

2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**AGUA COMO MEDIO DE
ENFRIAMIENTO**



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A

EDUARDO JAVIER ALBORES CONSTANTINO

MEXICO, D. F.

1985



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

I. INTRODUCCION

II. AGUA Y OTROS MEDIOS DE ENFRIAMIENTO

A. Agua

B. Otros medios de enfriamiento

III. TORRES DE ENFRIAMIENTO

A. Principios fundamentales

B. Términos utilizados en el diseño de las torres

C. Influencia de los cambios en las condiciones de operación en el dimensionamiento de las torres

IV. TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

A. Descripción

B. Materiales de construcción

C. Componentes principales

V. DISEÑO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO

A. Bases de diseño

B. Especificaciones de diseño

C. Cálculos

VI. CONCLUSIONES

VII. BIBLIOGRAFIA

I. INTRODUCCION

El agua en la operación de una planta industrial es tan importante como lo es en el funcionamiento del organismo de cualquier ser humano.

En términos generales se tiene que el agua procede de fuentes superficiales tales como ríos, lagunas, mares, etc. o de fuentes subterráneas como pozos.

Como un reflejo del alto crecimiento industrial que se ha estado desarrollando en México, los requerimientos de servicios, tales como el agua, se han incrementado en forma considerable; sin embargo, la capacidad de las fuentes de suministro en áreas de concentración industrial han sufrido una disminución gradual debido al consumo desmesurado que se ha hecho en las últimas décadas.

Lo anterior hace pensar que si no se conservan las fuentes naturales, éstas se agotarán rápidamente, con resultados catastróficos para la industria y el país.

Aún explorando nuevas fuentes de suministro, la solución más adecuada es optimizar el uso del agua disponible actual.

El agua se utiliza en una planta para diversos servicios, siendo como medio de enfriamiento para disipar el calor generado en el proceso en equipos tales como condensadores, cambiadores de calor, etc.; de los más importantes.

Como se analizará posteriormente, el uso del agua como medio de enfriamiento puede hacerse en ciclos de un solo paso, el cual no requiere de ningún tipo de enfriamiento y en ciclos de enfriamiento con recirculación el cual involucra a las torres.

El uso de torres de enfriamiento en las plantas industriales hace posible minimizar el suministro de las fuentes naturales de agua, ya que reducen los requerimientos de agua de suministro a la planta a únicamente de un 2-4 por ciento aproximadamente de la cantidad de agua requerida para enfriamiento por concepto de pérdidas ocasionadas en el funcionamiento de las torres.

Partiendo de la premisa que la mayor cantidad de agua que se utiliza en las plantas industriales es para sistemas de enfriamiento y que las torres de enfriamiento son el dispositivo más óptimo para disminuir los requerimientos de las fuentes naturales, el objetivo de ésta tesis es el de analizar los principales conceptos y etapas que conciernen al diseño de estos equipos.

II. AGUA Y OTROS MEDIOS DE ENFRIAMIENTO

II.A. AGUA

Independientemente de su origen el agua natural nunca es químicamente pura ya que la lluvia al precipitarse disuelve gases y polvos de la atmósfera y conforme penetra en la tierra el agua absorbe bióxido de carbono , dando como resultado un ácido que al pasar en suelos y rocas disuelve minerales.

El agua superficial como la de ríos y lagos mantiene arcillas y arena en suspensión lo cual la hace turbia, pero tiene un bajo contenido de minerales.

El agua subterránea tiene un alto contenido de minerales pero es bastante clara debido a que los estratos del subsuelo actúan como filtros.

Las aguas que contienen un alto contenido de minerales se les denomina duras y las de bajo contenido de minerales , suaves.

El efecto principal de las aguas duras es que cuando éstas se calientan , las sales de calcio se depositan como incrustaciones en las paredes de los tubos , resultando como consecuencia una disminución en la capacidad de transferencia de los cambiadores de calor y de los sistemas de enfriamiento así como en una restricción en el flujo del fluido provocando un incremento en la caída de presión --- a través de los cambiadores de calor.

La eliminación de los iones calcio y magnesio del agua se denomina suavización, siendo los procesos más comunes, el cal-carbonato, fosfato e intercambio iónico.

II, A.1. Contaminantes más comunes en el agua.

Los problemas que se encuentra la industria para el uso de las aguas superficiales o subterráneas son que éstas contienen una serie de impurezas que de una u otra manera afectan al proceso o los equipos y que por lo tanto antes de su utilización deben ser tratadas apropiadamente. Las impurezas más comunmente encontradas se pueden clasificar en :

II.A.1.a. Gases disueltos:

tipo	fórmula química	problemas causados	eliminación por
ácido sulfúrico	H_2S	olor fétido, corrosión	aereación.
bióxido de carbono.	CO_2	corrosión	aereación.
Oxígeno	O_2	corrosión	desaereación, inhibidores.
bióxido de azufre.	SO_2	corrosión	aereación, cloración.
amoníaco	NH_3	corrosión	desaereación.

