \{47.80 \\ (0.494)/47.80 + 101.87 (0.494)\}$$

$$E_{OG_4} = 0.213$$

Tomando un promedio de los valores anteriores.

$$E_{OG} = 0.306$$

XII.- Cálculo del por ciento de resistencia en fase lí -
quida, (% r_L).

$$\% r_L = \lambda N_G (100)/N_L + \lambda H_G$$

$$\text{Caso 1; } \% r_{L_1} = \frac{4.31 (0.494) (100)}{47.80 + 4.31 (0.494)}$$

$$\% r_{L_1} = 4.264$$

$$\text{Caso 2; } \% r_{L_2} = \frac{15.53 (0.494) (100)}{47.80 + (15.53) (100)}$$

$$\% r_{L_2} = 13.83$$

$$\text{Caso 3; } \% r_{L_3} = \frac{45.27 (0.494) (100)}{47.80 + (45.27) (0.494)}$$

$$\% r_{L_3} = 31.87$$

$$\text{Caso 4; } \% r_{L_4} = \frac{101.87 (0.494) (100)}{47.80 + (101.87) (0.494)}$$

$$\% r_{L_4} = 51.29$$

XIII.- Cálculo del coeficiente de Difusividad de Eddy,

(D_e)

$$D_e = \{1 + 0.044 (\phi - 3)\}^2 \{0.0124 + 0.15 h_w + 0.017 U_{va} + 0.0025 (Q_L/W_A)\}^2$$

Díametro de capucha $(\phi) = 3.94$ in

$$D_e = \{1 + 0.044(3.94 - 3)\}^2 \{0.0124 + 0.15 (3.28) + 0.017 (11.77) + 0.0025 (0.201)\}^2$$

$$D_e = 0.539$$

XIV.- Cálculo del Número de Peclet.

$$L' = \text{Distancia entre vertederos} = 1.83 \text{ ft.}$$

$$P_e = L'^2 / D_e \phi_L$$

$$P_e = (1.83)^2 / (0.532) (80.99)$$

$$P_e = 0.077$$

XV.- Evaluar E_{MV}/E_{OG}

$$\text{Caso 1; } \lambda E_{OG} = (4.31) (0.376) = 1.621$$

$$E_{MV}/E_{OG} = 1.1$$

$$E_{MV_1} = 0.414$$

$$\text{Caso 2; } \lambda E_{OG} = (15.53) (0.347) = 5.389$$

$$E_{MV}/E_{OG} = 1.1$$

$$E_{MV_2} = 0.382$$

$$\text{Caso 3; } \lambda E_{OG} = (45.37) (0.286) = 12.976$$

$$E_{MV}/E_{OG} = 1.2$$

$$E_{MV_3} = 0.343$$

$$\text{Caso 4; } \lambda E_{OG} = (101.87) (0.213) = 21.698$$

$$E_{MV}/E_{OG} = 1.4$$

$$E_{MV_h} = 0.298$$

Tomando un promedio de los valores anteriores:

$$E_{MV} = 0.359$$

XVI.- Cálculo del espaciamiento aparente entre platos,
(h_a).

$$h_a = h - h_f$$

$$h_a = 16 - 15.13$$

$$h_a = 0.87 \text{ in}$$

XVII.- Utilizando U_{va}/h_a se encuentra $e_w \sigma$

$$U_{va}/h_a = 13.53$$

$$\Rightarrow e_w \sigma = 18$$

Tensión Superficial DMF a 25°C (σ) = 35.2 Di -
nas/cm.

$$\therefore e_w = 18/35.2 = 0.511$$

XVIII.- Cálculo del total de la fracción líquida a la entrada.

$$r_e = 449 e_w G \rho_G / L \rho_L$$

$$r_e = \frac{449 (0.511) (10.59) (0.03)}{(0.453) (54.57)}$$

$$r_e = 2.949$$

XIX.- Cálculo de la eficiencia de plato húmedo (E_w) y la eficiencia total (E_o).

$$E_w = E_{MV} / 1 + r_e E_{MV}$$

$$\text{Caso 1; } E_{w1} = 0.186$$

$$\text{Caso 2; } E_{w2} = 0.180$$

$$\text{Caso 3; } E_{w3} = 0.171$$

$$\text{Caso 4; } E_{w4} = 0.159$$

Promedio de los valores anteriores = 0.174

$$E_o = \frac{\log \{1 + E_w (\lambda - 1)\}}{\log \lambda}$$

$$\text{Caso 1; } E_{o1} = \frac{\log \{1 + 0.186 (4.3 - 1)\}}{\log 4.3} = 0.328$$

Caso 2;

$$E_{O_2} = \frac{\log \{1 + 0.180 (15.53 - 1)\}}{\log 15.53} = 0.469$$

Caso 3;

$$E_{O_3} = \frac{\log \{1 + 0.171 (45.37 - 1)\}}{\log 45.37} = 0.564$$

Caso 4;

$$E_{O_4} = \frac{\log \{1 + 0.159 (101.87 - 1)\}}{\log 101.87} = 0.613$$

Promedio de la eficiencia total:

$$\bar{E}_O = 0.494$$

b) Cálculo del número de Platos Reales.

Utilizando los valores de las eficiencias obtenidas anteriormente, en cada uno de los cuatro casos, se construye una gráfica nueva N° 11 tomando los valores de la eficiencia como los valores del equilibrio real, a partir de ésta curva y por el método gráfico se obtiene el número de platos reales.

$$X_C = 0.960$$

$$Y_C = 0.988$$

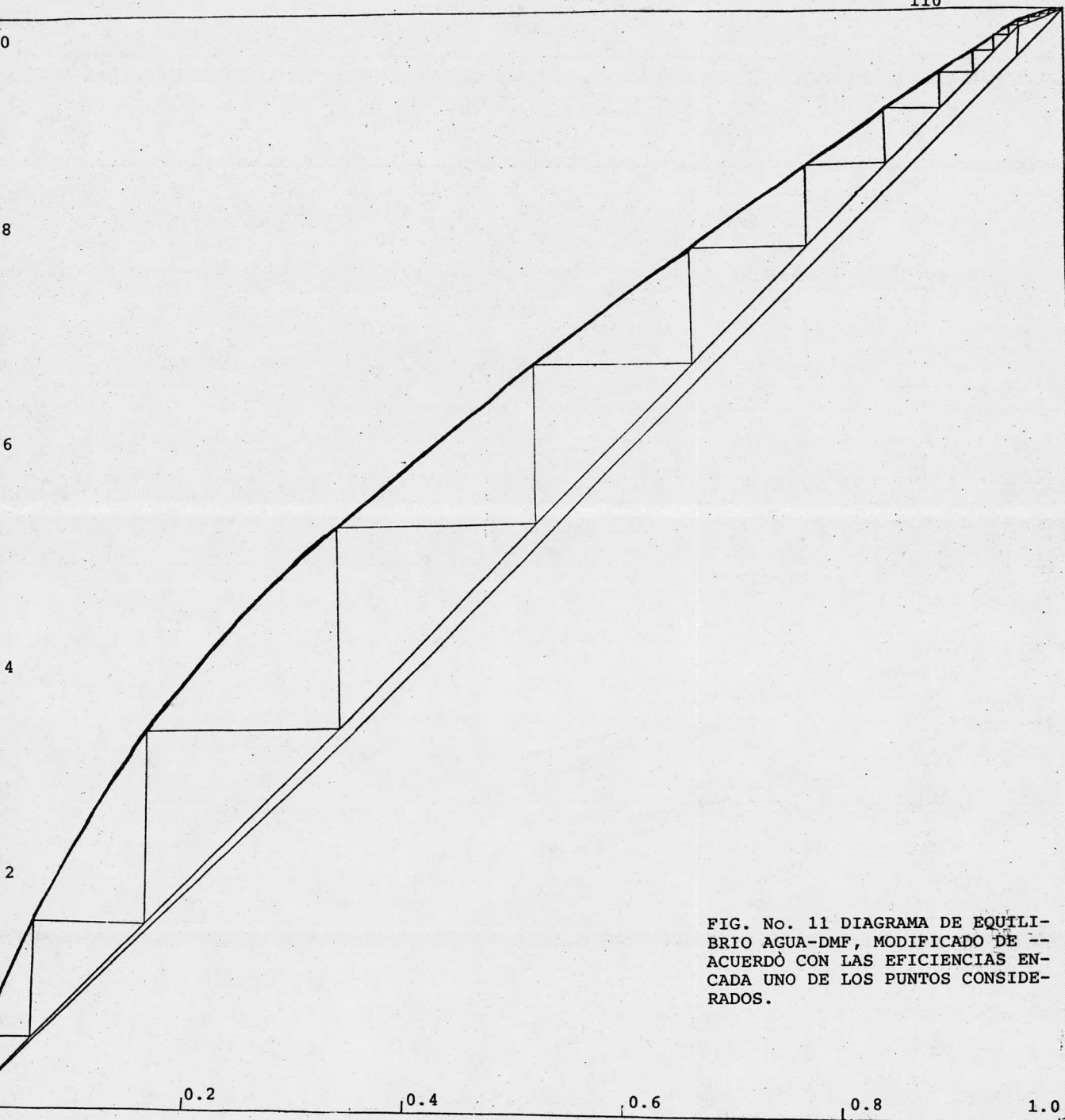


FIG. No. 11 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO AGUA-DMF, MODIFICADO DE -- ACUERDO CON LAS EFICIENCIAS EN CADA UNO DE LOS PUNTOS CONSIDERADOS.