II.A.1.b. Sólidos en suspensión:

turbidez	ninguna, en los análisis se expresa como SiO_2	aparición desagradable al agua, origina depósitos en líneas y equipos.	clarificación, filtración y cloración.
----------	--	--	--

tipo	fórmula química	problemas causados	eliminación por
color	ninguna	formación de espuma, mancha el producto, interfiere en métodos de precipitación.	clarificación, filtración y cloración.
materia orgánica	ninguna	interferencia en proceso, origina depósitos	cloración, bactericidas y fungicidas.
aceites	ninguna	incrustaciones, lodos y formación de espumas.	coagulación y filtración.

II.A.1.c. Sólidos minerales disueltos:

dureza	sales de Ca, Mg, Na y K expresados como CaCO_3	incrustaciones	ácidos, cal-carbonato, fosfato o intercambio iónico
alcalinidad	HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , OH^- expresados como CaCO_3	formación de espumas, fragiliza el acero, corrosión.	ácidos, cal-carbonato, fosfato o intercambio iónico.
sulfatos	$(\text{SO}_4)^{2-}$	incrustación	desmineralización, purgas.
cloruros	Cl^-	corrosión	desmineralización.
hierro-manganeso	Fe-Mn	mancha el agua	aereación, filtración, clarificación.
nitratos	$(\text{NO}_3)^-$	corrosión	coagulación.
sílice	SiO_2	incrustación	cal-carbonato, fosfato o intercambio iónico.

II.A.1.d. Diversos:

concentración de iones hidrógeno	$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$	acidez o alcalinidad en el agua	adición de álcalis o ácidos.
conductividad	se expresa en micromhos de conductancia	corrosión	desmineralización.

Los tratamientos antes indicados se refieren únicamente como una guía general y no se profundizará en su análisis ya que básicamente lo que nos interesa en este trabajo es el tipo de agua que se requiere en las torres de enfriamiento, el cual se analizará posteriormente.

II.A.2. Tipos de agua que se emplean en una planta de proceso.

II.A.2.a. Agua de proceso.

Determinados procesos usan el agua como uno de los compuestos reaccionantes o bien como solventes, por lo que se requiere de una agua altamente purificada. Para estos propósitos, el agua suavizada por el tratamiento cal-carbonato puede ser desmineralizada posteriormente por intercambio iónico.

II.A.2.b. Agua de alimentación a calderas.

Las calderas en una planta son los equipos que requieren del más alto grado de purificación del agua, debiéndose tratarla con todos los tratamientos indicados en el inciso II.A.1; anterior.

II.A.2.c. Agua de enfriamiento.

II.A.2.c.1. Sistemas de circulación.

El agua puede utilizarse en diferentes tipos de sistemas de circulación, según las necesidades y localización de la planta -

en relación a la fuente de suministro.

II.A.2.c.1.1. Sistemas de un solo paso.- En este tipo de sistemas, el agua enfría los fluidos del proceso y se descarga directamente a la fuente de suministro. Su utilización en plantas grandes no es muy -- adecuado ya que requiere de una fuente de suministro con capacidad -- suficiente para satisfacer la demanda de agua de enfriamiento a la -- planta; sin embargo, en plantas pequeñas o de pocos requerimientos -- de agua si es conveniente su uso.

Debido a que el agua se utiliza una sola vez, los problemas de corrosión o incrustación se minimizan . En figura No. 1 se muestra un diagrama de flujo típico de este sistema.

II.A.2.c.1.2. Sistemas con recirculación.- El agua enfría los fluidos del proceso, elevándose su temperatura ; dependiendo del diseño del cambiador de calor, a un máximo recomendable de 120^oF (temperaturas mayores causan una rápida corrosión en las tuberías y en diferentes partes de los cambiadores de calor). El agua caliente se enfría en una torre de enfriamiento .

Este sistema es el medio más adecuado de economizar -- agua ya que ésta se recircula al sistema de enfriamiento una y otra vez , existiendo únicamente pequeñas pérdidas por evaporación, viento y purgas, reponiéndose éstas con agua de repuesto.

Presentan problemas de ataques por corrosión, incrustación y crecimiento de materia orgánica, para lo cual se necesita de -

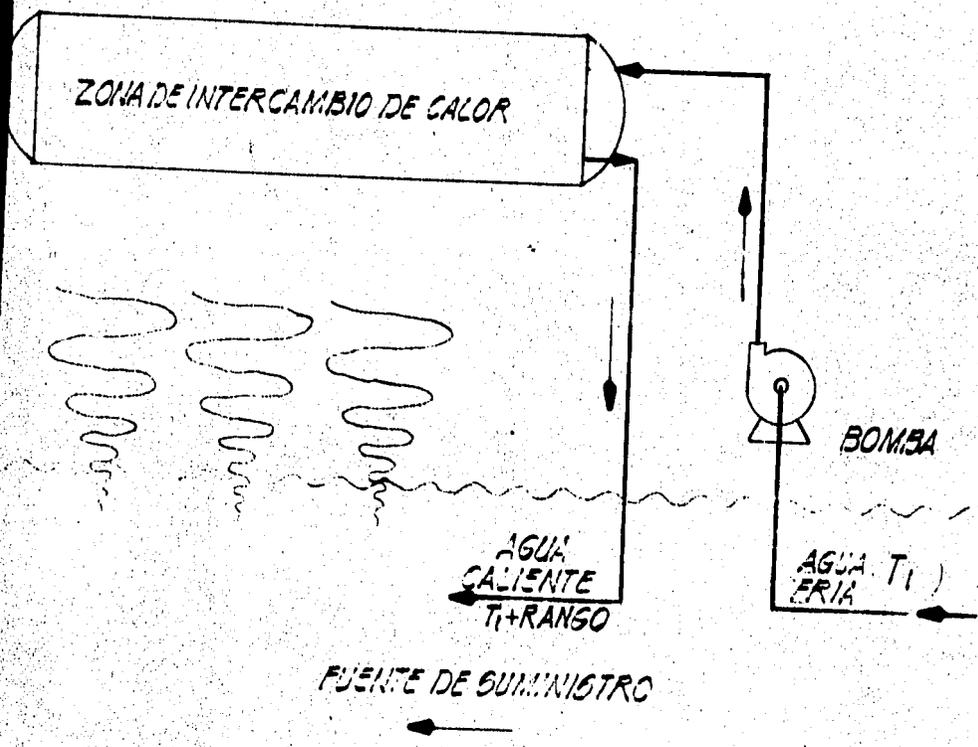


FIG. 1

DIAGRAMA DE FLUJO TÍPICO DE UN SISTEMA DE AGUA DE ENFRÍAMIENTO DE UN SOLO FASEO

tratamientos de agua adecuados. En la figura No. 2 se muestra un diagrama de flujo típico de este sistema.

II.A.2.c.2.-Tratamientos.

Dependiendo de la fuente de suministro , el agua natural puede contener gases y sales disueltos y materiales en suspensión - que en forma directa afectan el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento, creando problemas de corrosión, incrustación y crecimiento de materia orgánica.

Los tratamientos que actualmente se utilizan para prevenir estos ataques son los siguientes:

II.A.2.c.2.1. Por incrustación.

La tendencia incrustante del agua es causada por la - cristalización y precipitación de sales de calcio y magnesio presentes como carbonatos, silicatos y sulfatos. Estas sales tienen una -- solubilidad inversa con respecto a la temperatura; por lo tanto, conforme la temperatura del sistema de enfriamiento o la concentración de las sales se incrementa a través de la torre de enfriamiento por evaporación , también la tendencia incrustante se incrementa.

Esta tendencia se elimina controlando la alcalinidad - y los ciclos de concentración, definiéndose éstos, como la relación de sólidos disueltos en el agua circulante a los sólidos disueltos - en el agua de repuesto. Los ciclos de concentración se expresan en