$$(L/V) \text{ min} = (L/D_*) \text{ min} / (L/D_*) \text{ min} + 1$$

$$(L/V) \text{ min} = \frac{X_D - Y_C}{X_D - X_C} = \frac{0.999 - 0.988}{0.999 - 0.960}$$

$$(L/V) \text{ min} = 0.282 \frac{\text{mol reflujo}}{\text{mol vapor}}$$

$$(L/D_*) \text{ min} / (L/D_*) \text{ min} + 1 = 0.282$$

$$\Rightarrow (L/D_*) \text{ min} = 0.393$$

Para platos teóricos se utiliza 1.5 veces el valor de $(L/D_*) \text{ min}$ obtenido.

$$(L/D_*) = 1.5 (0.393) = 0.589$$

Pendiente de la línea de operación a éste reflujo.

$$(L/V) = (L/D_*) / (L/D_*) + 1$$

$$(L/V) = 0.589 / 0.589 + 1 = 0.371$$

Para obtener todas las líneas de la gráfica.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$X_2 = 0.999 \quad ; \quad Y_2 = 0.999$$

Suponemos $X_1 = 0.9$

$$\Rightarrow 0.371 = \frac{0.999 - y_1}{0.999 - 0.9}$$

$$\therefore y_1 = 0.962$$

Construyendo la gráfica y obteniendo el número de -- platos reales por método gráfico, se obtiene:

$$N_R = 20 \text{ platos reales.}$$

Con objeto de asegurarnos de éste valor, se puede - obtener el número de platos reales, dividiendo el nú - mero de platos teóricos obtenidos en un principio - entre el promedio de la eficiencia total.

$$N_R = N_T/E_o = 10/0.494$$

$$N_R = 20.24$$

Este resultado está de acuerdo con el obtenido por - el otro método.

c) Localización del Plato de Alimentación.

La localización del plato de alimentación, tanto en - la sección de rectificación (S_R) como en la de agota - miento (S_a), puede ser determinada por medio de la - relación entre el número total de los estados teóri-

-cos arriba ($n + 1$) y abajo ($m + 1$) del plato de alimentación, basándonos en la ecuación de Frenske para el reflujo total. (1)

$$\frac{S_R}{S_a} = \frac{n + 1}{m + 1} = \frac{\log (X_1/X_h)_D (X_h/X_1)_F}{\log (X_1/X_h)_F (X_h/X_1)_B}$$

Donde los datos de alimentación son:

$$X_{\text{H}_2\text{O Alimentación}} = X_{1F} = 0.95800$$

$$X_{\text{H}_2\text{O Domos}} = X_{1D} = 0.99900$$

$$X_{\text{H}_2\text{O Fondos}} = X_{1B} = 0.00016$$

$$X_{\text{DMF Alimentación}} = X_{hF} = 0.04200$$

$$X_{\text{DMF Domos}} = X_{hD} = 0.00100$$

$$X_{\text{DMF Fondos}} = X_{hB} = 0.99984$$

$$\Rightarrow \frac{S_R}{S_a} = \frac{\log (0.999/0.001) (0.042/0.958)}{\log (0.958/0.042) (0.99984/0.00016)}$$

$$\therefore \frac{S_R}{S_a} = 0.32$$

Una vez resuelta la relación (S_R/S_a), el punto de alimentación en la sección de rectificación, se obtiene -

a partir de la siguiente forma:

(1)

$$N_R = S_R + S_a$$

$$N_R = S_a (S_R/S_a) + S_a$$

$$20 = S_a (0.32) + S_a$$

$$20 = S_a (1 + 0.32)$$

$$S_a = \frac{20}{(1 + 0.32)} = 15.17$$

∴ S_a estará localizado en el 15^a plato.

S_R se obtendrá por diferencia.

=> S_R se localizará en el 5^a plato.

5) Diseño Mecánico.

a) Datos para el Diseño Mecánico.

Altura de la Torre (H_T) = 10.4 m = 34.12 ft

Al utilizar acero inoxidable 304 tenemos que:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{acero inoxidable 304}} = \\ 0.29 \text{ lb/in}^3 = 500.86 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned} \quad (9)$$

Tolerancia a la corrosión en 10 años (C)

$$C = 0.012 \text{ in} \quad (8)$$

En lo referente a la velocidad máxima del viento - registrada en la ciudad de México, a partir del - año de 1971, se obtuvo el siguiente dato:

$$\text{Velocidad máxima del viento} = 22.9 \text{ m/seg} \quad (12)$$

Por seguridad se tomará una velocidad máxima del viento (v_w) de:

$$v_w = 30 \text{ m/seg} = 67.07 \text{ mi/hr}$$

A partir de la coorelación desarrollada por la -- U. S. Bureau, en la cuál se obtiene la presión del viento por medio de la velocidad del viento, obte-
nemos: (13)

$$P_w = 20.79 \text{ lb/ft}^2$$

Cálculo de la presión interna debida a la columna de agua.

$$P_o = H_T \rho_{\text{agua}}$$

donde: $\rho_{\text{agua}} = 1,000 \text{ Kg/m}^3 = 62.3 \text{ lb/ft}^3$

$$P_o = (10.4) (1,000) = 10,400 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_o = 14.79 \text{ lb/in}^2$$

Cálculo del espesor necesario de la cubierta considerando la presión interna:

$$\text{Presión de diseño } (P_D) = 30 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{Diámetro de la columna } (D) = 2.5 \text{ ft} = 0.762 \text{ m}$$

$$\text{Esfuerzo admisible } (S_A) = 17,000 \text{ lb/in}^2 \quad (9)$$

$$\text{Eficiencia de la junta } (E) \text{ a tope, sin placa de refuerzo del código API - ASME} = 0.7 \quad (13)$$

Cálculo del espesor de la cubierta considerando la presión interna:

$$t = \frac{P_D D}{2 S_A E - P_D} + C$$

$$t = \frac{(30)(30)}{\{2(17,000)(0.7)\} - 30} + 0.012$$

$$\therefore t = 0.050 \text{ in}$$

Siendo el espesor práctico más próximo de 1/20 in

- b) Esfuerzos en la Cubierta, debido a Cargas Muertas, Viento y Sismo.

Considerando los esfuerzos en la línea tangente, parte inferior del recipiente. Para lo cual procederemos al cálculo del peso estimado en operación, sin incluir faldones:

$$r = 1.25 \text{ ft}$$

$$H_T = 34.12 \text{ ft}$$

$$H_* = 1 \text{ ft}$$

$$\text{Cilindro} = 2 \pi r H_T = a$$

$$2 \text{ Cabezales} = 2 \{ \pi (r^2 + H_*^2) \} = b$$

$$21 \text{ Platos} = 21 (\pi D^2 / 4) = c$$

$$a = 2 \pi (1.25) (34.12) = 267.98 \text{ ft}^2$$

$$b = 2 \{ \pi (1.25^2 + 1^2) \} = 16.10 \text{ ft}^2$$

$$c = 21 \{ \pi (2.5)^2 / 4 \} = 103.08 \text{ ft}^2$$

$$\text{Area Total de la Torre } (A_{tT}) = a + b + c = 387.16 \text{ ft}^2$$

Cálculo del peso de la Torre vacía (W_{TV}).

$$\text{Cantidad de Acero} = 387.16 (0.05/12)$$

$$\text{Cantidad de Acero} = 1.613 \text{ ft}^3$$

$$W_{TV} = \text{Cantidad de Acero} \times \rho_{\text{acero}}$$

$$W_{TV} = 1.613 \text{ ft}^3 \times 500.86 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_{TV} = 807.97 \text{ lb}$$

Peso del agua, lleno completo para prueba hidrostática (W_{PH}).

$$\text{Volúmen del Cilindro} = \pi r^2 H_T = A'$$

$$\text{Volúmen de 2 Cabezales} = 2 \left\{ \frac{1}{2} \pi H_* \left(r^2 + \frac{H_*}{3} \right) \right\} = B'$$

$$A' = \pi (1.25)^2 (34.12) = 167.49 \text{ ft}^3$$

$$B' = 2 \left\{ \frac{1}{2} \pi \times 1 \left(1.25^2 + \frac{1}{3} \right) \right\} = 5.96 \text{ ft}$$

$$\text{Volúmen total de la Torre } (V_{tT}) = A' + B' = 173.45$$

$$W_{PH} = W_{tT} \times \rho_{\text{agua}}$$

$$W_{PH} = 173.45 \times 62.3$$

$$\therefore W_{PH} = 10,805.94 \text{ lb}$$

Cálculo del peso total de la Torre (W_{tT})

$$W_{tT} = W_{TV} + W_{PH}$$

$$W_{tT} = 807.97 + 10,805.94$$

$$W_{tT} = 11,613.91 \text{ lb}$$

Considerando los esfuerzos producidos por las cargas del viento.