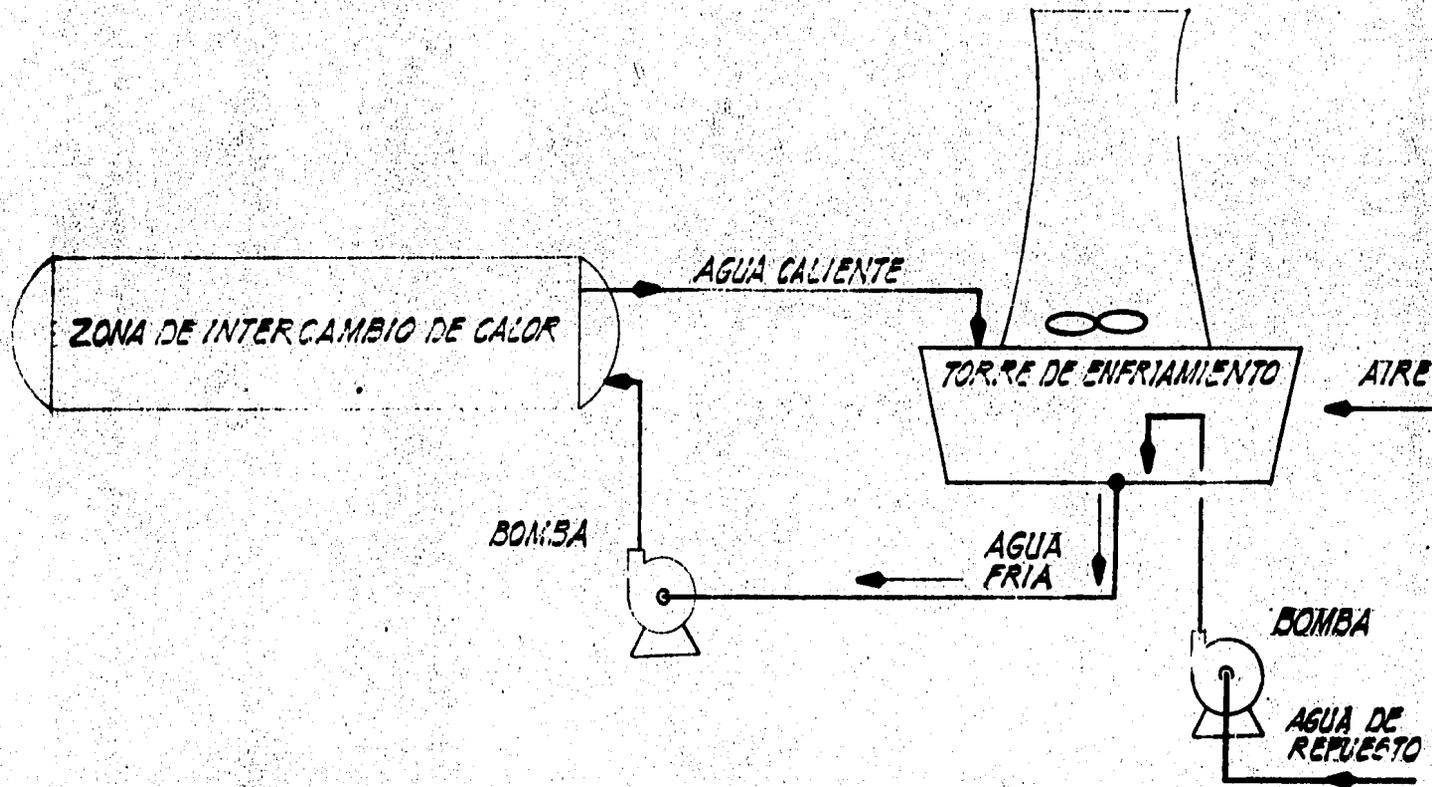


DIAGRAMA DE FLUJO TÍPICO DE UN SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
CON RECIRCULACIÓN

FIG. 2

forma de cloruros ya que éstos son muy solubles y no se precipitan en el proceso.

En una torre de enfriamiento las pérdidas por arrastre del aire circulante disminuyen el ciclo de concentración. Así mismo para evitar una sobresaturación de carbonato de calcio y controlar la formación de sulfato de calcio y silicato de calcio y magnesio y por lo tanto disminuir el ciclo de concentración, es conveniente purgar continua o periódicamente el agua circulante; reemplazando esta pérdida con agua de repuesto y efectuar tratamientos adecuados al agua circulante.

Existen tres tipos de tratamientos para reducir la alcalinidad y efecto incrustante del agua:

II-A.2.c.2.1.1.- Tratamiento ácido. En este tratamiento, el ácido es adicionado convirtiendo los bicarbonatos a sulfatos que es mucho más soluble; la reacción que se efectúa es la siguiente:

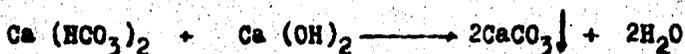


Este tratamiento requiere de un control muy estricto ya que una dosificación excesiva de ácido sulfúrico tendería a acidificar el agua provocando un efecto corrosivo. Su uso está limitado para aguas que contienen cantidades excesivas de sulfatos debido a que este proceso incrementa los sulfatos en el agua, disminuyendo la solubilidad del sulfato de calcio y ocasionando con ello incrustaciones por sulfatos.

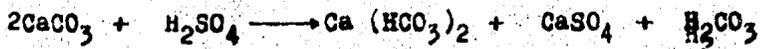
Tomando en consideración la premisa anterior, es el

tratamiento más utilizado en la industria debido a que representa - las siguientes ventajas: baja inversión ya que únicamente se requiere de una bomba dosificadora, bajos costos de operación debido a que los ácidos son considerablemente económicos y aún más el ácido sulfúrico, no se forman precipitados y por lo tanto no se requieren de - equipos de clarificación o sedimentación para separar estos sólidos del agua.

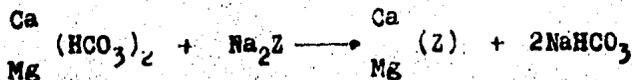
II.A.2.c.2.1.2.- Tratamiento cal-ácido. En este tratamiento los precipitados de calcio se remueven , la reacción es la siguiente:



sin embargo algo de carbonato de calcio es insoluble y se alcanza a precipitar, por lo que es necesario adicionar un ácido para convertir este carbonato de calcio residual a sulfato y bicarbonato:



II.A.2.c.2.1.3.- Tratamiento de intercambio iónico con zeolitas (Si O₂). Este tratamiento es recomendado cuando la dureza y alcalinidad del agua es moderada ; la reacción es la siguiente:



Z= zeolita

por lo tanto las sales de calcio y magnesio se convierten a las correspondientes de sodio, que son más solubles. Si la alcalinidad es

alta, los bicarbonatos de sodio presentes en el agua suavizada forman sosa en el agua circulante atacando la madera de la torre. Adición de un ácido después del tratamiento con zeolita, reducirá la alcalinidad y resolverá este problema. La zeolita de sodio reduce prácticamente la dureza a cero (1-2 ppm de CaCO_3); sin embargo, esto provoca que el agua sea corrosiva, concepto que se tratará a continuación.

II.A.2.c.2.2.- Por corrosión

La corrosión es la destrucción de un metal como un resultado directo de una reacción química, electroquímica y en menor grado por factores tales como biológicos y mecánicos.

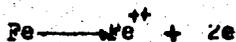
Un sistema de enfriamiento puede tener uno o más de los siguientes tipos de corrosión : Uniforme (por productos químicos en el agua, por ejemplo ácidos), Localizada (por oxígeno o por depósitos), Galvánica (por empleo de materiales disimilares), Por celdas de concentración (altas temperaturas, grietas, hendiduras que posibilitan la acumulación de los productos corrosivos, etc.), Por erosión (altas velocidades del agua que pueden arrastrar la película protectora óxida del metal, de tal manera, que las superficies se exponen a ataques corrosivos), Por conductividad (en función de los iones presentes en el agua), etc.

Entre los factores que pueden influir para la corrosión en un sistema de enfriamiento , el principal es el oxígeno disuelto en el agua de enfriamiento, aumentando su acción conforme au-

menta la temperatura del agua. El orden de importancia de dichos factores sería: Concentración de oxígeno disuelto, Temperatura, Contenido de CO_2 , pH, Sólidos disueltos, Sólidos suspendidos, y Velocidad.

Tal y como se indicó en el inciso II.A.1, anterior, existen procesos para eliminar las impurezas del agua, que conjuntamente con mantener un valor adecuado de pH (7.0 a 8.5), conducen a reducir la tendencia corrosiva del agua; sin embargo, el uso de inhibidores de corrosión (los cuales retardan o detienen las fuerzas electroquímicas que ocasionan la corrosión) ya sean anódicos o catódicos, dependiendo de la naturaleza electrolítica de la corrosión, es el método más usado y económico.

Un inhibidor anódico es aquel que restringe la siguiente reacción anódica de corrosión :



Los inhibidores más usados han sido cromatos, polifosfatos, o combinaciones de éstos, y en menor grado, nitratos e hidróxidos de sodio y potasio. Actualmente, el uso de cromatos está limitado dependiendo de la forma en que se descarga el agua de purgas del sistema de enfriamiento, ya que se ha encontrado que es tóxico y si estas purgas se descargan a fuentes de suministro de agua para fines potables, se tendrán serios problemas. Debido a esto, lo más recomendable es el uso de polifosfatos.

La acción corrosiva se detiene debido a que los iones

fosfatos reaccionan con los iones ferrosos que se desprenden de las áreas anódicas, formando una mezcla de hidróxido férrico y fosfórico como una película adherente que se une por sí misma sobre el área anódica.

El consumo de fosfatos es directamente proporcional a la velocidad de desprendimiento de los iones ferrosos .

Un inhibidor catódico es aquel que restringe la siguiente reacción catódica de corrosión:

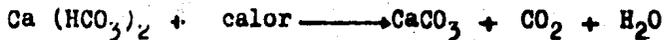


El efecto corrosivo de la reacción depende de la velocidad en la cual el oxígeno se difunde en la superficie metálica, dando como resultado un incremento de pH en las áreas catódicas debido a la formación de los hidróxidos.

Los inhibidores más usados son fosfatos de zinc y calcio, e hidróxidos , óxidos y carbonatos de zinc y níquel.

II.A.2.c.2.3.- Criterio general de tendencia incrustante o corrosiva del agua.

Un criterio que nos ayuda a definir la tendencia incrustante o corrosiva del agua es el Índice de Saturación de Lange---lier. La reacción química involucrada en el efecto incrustante del agua debido a las sales de calcio y magnesio es:



La solubilidad del carbonato de calcio dependiendo de la temperatura y otras impurezas en el agua es aproximadamente de 17-51 ppm.