Espesor basado en los esfuerzos correspondientes al lado de barlovento. (13)

$$S = S_A E = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' t} - \frac{W_{tT}}{\pi D t} + \frac{P D}{4 t}$$

$$S = (17,000) (0.7) = 11,900 \text{ lb/in}^2$$

$$= t = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' (11,900)} - \frac{W_{tT}}{\pi D (11,900)} + \frac{P D}{4 (11,900)}$$

$$t = \frac{2 (20.79) (34.12)^2}{(30.5) (11,900)} - \frac{11,613.91}{(30) (11,900)} + \frac{(30) (30)}{4 (11,900)}$$

$$t = 0.05 \text{ in}$$

Espesor considerando los esfuerzos correspondientes -
al lado de sotavento. (13)

$$S = S_A E = \frac{2 P_w H_t T^2}{\pi D' t} + \frac{W_{tT}}{\pi D_m t} - \frac{P D_m}{4 t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{2 P_w H_t T^2}{\pi D' S} + \frac{W_{tT}}{\pi D_m S} - \frac{P D_m}{4 S}$$

$$t = \frac{2(20.79)(34.12)^2}{\pi (30.5)(11,900)} + \frac{11,613.91}{\pi (30.25)(11,900)} - \frac{30(30.25)}{4(11,900)}$$

$$t = 0.034 \text{ in}$$

Para el espesor basado en el pandeo se considera que, el paso total del agua es la condición más desfavorable, usando la ecuación de Jorgensen para el esfuerzo admisible por pandeo. (13)

$$S_B = \{ 2 \times 10^6 (t^*/D) \} E_1$$

donde:

$$E_1 = \text{factor de seguridad} = 0.8 \quad (13)$$

$$t^* = t - t_{\text{corroído}} = 0.050 - 0.012$$

$$\therefore t^* = 0.038 \text{ in}$$

$$\Rightarrow S_B = 2 \times 10^6 (0.038/30) 0.8 = 2,026.67 \text{ lb/in}^2$$

El espesor por pandeo se calculará conforme a la siguiente ecuación: (11)

$$t = \frac{2 P_w H_{tT}^2}{\pi D' S_B} + \frac{W_{tT}}{\pi D_m S_B}$$

$$t = \frac{2 (20.79) (34.12)^2}{\pi (30.5) (2,026.67)} + \frac{11,613.91}{\pi (30.25) (2,026.67)}$$

$$\therefore t = 0.31 \text{ in}$$

Como en el caso de la Torre de Absorción, aquí también todos los valores resultaron menores que el basado en el esfuerzo admisible por pandeo; por lo tanto, el valor de espesor necesario es el obtenido por medio del pandeo.

$$\therefore \text{Espesor práctico más próximo} = 3/8''$$

6) Diseño del Faldón.

Se empleará un faldón con sección circular, un acero SA-283-C, cuya resistencia es de 885 Kg/cm^2 , dándose una eficiencia en la junta soldada del 49% e incremento por el factor 1.33 por efectos de sismo o viento, se analizarán dos secciones críticas que son, la unión cascarón y la sección más baja o sea la línea de base.

Cálculo del espesor del faldón:

Utilizando la fórmula de la Elipse.

$$Y = \frac{B}{H} (H^2 - Z^2)$$

$$B = D'/4 = 30.5 \text{ in}/4 = 7.63 \text{ in} = 19.37 \text{ cm}$$

$$H = D'/2 = 30.5 \text{ in}/2 = 15.25 \text{ in} = 38.74 \text{ cm}$$

$$Z = H - X_*$$

Suponemos el valor de $X_* = \frac{3''}{4} = 1.91 \text{ cm}$

$$\therefore Z = 38.74 - 1.91 = 36.84$$

$$\Rightarrow Y = \frac{19.37}{38.74} (38.74^2 - 36.84^2)$$

$$Y = 71.80 \text{ cm}$$

Espesor del Faldón en la junta Faldón - Cabezal.

$$\text{Esfuerzo Permisible } (S_A) = 885 \times 1.33 \times 0.49$$

$$\therefore S_A = 576.75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Diámetro Medio } (D_m) = D' - t_{\text{faldón}} = 77.47 - 0.95$$

$$\therefore D_m = 76.52 \text{ cm}$$

$$\text{Circunferencia Media } (C_m) = \pi D_m = \pi (77.47)$$

$$\therefore C_m = 243.38 \text{ cm}$$

$$\text{Area Media } (A_m) = \pi D_m^2 / 4 = \pi (77.47)^2 / 4$$

$$\therefore A_m = 4,713.65 \text{ cm}^2$$

Peso de operación en la línea tangencial (W_{LT})

$$W_{LT} = 791.17 + 10,620.28$$

$$\therefore W_{LT} = 11,411.45 \text{ Kg}$$

Fuerza Sísmica (F_S)

$$F_S = C_S W_{LT} = 0.04 \times 11,411.45$$

$$\therefore F_S = 456.46 \text{ Kg}$$

Momento en la línea tangencial (M_{LT}) = $F_S H_{LT}$

Donde la altura de la línea tangencial (H_{LT}) = 10.4 m

$$\Rightarrow M_{LT} = 456.46 \times 10.4 = 4,747.16 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$\therefore M_{LT} = 474,716.32 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Obtención del esfuerzo máximo del faldón.

$$\text{Compresión} = W_{LT}/C_m = 11,411.45/243.38$$

$$\text{Compresión} = 46.89 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Flexión} = M_{LT}/A_m = 474,716.32/4,713.65$$

$$\text{Flexión} = 100.71 \text{ Kg/cm}$$

$$\therefore \text{Compresión} + \text{Flexión} = 147.60 \text{ Kg/cm}$$

El espesor de la línea tangencial (t_{LT}), será:

$$t_{LT} = \frac{147.60}{576.75} = 0.26 \text{ cm} < 1.91$$

Espesor del faldón en la línea base con prueba hidrostática y momento de viento.

$$W_{tT} = 5,267.98 \text{ Kg}$$

$$\text{Momento de viento } (M_w) = A_* Y_* P_w C_*$$

donde:

$$\begin{aligned} \text{Area expuesta.} \quad A_* &= 379.11 \text{ ft}^2 = 35.22 \text{ m}^2 \\ \text{Altura expuesta.} \quad Y_* &= 33.87 \text{ ft} = 10.32 \text{ m} \\ \text{Presión del viento.} \quad P_w &= 20.79 \text{ ft}^2 = 101.51 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

El porcentaje debido a cargas de viento para éste tipo de recipientes verticales debido a plataformas, es caleras y tuberías (C_*) = 10% según estándar. (14)

$$\Rightarrow M_w = (30.22) (10.32) (101.51) (1.1)$$

$$M_w = 40,599.53 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$\therefore M_w = 4,059,953.17 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$\text{Compresión} = W_{tT}/C_m = 5,267.98/243.38$$

$$\text{Compresión} = 21.65 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Flexión} = M_w/A_m = 4,059,953.17/4,713.65$$

$$\text{Flexión} = 861.32 \text{ Kg/cm}$$

$$\therefore \text{Compresión} + \text{Flexión} = 882.97 \text{ Kg/cm}$$

El espesor de la línea base (t_{Lb}), será:

$$t_{Lb} = \frac{882.97}{576.75} = 1.53 \text{ cm} < 1.91$$

Como se observa el espesor gobernante es de 1.53 cm - en la parte inferior con carga hidrostática y viento,

-al igual que en la Torre de Absorción, por lo tanto-
nuestra suposición de 1.91 es válida.

7) Anclaje.

Se utilizarán pernos de anclaje, siendo la ecuación de carga por ancla (C_a), la siguiente:

$$C_a = \frac{4 M - W D_{ca}}{n D_{ca}}$$

Consideraremos un diámetro práctico para anclas de 6.4 cm. (2 $\frac{1}{2}$ ")

$$D_{ca} = D' + 2 (D_a + 2.54)$$

$$D_{ca} = 30.5 + 2 (6.4 + 2.54)$$

$$D_{ca} = 40.38 \text{ cm.}$$

Circunferencia de Anclas = $\pi D_{ca} = 151.99 \text{ cm.}$

$$n_{\text{máximo}} = \frac{151.99}{35} = 4.34$$

Propondremos 4 anclas que es el múltiplo de 4, utilizando acero normal e incrementado por los efectos de viento y sismo, el esfuerzo permisible de anclas es de:

$$985 \times 1.33 = 1,310.05 \text{ Kg/cm}^2. \quad (9)$$

Como hemos visto, la sección más crítica es la parte inferior con carga hidrostática y viento, por lo tanto,

calcularemos las anclas en este punto, donde:

$$M_w = 4,059,953.17 \text{ Kg} - \text{cm}.$$

$$W_{tT} = 5,267.98 \text{ Kg}$$

$$\Rightarrow C_a = \frac{4(4,059,953.17) - 5,267.98 (151.99)}{4 \times 151.99}$$

$$C_a = 25,394.98 \text{ Kg}.$$

$$\text{Area requerida} = \frac{C_a}{S_A} = \frac{25,394.98}{1,310.05} = 19.38 \text{ cm} < 24$$

Con anclas de 64 mm (2 $\frac{1}{2}$ ") es satisfactorio, en el -
estándard A2.602, indica que para éste tipo de anclas,
sólo se tiene una área en la raíz de 24 cm²

8) Aro Base con Análisis Estático. (14)

Como el faldón no puede descansar directamente sobre la cimentación de concreto, ya que los esfuerzos de penetración serían muy grandes y el concreto no resistiría, para evitar esto, se usa un aro base; que es una placa en forma de aro, que tiene por objeto aumentar el área de apoyo sobre el concreto.