Si la cantidad del carbonato de calcio presente en el agua recirculada excede esta solubilidad el agua se sobresatura y el carbonato se precipita; en caso contrario, el agua puede ser corrosiva por la presencia de oxígeno disuelto.

Para facilitar este control, Langelier desarrolló su fórmula para la saturación teórica del agua, la cual se define como la diferencia algebraica entre el pH que tiene el agua y el pH calculado a saturación con carbonato de calcio, como sigue:

$$I = \text{pHa} - \text{pHs}$$

donde: I = Índice de saturación de Langelier.

pHa = pH del agua.

pHs = $(9.3 + A + B) - (C + D)$, siendo los valores de A, B, C, y D, obtenidos de las tablas Nos. 1, 2, 3, y 4.

Esta relación es el pH calculado a saturación con carbonato de calcio.

Al desarrollar los cálculos correspondientes, de acuerdo al análisis de agua que se tenga, se obtienen los siguientes criterios, según Langelier:

Si $I = 0$; el agua está en equilibrio con relación al carbonato de calcio.

$I =$ valor positivo; el agua tiene una tendencia incrustante por carbonato de calcio.

I = valor negativo ; implica una tendencia a disolver carbonato de calcio - existente y por lo tanto el agua tiende a ser corrosiva.

este índice no es aplicable con exactitud cuando el análisis del agua queda fuera de los siguientes límites aproximados: Sólidos totales hasta 2000 ppm, pH de 6.0 a 10.0 , Dureza mayor de 50 ppm, Alcalinidad hasta 1000 ppm, y Temperatura hasta 170° F .

II.A.2.c.2.4.- Crecimiento de materia orgánica.

La formación de hongos, algas y bacterias en una torre de enfriamiento y en el sistema de recirculación en general, es la principal causa de falla de la torre para obtener su máxima eficiencia. Para el control de estos microorganismos se emplean diferentes tipos de agentes químicos, tales como cloro, hipoclorito de calcio o sodio, clorofenilfenatos, tetraclorofenatos, pentaclorofenatos , permanganato de potasio, sulfato de cobre, etc. , cuyo propósito es el de matar y/o inhibir el crecimiento de estos organismos. De esta gama de agentes, el cloro es el más usado por ser económico, altamente tóxico y actúa rápidamente para matar las bacterias.

La cantidad de cloro requerida para el control de los depósitos biológicos es afectada por una variedad de factores tales como: materia orgánica en el agua, velocidad de recirculación, pH , temperatura del agua en el sistema , etc.

Para el control biológico de cualquier sistema de en-

Tablas de valores para el cálculo del Índice de Saturación de Langelier

No. 1	No. 2	No. 3	No. 4				
A	B	C	D				
Sólidos totales en ppm	temperatura OF	dureza de Ca expresada como ppm de CaCO ₃	alcalinidad al anaranjado de metilo expresada como ppm de CaCO ₃				
50-300	0.1	32-34	2.6	10-11	0.6	10-11	1.0
400-1000	0.2	36-42	2.5	12-13	0.7	12-13	1.1
1100-2000	0.3	44-48	2.4	14-17	0.8	14-17	1.2
		50-56	2.3	18-22	0.9	18-22	1.3
		58-62	2.2	23-27	1.0	23-27	1.4
		64-70	2.1	28-34	1.1	28-34	1.5
		72-80	2.0	35-43	1.2	35-43	1.6
		82-88	1.9	44-55	1.3	44-55	1.7
		90-98	1.8	56-69	1.4	56-69	1.8
		100-110	1.7	70-87	1.5	70-87	1.9
		112-122	1.6	88-110	1.6	88-110	2.0
		124-132	1.5	111-138	1.7	111-138	2.1
		134-146	1.4	139-174	1.8	139-174	2.2
		148-160	1.3	175-220	1.9	175-220	2.3
		162-178	1.2	230-270	2.0	230-270	2.4
				280-340	2.1	280-340	2.5
		350-430	2.2	350-430	2.6		
		440-550	2.3	440-550	2.7		
		560-690	2.4	560-690	2.8		
		700-870	2.5	700-870	2.9		
		880-1000	2.6	880-1000	3.0		

friamiento es importante que se alimente la cantidad de cloro suficiente para asegurar el contenido residual necesario de cloro del agua tratada, durante un tiempo determinado. Para lo anterior, existen tres métodos básicos usados en la cloración:

II.A.2.c.2.4.1.- Continua: El cloro se dosifica continuamente al sistema, manteniendo una concentración de 0.3 a 0.5 ppm.

II.A.2.c.2.4.2.- Intermitente: El cloro se dosifica diariamente en un período de 4 horas, manteniendo una concentración de 1.0 ppm y suspendiendo la adición de cloro durante el tiempo restante.

II.A.2.c.2.4.3.- Otra: Dosificar de 5.0 a 10.0 ppm en un período de 1 hora cada 8 horas.

II.A.2.d. Agua para usos generales.

Este tipo de agua debe ser potable y libre de bacterias patógenas. Generalmente cuando existe un sistema de tratamiento de agua en la planta, una parte del agua tratada de la planta suavizada se destina para este uso; si no es el caso, se compra agua municipal para este propósito.

II.A.2.e. Agua para uso en sistemas contra incendio.

Este tipo de agua no requiere de ningún tratamiento y por lo general el agua cruda de cualquier fuente de suministro se utiliza para este efecto; inclusive, las plantas ubicadas a lo largo de -

las areas costeras, con frecuencia usan el agua de mar directamente para este propósito.

II.A.2.f.- Agua para servicios varios.

Se utiliza para diversas operaciones de lavado, limpieza, etc., en las cuales no se requiere de ningún tipo de tratamiento sino únicamente que esté libre de sedimentos.

II.B. OTROS MEDIOS DE ENFRIAMIENTO

En muchos casos, las condiciones de la reacción requieren de refrigeración; para tal efecto, existen hidrocarburos licuados y otros compuestos que al ser expandidos, satisfacen la carga térmica de refrigeración, utilizándose el gas resultante en el proceso o como combustible. Cuando se requieren de niveles muy bajos de refrigeración, los sistemas de refrigerantes se operan en cascada de un nivel a otro para llevarlo al intervalo de temperatura deseado.

Una selección típica de refrigerantes para diferentes niveles de operación se muestra en la tabla No. 5, siguiente:

Tabla no. 5 " Selección típica de refrigerantes"

intervalo de temperatura (°F)	refrigerante
40 a 80	agua enfriada
0 a 50	salmuera o soluciones de glicol enfriadas.
-50 a 40	amoníaco, bióxido de azufre, freón, butano.
-150 a -50	etano, etileno, propileno, propano.

...continúa tabla No. 5

-350 a -150	metano, oxígeno, nitrógeno.
-400 a -200	hidrógeno.
baja a -400	helio.

III. TORRES DE ENFRIAMIENTO

III.A. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Los procesos de enfriamiento para agua son los más antiguos y simples conocidos por el hombre, todo lo que se requiere para enfriar el agua es exponer su superficie al aire.

Algunos de estos procesos son lentos como el enfriamiento del agua en la superficie de un estanque; mientras que otros, son relativamente rápidos como cuando se rocía agua al aire.

Las torres de enfriamiento se emplean para poner en contacto agua caliente que proviene de los sistemas de enfriamiento del proceso, con aire, con el propósito de enfriar el agua y poder usarla de nuevo en el proceso; de tal manera que al mezclarse el agua con el aire se tiene como resultado un enfriamiento por la transmisión de calor latente debido al cambio de estado de líquido a vapor de una pequeña porción del agua, y, una pequeña transmisión de calor sensible debido a la diferencia de las temperaturas del agua y del aire.

El proceso de transferencia de calor supone que al rociarse el agua en la parte superior de la torre de enfriamiento y en su descenso por el empaque de la torre, se forman pequeñas gotas de agua que al ponerse en contacto con el aire se cubren de una película de aire de tal manera que la diferencia de entalpías entre la película y el aire que la rodea es el diferencial $(H' - H)$ que promueve la

transferencia de calor.

Una expresión típica de la ecuación de una torre de enfriamiento de flujo a contracorriente, puede escribirse de la siguiente manera:

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{(H' - H)} = K_x a \frac{V}{L} = n_d$$

- donde: T_1 y T_2 = Temperaturas de entrada y salida del agua ($^{\circ}F$)
 H' = Entalpia de la película de aire saturado a la temperatura del agua (BTU / lb aire seco)
 H = Entalpia de la corriente de aire (BTU , lb aire seco)
 K_x = Coeficiente de transferencia de masa (lb / hr - ft²)
 a = Superficie de empaque o relleno (ft² / ft³ de volúmen de torre)
 V = Volúmen de la torre (ft³ / ft² de area en planta)
 L = Flujo de agua (lb / hr ft² de area en planta)
 n_d = Unidades de difusión

Puesto que la temperatura del agua no es una función simple de H' y H , es conveniente efectuar la integración de esta ecuación ya sea por métodos gráficos o numéricos.

Se calculan y grafican las entalpias de saturación (H') para el aire contra la temperatura del agua en el rango de operación de la torre, partiendo de la siguiente ecuación:

$$H' = X'T + X'\lambda + 0.24 T$$

donde : λ = Calor latente de vaporización (BTU / lb)

$$X' = \frac{P_w}{P_t - P_w} \cdot \frac{M_w}{M_a} = \text{Humedad de saturación (lb agua / lb aire)}$$

P_w = Presión parcial del agua (lb / plg²)

P_t = Presión total (lb / plg²)

M_w = Peso molecular del agua

M_a = Peso molecular del aire

Los valores obtenidos forman una curva que corresponde a la del aire saturado a la temperatura del agua y la que se puede considerar que existe en la película de aire en la superficie del agua.