Para el cálculo del aro base utilizaremos un esfuerzo permisible del concreto de 52.7 Kg/cm^2 . (16)

Tomando el momento gobernante que es el del viento, tenemos:

$$\text{Ancho del Aro Base} = \frac{\text{Flexión} + \text{Compresión}}{\text{Aplastamiento del Concreto}}$$

$$\text{Flexión} = M_w / A_m = 4,059,953.17 / 4,713.65$$

$$\therefore \text{Flexión} = 861.32 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Compresión} = W_{tT} / C_m = 5,267.98 / 243.38$$

$$\therefore \text{Compresión} = 21.65 \text{ Kg/cm}$$

$$\Rightarrow \text{Ancho del Aro Base} = \frac{861.32 + 21.65}{52.7} = 16.75 \text{ cm}$$

9) Cimentación.

La línea de congelación está a 0.77 m abajo de la rasante, por lo tanto, la cimentación tendrá una profundidad de 1.8 m, con el lecho superior a 0.19 m arriba de la rasante, de manera que el desplante de la cimentación queda a 0.96 m abajo de la misma, o sea a 0.19 m abajo de la línea de congelación.

La cimentación tendrá forma octagonal. El soporte del cimientó tendrá un diámetro menor de 1.8m, ya que la Torre tiene 0.77 m y deberá dejarse espacio para las anclas, etc.

Se supondrá que el diámetro menor de la base es de 2.6 m.

El espesor de la base dependerá de los esfuerzos de flexión y de los de corte, lo supondremos de 0.39 m.

Cálculo para el peso del cimientó.

Area del octágono, 1.8 m.	=	0.828 d ²	=	2.68 m ²
Volúmen del soporte.	=	0.77 × 2.68	=	2.07 m ³
Area, octágono base.	=	0.828 × 2.6 ²	=	5.60 m ²
Volúmen de la base.	=	0.39 × 5.6	=	2.18 m ³
Volúmen total.	=	2.07 + 2.18	=	4.25 m ³
Carga máxima, terreno.	=	10 ton/m ²	=	1 Kg/cm ²

$$\text{Peso del concreto "Portland"} = 2,403 \text{ Kg/m}^3 \quad (16)$$

$$\text{Peso del cimiento} = 4.25 \times 2,403 = 10,209.47 \text{ Kg}$$

Como es un cimiento por substitución:

$$\text{Peso de la tierra de relleno} = 1,440 \text{ Kg/m}^3 \quad (16)$$

Volúmen de la tierra de relleno:

$$(0.77 \text{ m} - 0.19 \text{ m}) (5.6 \text{ m}^2 - 2.68 \text{ m}^2) = 1.69 \text{ m}^3$$

Peso del relleno de tierra:

$$(1.69) \times (1,440.00) = 2,438.78 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de la Torre vacía (} W_{TV} \text{)} = 366.49 \text{ Kg}$$

Peso de la Torre y su cimiento (W_t)

$$W_t = 366.49 + 10,209.47 + 2,438.78 = 13,014.74 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de la Torre llena de agua (} W_{tT} \text{)} = 5,267.98 \text{ Kg}$$

Peso de la estructura y cimentación (\bar{W})

$$\bar{W} = W_t + W_{tT} = 13,014.74 \text{ Kg} + 5,267.98 \text{ Kg}$$

$$\bar{W} = 18,282.72 \text{ Kg}$$

Presión de desplante (S_1)

$$S_1 = \bar{W}/\text{área octágono base} = 18,282.72/5.6$$

$$S_1 = 3,264.77 \text{ Kg/m}^2 = 0.3265 \text{ Kg/cm}^2$$

Diámetro efectivo expuesto a la presión del viento -

$$(D_o) = 0.7747 \text{ m}$$

La presión sobre el área proyectada por la Torre en un plano normal a la dirección del viento (P_c)

$$P_c = 0.0047 (v_w)^2$$

$$P_c = 0.0047 (108 \text{ Km/hr})^2 = 54.821 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Altura de la Torre } (H_T) = 10.4 \text{ m}$$

Cálculo de la carga total del viento (P_w'')

$$P_w'' = P_c D_o H_T = 54.821 \times 0.7747 \times 10.4$$

$$\therefore P_w'' = 441.69 \text{ Kg}$$

$$\text{Altura del cimientto} = 1.8 \text{ m}$$

Cálculo del brazo de palanca (z)

$$z = 1.8 + (10.4/2) = 7 \text{ m}$$

$$z = 700 \text{ cm}$$

Momento de vuelco con relación a la base del cimien -
to (M_f)

$$M_f = P_w' \cdot z = (441.69) \cdot (700)$$

$$M_f = 309,183.00 \text{ Kg cm}$$

Módulo de sección para la base octagonal de cimenta -
ción (Z)

$$Z = 0.1016 d^3 = 0.1016 (260)^3$$

$$Z = 1,785,721.59 \text{ cm}^3$$

Carga unitaria en el suelo, debido al vuelco (S_z)

$$S_z = M_f/Z = 309,183.00/1,785,721.59$$

$$S_z = 0.1731 \text{ Kg/cm}^2$$

Carga total máxima en el suelo (S_o)

$$S_o = S_1 + S_z = 0.3265 + 0.1731$$

$$S_o = 0.4996 \text{ Kg/cm}^2$$

Esta carga es satisfactoria, ya que el suelo soporta
con seguridad una carga de 1 Kg/cm²

Carga mínima en el suelo debido a la carga muerta -
(S_2).

$$S_2 = W_t / \text{área octágono base} = 13,014.74 / 5.6$$

$$S_2 = 2,324.06 \text{ Kg/m}^2 = 0.2324 \text{ Kg/cm}^2$$

Esta será la carga muerta en el peor de los casos, y al ser mayor que S_z , el suelo que queda debajo de la cimentación estará trabajando en compresión en todos los puntos, indicando con ésto el hecho de que la cimentación es estable.

VARIABLES DEL FALDÓN EN
LA TORRE DE DESTILACIÓN

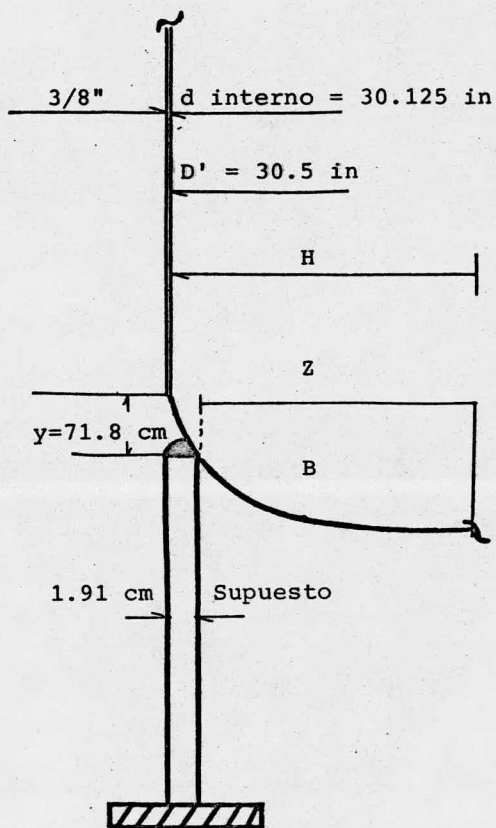


FIGURA No. 12

CAPITULO CUATRO.

CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

- 1) Torre de Absorción.
 - a) Especificaciones de la Torre de Absorción.
 - b) Costo estimado para la Torre de Absorción.

- 2) Torre de Destilación.
 - a) Especificaciones de la Torre de Destilación.
 - b) Costo estimado para la Torre de Destilación.

- 3) Criterios para la Evaluación del Diseño.

CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

Consideraciones Económicas.

El presente estudio como se ha mencionado, se encuentra íntimamente ligado a la realidad económica, lo cual nos lleva a buscarla en nuestro diseño.

Para poder determinar la veracidad de la economía del di seño, será necesario evaluar los costos estimados del equipo y de la operación, como parámetros principales, para con ésto tomar la determinación necesaria con respecto al proyecto presentado.

Una vez terminadas las especificaciones del equipo, se controlará el costo del proyecto, dependiendo del tipo de estimado aprobado.

La exactitud del costo dependerá del tipo de estimado y de la confiabilidad de los datos de costo, fluctuando en un ± 40% y con un acercamiento del ± 3% para un esti mado muy detallado. (21)

En una situación económica inflacionaria, el lado positivo tiene una tendencia mayor. Los tipos para la evaluación de estimados para industrias de procesos químicos, se presentan a continuación:

Estimados para inversión de Capital:

(21)

<u>TIPO DE ESTIMADO</u>	<u>BASE USUAL</u>	<u>EXACTITUD PROBABLE, %</u>
Orden de Magnitud, (Relación de estimado).	Previa Información de costos similar.	+ 40
Estudio, (Factor estimado).	Conocimiento de la hoja de datos y del equipo de proceso.	+ 25
Preliminar, (Presupuesto inicial objetivo).	Preparación de datos suficientes para el presupuesto.	+ 12
Definitivo, (Control del proyecto).	Datos detallados pero complementados con dibujos.	+ 6
Detallado, (Aprobación, contratista).	Dibujos y especificaciones finalizados.	+ 3

Costos típicos para preparación de los tres tipos más comunes de estimados, son presentados en la si -

guiente tabla, donde las cantidades representan sala - rios, gastos y viajes para ingeniería, así como estima - ción en la planeación y costos:

Rangos típicos de costos para la producción de estima - dos (1976). (21)

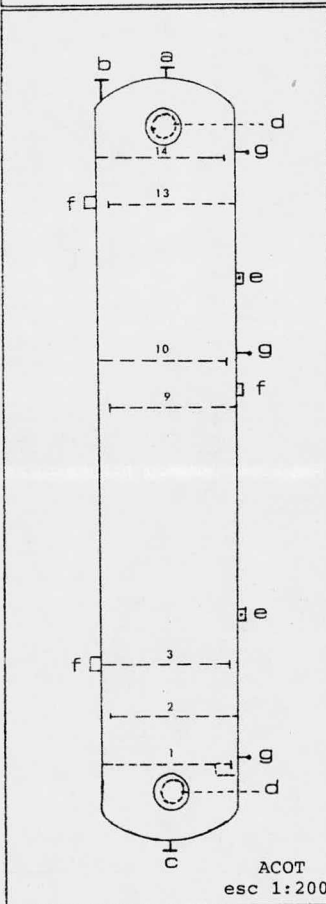
- TAMANO DEL PROYECTO -
EN MILES DE DOLARES

<u>TIPO DE ESTIMADO</u>	<u>MENOS de 1</u>	<u>1 a 5</u>	<u>5 a 50</u>
Estimados del es - tudio U.S. \$ mi - les.	5 a 15	12 a 30	20 a 40
Estimado prelimi - nar, U.S. \$ mi - les, (Objetivo ó autorización).	15 a 35	30 a 60	50 a 90
Estimado defini - tivo, U.S. \$ mi - les (Control del proyecto).	25 a 60	60 a 120	100 a 230

Nuestro objetivo será obtener el estimado del presente - estudio.

TRABAJO <u>Torre de Absorción</u> ELABORADO <u>Facultad de Química.</u>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ESPECIFICACIONES DE LA TORRE	HOJA N° <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="width: 33%;">1</td> <td style="width: 33%;">DE</td> <td style="width: 33%;">2</td> </tr> </table> N° DE UNIDADES <u>Una</u>	1	DE	2
1	DE	2			

SERVICIO: <u>Recuperación de DMP</u>	MEDIDAS: ALTURA <u>7.6</u>	M. DIAMETRO <u>1.52</u>	M.
N° DE PLATOS: <u>14</u>	TIPO <u>Capuchas de Burbujeo</u>	CAPUCHAS <u>100</u>	M.M.



CONDICIONES MECANICAS Y DE OPERACION	
PRESION DE OPERACION: <u>560</u> MMHG	TEMPERATURA DE OPERACION: <u>30</u> °C
PRESION DE DISEÑO: <u>1034</u> MMHG	TEMPERATURA DE DISEÑO <u>30</u> °C
CODIGO: <u>ASME</u>	AUTOSOPORTE: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
MATERIALES: CORAZA <u>*</u>	CABEZAS <u>*</u>
FALDON <u>*1</u>	
FORRO: METAL <u>---</u>	PLASTICO O HULE <u>---</u>
LADRILLO <u>---</u>	CEMENTO <u>---</u>
TOLERANCIA A LA CORROSION INTERNA <u>0.012 in en 10 años</u>	
AISLAMIENOTOS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	

LISTA DE BOQUILLAS				
SERVICIO	N° REQUERIDO	TAMAÑO	MATERIAL	MARCA
ALIMENTACION *	1	3"		A
REFLUJO	-	-	-	-
SALIDA DE VAPOR	1	3"		B
SALIDA LIQUIDO	1	2"		C
VAPOR REBOI	-	-	-	-
LIQUIDO REBOI	-	-	-	-
DRENAJE	-	-	-	-
VALVULA DE SEGURIDAD	-	-	-	-
ENTRADA HOMBRE	2	20"		D
MIRILLAS	2	2"		E
CONTROL NIVEL	3	2"		F
TERMOPOZOS	3	1"		G

* PUNTOS DE ALIMENTACION LOCALIZADOS EN ESPACIO / VAPOR BAJANTE AL PLATO

OBSERVACIONES
1) TERMOPOZOS / VAPOR LOCALIZADOS EN: <u>Platos 14, 9</u> 2) TERMOPOZOS / LIQUIDOS LOCALIZADOS EN: <u>Platos 1, 9</u> 3) PUNTOS DE MUESTREO / VAPOR LOCALIZADOS EN: <u>Platos 3, 9, 14</u> 4) PUNTOS DE MUESTREO / LIQUIDOS LOCALIZADOS EN: <u>Platos 1, 10, 13</u>
* <u>Acero Inoxidable 304</u>
*1 <u>Acero SA-283-C</u>

TESIS PROFESIONAL:

REALIZADA POR: ALCARAZ FERNANDEZ CEJUDO CARLOS HECTOR ; GUZMAN SAENZ MANUEL FRANCISCO

FECHA: Agosto 1978.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESPECIFICACIONES INTERNAS DE LA TORRE - TIPO

TRABAJO	ELABORADO	Nº DE UNIDADES	Nº. DE	
TORRE DE ABSORCION	FACULTAD DE QUIMICA	UNA	2	DE 2

MEDIO DE CONTACTO: CAPUCHAS DE BURBUJEO

Nº DE PLATOS: 14 TIPO: REMOV. DESDE ARRIBA ENTRADA HOMBRE: SI

CAPUCHAS: NUMERO POR PLATO: 79 TAMAÑO: 100 mm ESPACIAMIENTO: 31.75mm CALIBRE: 14

ELEVADOR: DIAMETRO 10.35 mm CALIBRE: 16

PERFORACIONES: NUMERO: --- TAMAÑO --- DIAMETRO: --- ESPACIAMIENTO: ---

ESPACIO ENTRE CAPUCHAS Y PARED DE LA TORRE: 40 mm

ESPACIAMIENTO ENTRE CAPUCHAS Y VERTEDERO: 40 mm

ESPESOR DEL PLATO (NO SE REQUIERE EN PLATOS CON CAPUCHA) ---

TIPO DE FLUJO: CRUZADO

VERTEDERO INTERIOR: (SI) (NO) --- ALTURA SOBRE PISO DEL PLATO: 85 mm

VERTEDERO EXTERIOR LONGITUD: 1,017 mm

ALTURA ARRIBA DEL PLATO ---

VERTEDERO AJUSTABLE DE: --- A --- ARRIBA DEL PLATO

JUEGO DEL VERTEDERO: --- SOBRE EL PLATO

CANALES DEL VERTEDERO CUBIERTOS (SI) (NO) ---

BAJANTES: (SI) (NO) TIPO SEGMENTAL

BAJANTES: (FIJO) (MOVIL) ESPACIO POR ARRIBA DEL PISO PLATO ---

DISTANCIA DE LA RECIPIENTE DE SELLO DEBAJO DEL PLATO: --- MEDIDA: ---

HOYOS DE CAIDA: No No. POR PLATO: --- TAMAÑO ---

PROVISION DE GRADIENTE HIDRAULICO: NO SE REQUIERE

ESTANDARDS:

CAPUCHAS: --- SEGUN FIGURA No. 4

DISEÑO DE LOS PLATOS: --- SEGUN FIGURA No. 3

TOLERANCIAS DE LA TORRE: --- SEGUN FIGURA No. 9

MATERIALES DE CONSTRUCCION

CAPUCHAS Y ELEVADORES: ACERO INOXIDABLE 304 EMPAQUES: TEFLON

TORNILLOS, TUERCAS: ACERO INOXIDABLE 304

PLATOS: ACERO INOX. 304 EMPAQUE: TEFLON TORNILLADO ACERO INOX. 304

SOPORTES DE LOS PLATOS, RECIPIENTES: ACERO INOXIDABLE 304

OBSERVACIONES

EL DISEÑO DE LOS PLATOS SE HACE DEJANDO UNA PORCION REMOVIBLE EN LA PARTE CENTRAL PARA EL ACCESO A LA TORRE DESDE ARRIBA.

LAS CAPUCHAS SON MONTADAS SOBRE LOS PLATOS EN EL TALLER DEL FABRICANTE.

TESIS PROFESIONAL:

REALIZADA POR: ALCARAZ FERNANDEZ CEJUDO CARLOS HECTOR : GUZMAN SAENZ MANUEL FRANCISCO

FECHA Agosto 1978.

b) Costo Estimado de la Torre de Absorción (21)

Esta torre de capuchas de burbujeo tiene 14 platos de acero inoxidable 304, con un espesor de columna calculado para la temperatura y presión de diseño - como de la corrosión de 1/4", los cabezales son dos semielipsoides con un espesor mínimo de 1/4". La camisa requerida tiene una altura de 7.6 m con un espesor de 1/4".

La siguiente lista muestra las conexiones:

<u>Marca</u>	<u>Tamaño</u>	<u>Servicio</u>
A	3'	Alimentación
B	3'	Salida de Vapor
C	2'	Salida del Líquido
D	20'	Entradas Hombre
E	2'	Mirillas

Evaluaremos el costo de fabricación de la columna, utilizando el método seguido por el Chemical Engineering, del 10 de octubre de 1977, (21).

Empezaremos por encontrar el costo para componentes de la columna, de la siguiente forma:

<u>PARTE</u>	<u>TAMAÑO</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>U.S. DOLLARS COSTO UNITARIO</u>	<u>DATOS OBTENIDOS DE LA REFERENCIA (21)</u>	<u>U.S. DOLLARS COSTO TOTAL</u>
Cuerpo	24.94 ft	1	\$ 175 / ft	Fig 1	\$ 4,364.50
Cabezales	12.00 in	1	\$ 3,600	Fig 1	\$ 3,600.00
Conexión	3.00 in	2	\$ 240 c/u	Fig 1	\$ 480.00
Conexión	2.00 in	1	\$ 165	Fig 1	\$ 165.00
Entrada - Hombre	20.00 in	2	\$ 1,250 + \$ 690	Fig 1 & Tabla III	\$ 3,880.00
Mirillas	2.00 in	2	\$ 170 c/u	Fig 1	\$ 340.00
Faldón	5.00 ft	1	\$ 55 / ft	Fig 3	\$ 275.00
Platos	4.99 ft	14	\$ 2,300 c/u	Fig 5	<u>\$ 32,200.00</u>
Costo Total de Materiales :					<u>\$ 45,304.50</u>

CUADRO No. 1
TORRE DE ABSORCION .

Una vez evaluado el costo de materiales en el cuadro No. 1, procedemos a calcular el valor de compra a partir del peso total de la torre que es de - - - 33,709.21 lb, con esto y la ecuación # 1 del artículo "Cost estimating for major process equipment" -- del Chemical Engineering de octubre 10, 1977. En - contramos que utilizando la relación de compra de - U.S. \$ 28.50/hora-hombre, el valor de compra será - de U.S. \$ 2,225.00.

Con los datos obtenidos podemos calcular el costo - de fabricación del equipo de la siguiente forma:

$$\text{U.S. \$ } 45,304.5 + \text{U.S. \$ } 2,225.0 = \text{U.S. \$ } 47,529.5$$

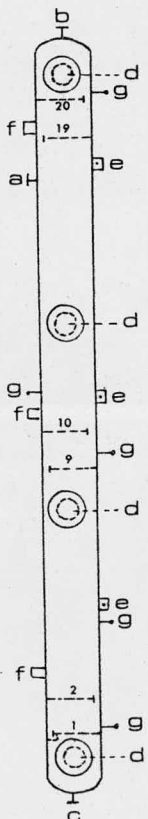
De la referencia mencionada, en la tabla cuatro obtenemos que un factor para el equipo cuyo costo de fabricación es de U.S. \$ 47,529.5 será de 0.18 para cubrir la cartera de Ingeniería y otros gastos, obteniéndose $(47,529.50 \times 0.18) = \text{U.S. \$ } 8,555.31$.

A continuación presentaremos el resumen de los costos calculados para la Torre de Absorción:

Costo de Materiales.....	U.S. \$	45,304.50
Costo de Fabricación		2,225.00
Costo de Ingeniería, etc. ..		<u>8,555.31</u>
COSTO TOTAL DE FABRICACION:	U.S. \$	<u>56,084.81</u>
MONEDA NACIONAL:	\$	<u><u>1,289,950.00</u></u>

TRABAJO <u>TORRE DE DESTILACION</u> ELABORADO <u>FACULTAD DE QUIMICA.</u>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ESPECIFICACIONES DE LA TORRE	HOJA N° <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="width: 20px;">1</td> <td style="width: 20px;">DE</td> <td style="width: 20px;">2</td> </tr> </table> N° DE UNIDADES <u>UNA</u>	1	DE	2
1	DE	2			

SERVICIO: Recuperación de DMF MEDIDAS: ALTIMA 10.4 M. DIAMETRO 0.762 M.
 N° DE PLATOS: 20 TIPO Capuchas de Burbujeo CAPUCHAS 100 MM.



esc 1:150

CONDICIONES MECANICAS Y DE OPERACION

PRESION DE OPERACION: 586 MMHG TEMPERATURA DE OPERACION: 53 °C
 PRESION DE DISEÑO: 1551 MMHG TEMPERATURA DE DISEÑO: 53 °C
 CODIGO: ASME AUTOSORTE: SI NO
 MATERIALES: CORAZA * CABEZAS * FALDON *'
 FORRO: METAL --- PLASTICO O HULE ---
 LADRILLO --- CEMENTO ---
 TOLERANCIA A LA CORROSION INTERNA 0.012 in en 10 años
 AISLAMIENTOS: SI NO

LISTA DE BOQUILLAS

SERVICIO	N° REQUERIDO	TAMAÑO	MATERIAL	MARCA
ALIMENTACION *	1	2"	-	A
REFLUJO	-	-	-	-
SALIDA DE VAPOR	1	3"	-	B
SALIDA LIQUIDO	1	2 1/2"	-	C
VAPOR REBOI	-	-	-	-
LIQUIDO REBOI	-	-	-	-
DRENAJE	-	-	-	-
VALVULA DE SEGURIDAD	-	-	-	-
ENTRADA HOMBRE	4	18"	-	D
MIRILLAS	3	2"	-	E
CONTROL NIVEL	3	2"	-	F
TERMOPOZOS	4	1"	-	G

* PUNTOS DE ALIMENTACION LOCALIZADOS EN ESPACIO/VAPOR BAJANTE AL PLATO

OBSERVACIONES

1) TERMOPOZOS/VAPOR LOCALIZADOS EN: Platos 11, 20
 2) TERMOPOZOS/LIQUIDOS LOCALIZADOS EN: Platos 1, 9
 3) PUNTOS DE MUESTREO/VAPOR LOCALIZADOS EN: Platos 9, 15, 20
 4) PUNTOS DE MUESTREO/LIQUIDOS LOCALIZADOS EN: Platos 1, 5, 11
 * Acero Inoxidable 304
 *' Acero SA-238-C.

TESIS PROFESIONAL:
 REALIZADA POR: ALCARAZ FERNANDEZ CEJUO CARLOS HECTOR ; GUZMAN SAENZ MANUEL FRANCISCO
 FECHA: Agosto 1978

b) Costo Estimado de la Torre de Destilación.

En esta, nuestra segunda torre de capuchas de bur - bujeo, tenemos 20 platos de acero inoxidable 304, - con un espesor de columna calculados a temperatura - y presión de diseño, así como de la corrosión de - 3/8", los cabezales son dos semielipsoides con un - espesor mínimo de 3/8". La camisa requerida tiene - una altura de 10.4 m, con un espesor de 3/8".

Las conexiones se presentan en la siguiente rela - ción:

<u>Marca</u>	<u>Tamaño</u>	<u>Servicio.</u>
A	2'	Alimentación.
B	3'	Salida de Vapor.
C	2 1/2'	Salida del Líquido.
D	18'	Entrada Hombre.
E	2'	Mirillas.

Utilizando el método de la referencia mencionada en el costo estimado de la Torre de Absorción, empezaremos por calcular el costo total de materiales por medio de sus componentes de la columna, en el cua - dro N° 2.

<u>PARTE</u>	<u>TAMAÑO</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>U. S. DOLLARS COSTO UNITARIO</u>	<u>DATOS OBTENIDOS DE LA REFERENCIA (21)</u>	<u>U. S. DOLLARS COSTO TOTAL</u>
Cuerpo	34.12 ft	1	\$ 232 / ft	Fig 1	\$ 7,915.00
Cabezales	12 in	1	\$ 3,600	Fig 1	\$ 3,600.00
Conexión	2 in	1	\$ 270	Fig 1	\$ 270.00
Conexión	2 1/2 in	1	\$ 255	Fig 1	\$ 255.00
Conexión	3 in	1	\$ 240	Fig 1	\$ 240.00
Entrada - Hombre	18 in	4	\$ 1,175 + \$ 690	Fig 1 & Tabla III	\$ 7,460.00
Mirillas	2 in	3	\$ 170 c/u	Fig 1	\$ 510.00
Faldón	6.8 ft	1	\$ 50 ft	Fig 3	\$ 340.00
Platos	2.5 ft	20	\$ 1,800 c/u	Fig 5	<u>\$ 36,000.00</u>
Costo Total de Materiales :					<u>\$ 56,590.00</u>

CUADRO No. 2
TORRE DE DESTILACION:

Una vez evaluado el costo de materiales en el cuadro anterior, procedemos a calcular el valor de compra a partir del peso total de la torre que es de 11,613.91 lb, con esto y la ecuación # 1 del artículo del Chemical Engineering (21), encontramos que utilizando la relación de compra de U.S. \$ 28.50/hora-hombre, el valor de compra será de:

U.S. \$ 2,027.80. Procederemos con esto a calcular el costo de fabricación del equipo de la siguiente forma:

$$\text{U.S. } \$ 56,590.00 + \text{U.S. } \$ 2,027.80 = \text{U.S. } \$ 58,617.80$$

De la referencia mencionada en la tabla cuatro obtenemos que un factor para el equipo cuyo costo de fabricación es de U.S. \$ 58,617.80 será de 0.17 para cubrir la cartera de Ingeniería y otros gastos, obteniéndose $(58,617.80 \times 0.17) = \text{U.S. } \$ 9,965.00$.

A continuación presentaremos el resumen de los costos calculados:

Costo de Materiales.....	U.S. \$ 56,590.00
Costo de Fabricación.....	2,027.80
Costo de Ingeniería, etc....	<u>9,965.00</u>
COSTO TOTAL DE FABRICACION:	U.S. \$ <u><u>68,582.80</u></u>

MONEDA NACIONAL: \$ 1,577,404.00

3) Criterios para evaluación del Diseño:

Un proyecto de inversión como el presente, consiste en la asignación de recursos necesarios para la adquisición de activos fijos con el propósito de obtener ingresos futuros.

La importancia de nuestra evaluación del proyecto queda de manifiesto al considerar las inversiones a largo plazo como de gran cuantía, afectando a la Empresa por período de tiempo largo y coadyuvan a su crecimiento en el futuro. Es aquí en donde nuestra técnica de análisis debe ayudarnos a tomar la mejor decisión con respecto a nuestro proyecto.

En nuestro caso, la evaluación se aplicará a un solo proyecto, tomándose éste como un proyecto independiente, el cual, de llevarse a cabo, no afectaría las decisiones con respecto a otro proyectos.

La información necesaria para nuestro análisis sera:

- a) Costo Original.
- b) Ingresos Netos Futuros.
- c) Período del Proyecto.
- d) Valor de Deshecho ó de Recuperación.
- e) Otras consideraciones.

A continuación desglosaremos nuestra información necesaria, para con ésto, poder tomar la decisión más adecuada.

a) Costo Original:

El costo de compra de nuestro equipo se verá afectado por un 4.5% más, debido a que su tipo de estimación no es detallada y al hecho de encontrarnos en una situación económica inflacionaria. Estas consideraciones fueron planteadas al inicio de éste capítulo, por lo tanto, nuestros costos de compra quedan de la siguiente forma:

TORRE DE ABSORCION:

COSTO :	M.N.	\$	1,289,950.00
+	M.N.	\$	58,050.00
TOTAL :	M.N.	\$	1,348,000.00

TORRE DE DESTILACION:

COSTO :	M.N.	\$	1,577,404.00
+	M.N.	\$	70,986.00
TOTAL :	M.N.	\$	1,648,390.00

Por lo tanto, nuestro pago en efectivo por el bien adquirido, entregado e instalado por el proveedor del equipo será de : M.N. \$ 2,996,390.00

b) Ingresos Netos Futuros:

El ahorro neto de efectivo que se espera obtener con nuestro proyecto dependerá del total de Dimetil Formamida recuperada, que es de 70.98 kg/hr.

Si consideramos que la última cotización de el solvente en cuestión en el presente año es de U. S. \$ 1.77/kg, ésto implicará un ahorro de U. S. \$ 125.49/hr, lo cual en moneda nacional será:

M.N. \$ 2,886.27 / hr.

M.N. \$ 2,008,843.00 / mes.

M. N. \$ 24,106,116.00 / año.

c) Período del Proyecto:

Constituye la vida útil esperada de la inversión, la cual se considerará de 10 años.

d) Valor de desecho ó de recuperación:

Torre de Absorción : M. N. \$ 944,000.00

Torre de Destilación: M. N. \$ 1,153,000.00

Estos datos son considerados al final del primer año y declinará el total de ambos equipos (\$2,097,000.00) a razón de M. N. \$ 233,000.00 por año.

e) Otras Consideraciones:

Tasa de rendimiento interno de la inversión:

$$\text{Costo Original de la Inversión} = \frac{\text{Ahorro Anual}}{\text{Tasa de Interés}} (1 + \text{Tasa de Interés})^* - 1$$

donde * = Período de vida útil de la Inversión.

En nuestro caso, el costo original de la Inversión es menor que el ahorro anual.

COSTO ORIGINAL : \$ 2,996,390.00

AHORRO ANUAL : \$ 24,106,116.00

$$\frac{2,996,390.00}{24,106,116.00} = 0.12$$

Refiriéndonos a las tablas de valor presente de una - anualidad (23) encontramos que el interés será de un - 74% de rendimiento interno de la inversión, el cual - una vez obtenido y determinado, se debe comparar con - tra estandar que normalmente es la tasa del llamado - costo de capital, que es un interés promedio que se - debe pagar por el uso del dinero y puede ser distinto para cada empresa, dependiendo de su estructura y su - capacidad de crédito.

En nuestro caso, es obvio que el rendimiento interno - de la inversión es mucho mayor que el costo del capi - tal por lo tanto, la inversión se considera aceptable.

En otras palabras, el proyecto de inversión debe pro - ducir por lo menos una tasa igual al costo de capital para ser considerado atractivo. Obviamente al ser mu - cho mayor, como en este caso, el proyecto será mucho - más atractivo desde el punto de vista económico.

CONCLUSIONES .

Desde el punto de vista técnico, es perfectamente factible llevar a cabo una recuperación de Dimetil Formamida a partir de la corriente agotada del sistema de extrusión de fibra acrílica de una manera muy eficiente, por medio de los equipos propuestos en el presente estudio.

Por otra parte, tomando en cuenta todos los datos económicos obtenidos, se puede observar que tendremos un rendimiento neto de la inversión de aproximadamente un 74% en el primer año, el cual es mucho mayor que el llamado "Costo de Capital", lo cual nos conduce a considerar el presente proyecto como altamente rentable, pues supera con mucho los requerimientos mínimos para ser económicamente atractivo.

S I M B O L O G I A .

A	Cantidad total molar a la entrada.
A_m	Area media.
A_{tT}	Area total de la Torre.
A_A	Area de burbujeo.
A_T	Area de la Torre.
A_1	Area entre vertederos.
A_*	Area expuesta.
b_s	Ancho de la ranura.
b_{st}	Espaciamiento entre ranuras.
B	Flujo en fondos.
B_m	Ancho promedio del plato.
C	Tolerancia a la corrosión.
C_a	Carga por ancla.
C_g	Factor de corrección para la carga del gas.
C_m	Circunferencia media.
C_s	Coefficiente sísmico.
C_L	Capacidad calorífica del agua.
C_P	Capacidad calorífica.
C_1	Constante para cálculo de velocidad de ascen- ción del gas a través de las capuchas.
C_2	Constante de ascensión del gas.
d	Diámetro.

D	Diámetro de la columna.
D _a	Diámetro del ancla.
D _{ca}	Diámetro de la circunferencia de anclas.
D _e	Coefficiente de difusividad de Eddy.
D _m	Diámetro medio de la cubierta.
D _v *	Difusividad en fase gas.
D _{BP}	Distancia entre la parte baja del baffle y el piso del plato.
D _L *	Difusividad en fase líquida.
D _o	Diámetro efectivo expuesto a la presión del viento.
D*	Flujo en domos.
D'	Diámetro medio de la cubierta.
e _w	Radio de entreinment.
E	Eficiencia de junta.
E _o	Eficiencia total.
E _w	Eficiencia de plato húmeda.
E _{MV}	Eficiencia de Murphree.
E _{OG}	Eficiencia total en fase gas.
E'	Factor de corrección para la constricción del vertedero.
E ₁	Factor de seguridad por pandeo.
f	Función.

f'	Flujo de las moles de vapor en la sección de rectificación.
F	Flujo de alimentación.
F_s	Fuerza sísmica.
F_{va}	Factor de parámetro de mezcla basada en el área neta.
F_A	Grupo funcional.
G	Gasto del gas.
G_m	Flujo molar de aire por pie cuadrado de área de la Torre.
G_s	Velocidad superficial del gas.
G_2	Gasto del gas de salida.
h	Espaciamiento entre platos.
h_a	Espaciamiento aparente entre platos.
h_d	Caída de presión entre el baffle y el plato.
h_e	Altura libre del líquido.
h_f	Altura de espuma.
h_{fv}	Caída de presión por la fricción en ranuras.
h_m	Altura del líquido promedio sobre el plato.
h_{cw}	Altura sobre el vertedero.
h_s	Caída de presión por la abertura de ranuras.
h_{sc}	Altura de la capucha sobre el plato.
h_{sr}	Altura muerta.
h_{ss}	Altura de la parte superior de la capucha -- del vertedero.

h_t	Caída de presión total del gas.
h_{ts}	Sello líquido.
h_w	Altura del vertedero.
h_o	Caída de presión por la caída libre del líquido.
H_d	Altura de la columna del líquido en el bajante.
H_s	Altura de las ranuras.
H_{tT}	Distancia desde la parte superior de la Torre hasta el punto considerado.
H_L	Entalpía del líquido.
H_{L_2}	Entalpía del líquido de salida.
H_T	Altura de la Torre.
H_*	Altura de cabezales.
k	Constante de Boltzmann.
K	Coeficiente de ranura.
l	Distancia baffle vertedero.
L	Gasto líquido.
L_m	Flujo molar del agua por pie cuadrado de área de la Torre.
L_s	Velocidad superficial del líquido.
L_w	Longitud del vertedero.
L_2	Gasto líquido de salida.
L'	Distancia entre vertederos.

m	Pendiente.
m_1	Pendiente de la línea de operación.
m_2	Pendiente real de la línea de operación.
$m + 1$	Número total de estados teóricos abajo del plato de alimentación.
m'	Masa.
M	Momento gobernante.
M_w	Momento de viento.
M_A	Peso molecular del DMF.
M_B	Peso molecular del aire.
M_F	Momento de vuelco con relación a la base del cimientto.
M_G	Peso molecular del gas.
M_L	Peso molecular del líquido.
M_{LT}	Momento de la línea tangencial.
\bar{M}	Peso molecular promedio.
n	Número de anclas.
$n + 1$	Número total de estados teóricos arriba del plato de alimentación.
n'	Número de ranuras por capucha.
N_G	Número de unidades de transferencia en fase-gas.
N_L	Número de unidades de transferencia en fase-líquida.

N_R	Número de platos reales.
P	Presión manométrica de operación.
P_a	Presión parcial del agua.
P_c	Presión sobre el área proyectada por la Torre en un plano normal a la dirección del viento.
P_e	Número de Peclet.
P_o	Presión interna a la columna de agua.
P_t	Presión total.
P_w	Presión unitaria del viento.
P_w'	Carga total del viento.
P_B	Presión parcial DMF.
P_D	Presión de diseño.
r	Radio de la Torre.
r_e	Total de la fracción líquida de entrada.
r_A	Radio molecular de colisión del DMF.
r_{AB}	Separación molecular por colisión.
r_{Agua}	Calor molar de vaporización de agua.
r_B	Radio molecular de colisión del aire.
r_{DMF}	Calor molar de vaporización de DMF.
r_L	Resistencia en fase líquida.
R	Flujo en domos.
s	Espesor de la lámina.
S	Esfuerzo admisible real.

S_a	Sección de agotamiento.
S_{aj}	Area anular entre elevadores y capucha.
S_c'	Area total de ranuras por capuchas.
S_d	Area transversal de flujo en el plato.
S_r	Area total de elevadores por plato.
S_{rj}	Area del elevador.
S_s	Area total de ranuras por plato.
S_z	Carga unitaria en el suelo debida al vuelco.
S_A	Esfuerzo admisible.
S_B	Esfuerzo admisible por pandeo.
S_R	Sección de rectificación.
S_1	Presión de desplante.
S_2	Carga mínima en el suelo debida a la carga - muerta.
S_o	Carga total máxima en el suelo.
S'	Sección transversal.
t	Espesor necesario de la cubierta.
t_s	Inmersión del vertedero.
t_L	Temperatura del líquido.
t_{LB}	Espesor del faldón en la línea base.
t_{LT}	Espesor del faldón en la línea tangencial.
t_2	Temperatura de entrada del agua.
t_o	Temperatura de entrada de DMF-Aire.
t_*	Factor de humedecimiento del plato inferior.
t^*	Espesor de la cubierta.

T	Temperatura.
T_b	Temperatura normal de ebullición.
T_B	Temperatura de burbuja.
U_{va}	Velocidad del vapor basada en el aire de bur <u>bu</u> jeo.
v_w	Velocidad máxima del viento corregida.
V_{DMF}	Volúmen molar del DMF.
V	Gastos del gas.
V_{tT}	Volúmen total de la Torre.
V_B	Volúmen molecular del agua.
V_G	Sobre-carga del gasto de gas (30%).
V_L	Sobrecarga del gasto del líquido (30%).
W	Peso de montaje.
W_{go}	Velocidad de ascensión del gas a través de - las capuchas.
W_t	Peso de la Torre y su cimiento.
W_A	Ancho promedio de plato.
W_{LT}	Peso de operación en la línea tangencial.
W_{PH}	Peso del agua, lleno completo para la prue- ba hidrostática.
W_{TV}	Peso de la Torre vacía.
\bar{W}	Peso de la estructura y cimentación.

X	Fracción mol en el líquido.
X_{hb}	Fracción mol de la DMF en fondos.
X_{hd}	Fracción mol de la DMF en domos.
X_{hF}	Fracción mol de la DMF de alimentación.
X_{lB}	Fracción mol del agua en fondos.
X_{lD}	Fracción mol del agua en domos.
X_{lF}	Fracción mol del agua de alimentación.
X_B	Fracción mol del agua en Fondos.
X_D	Fracción mol del agua en Domos.
X_{DMF}	Fracción mol DMF en el líquido.
X_F	Fracción mol del agua de Alimentación.
X_{H_2O}	Fracción mol de agua en el líquido.
X^*	Fracción mol en fase líquida en el equilibrio.
Y_{aire}	Fracción mol del aire en el gas.
Y_{DMF}	Fracción mol de DMF en gas.
Y_{H_2O}	Fracción molar del agua en gas.
Y	Fracción molar en el gas.
Y_s	Humedad molar absoluta de saturación.
Y_*	Altura expuesta.
Y^*	Fracción molar en fase gas en equilibrio.
z	Brazo de palanca.
Z	Módulo de sección para la base de cimenta - ción.

α	Función para la obtención del factor de corrección de constricción del vertedero.
α_1	Función para la obtención del factor de corrección para la carga del gas.
ϵ	Energía de interacción molecular.
η_r	Viscosidad de la solución en su punto de burbuja.
η_v	Viscosidad del vapor.
η_{Agua}	Viscosidad del agua a temperatura de proceso.
η_{DMF}	Viscosidad de DMF a 20°C.
θ_L	Tiempo de contacto del líquido.
λ	Factor de absorción.
μ'	Número de filas de capucha.
ρ_{agua}	Densidad del agua.
ρ_G	Densidad del gas.
ρ_L	Densidad del líquido.
σ	Tensión superficial.
τ	Pitch entre ranuras.
ψ	Función para la obtención del gradiente del líquido, por hileras de capuchas.
Δ	Gradiente del líquido.
Δ_{H_s}	Calor de solución.
$\Delta_{H_{\text{vap}}}$	Calor latente de vaporización.
Δ'	Gradiente del líquido por hilera de capuchas.

- ϕ Diámetro externo de la capucha.
- ϕ_B Parámetro del solvente.
- χ Relación Mol DMF-Agua.

R E F E R E N C I A S .

- 1) ERNEST E. LUDWIG
"Applied Process desing for Chemical and Petro -
chemical Plants"
Volume II. Gulf Publishing Co.
HOUSTON, TEXAS.
1964.

- 2) TREYBAL ROBERT E.
"Mass Transfer Operations"
McGraw Hill Book Co.
2nd Edition. 1968.

- 3) McCABE WARREN L. AND SMITH JULIAN C.
"Unit Operations of Chemical Engineering"
McGraw Hill Book Co.
2nd Edition. 1964.

- 4) SMITH BUFORD D.
"Design of Equilibrium Stage Processes"
McGraw Hill Book Co.
1963.

- 5) VAN WINKLE MATTHEW
"Distillation"
McGraw Hill Book Co.
1967.

- 6) HOBLER
"Diffusional Mass Transfer and Absorbers"
Pergamon Press, Inc.
1966.

- 7) DU PONT
"DMF (Dimethylformamide) Products Information"
Industrial and Biochemicals Department.
Wilmington, Delaware.
1971.

- 8) DU PONT
"DMF (Dimethylformamide) Recovery and Purification"
Industrial and Biochemicals Department.
Wilmington, Delaware.
1969.

- 9) PERRY JOHN H.
"Chemical Engineers' Handbook"
McGraw Hill Book Co.
4th Edition. 1963.

- 10) CRANE CO.
"Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and -
Pipe"
Technical Paper
1969.
- 11) HOUGEN O. A., WATSON K. M. AND RAGATZ R. A.
"Chemical Process Principles"
Part I. Material and Energy Balances.
John Willey and Sons, Inc.
2nd Edition. 1954.
- 12) DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA Y METEREOLOGIA
Av. Observatorio N°192, Tacubaya.
México, D. F.
- 13) HOWARD F. RASE Y M. H. BARROW
"Ingeniería de Proyecto para Plantas de Proceso"
Cía. Editorial Continental, S. A.
1ra. Edición. 1973.
- 14) GAYOSSO REYES JOSE
"Estabilidad de Torres Autosoportadas para Pro -
ceso"
Tesis Profesional para Ingeniero Civil.
UNAM. Fac. de Ingeniería. 1977.

- 15) HYDROCARBON PROCESSING (Reprinted from)
"Foundation Design Handbook"
Gulf Publishing Company
1968.
- 16) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
"Manual de Diseño de Obras Civiles"
- 17) CONSIDINE DOUGLAS M.
"Chemical and Process Tecnology Enciclopedia"
McGraw Hill Book Co.
1974.
- 18) MOUCRIEF R. W.
"Man Made Fibers Formerly. Artificial Fibers"
John Willey and Sons, Inc.
3rd. Edition.
1957.
- 19) GIRAL B. JOSE
"Manual para Desarrollo, Transferencia y Adap -
tación de Tecnología Química Apropriada"
UNAM. Facultad de Química.
Departamento de Ingeniería Química.
División de Estudios Superiores.
1974.