El siguiente paso es determinar la entalpia de la corriente de aire en cualquier punto de la torre, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación :

$$H_2 = H_1 + \frac{L}{G} (T_2 - T_1)$$

donde : H_2 = entalpia del aire en cualquier punto de la torre.

H_1 = Entalpia de la película de aire saturado a la temperatura de bulbo húmedo del lugar donde se localizará la torre.

G = Flujo de aire (lb / nr ft² de area en planta)

$T_2 - T_1$ = Rango de enfriamiento del agua en cualquier punto de la torre.

Los valores obtenidos se grafican, dando como resultado una línea recta que es la de operación del aire y cuya pendiente es la relación de la carga del líquido a la del aire L / G .

El area encerrada entre la curva de saturación y la línea de operación del aire es la característica de la torre y representa la ecuación al principio enunciada . Ver gráfica No. 1 . ilustrativa.

III.B. TERMINOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE LAS TORRES

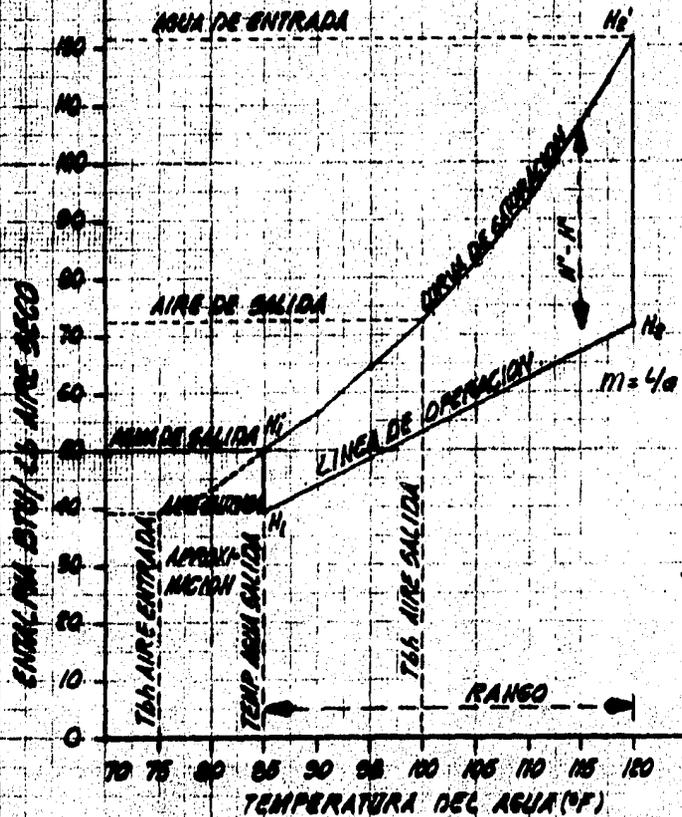
III.B.1.- Temperatura de bulbo húmedo (T_{bh})

Es la temperatura de equilibrio que adquiere el aire cuando se satura adiabáticamente y por consiguiente la temperatura más baja a la que puede enfriarse el agua por el proceso evaporativo ; sin embargo, se requiere de una torre de tamaño infinito para que se alcance esta temperatura en el agua, por lo que en el diseño de cualquier torre siempre existirá una diferencia entre la temperatura del agua de salida y la de bulbo húmedo, la cual se denomina acercamiento.

Esta temperatura se toma de las condiciones existentes del lugar donde será localizada la torre y generalmente se especifica cercana a la máxima promedio registrada durante los meses de verano y no excedidas de un 95 o/o de la temperatura de bulbo húmedo máxima registrada durante el tiempo más crítico. Para tal efecto, existen tablas de datos de temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco para diferentes ciudades de la república mexicana.

Al especificarse esta temperatura es importante considerar el efecto de recirculación del aire húmedo en la torre.

GRAFICA N°1



BALANCE DE CALOR EN UNA TORRE DE FLUJO A CONTRA CORRIENTE

La correcta selección de esta temperatura en el diseño de la torre, será un factor importantísimo para obtener un tamaño de torre óptimo, ya que un valor alto ocasionará una torre sobrediseñada y al contrario, un valor restringido ocasionará un tamaño de torre con capacidad reducida.

III.B.2.- Temperatura de bulbo seco (Tbs)

Es la temperatura real del aire medida a las condiciones ambientales.

III.B.3.- Rango

Es la diferencia entre la temperatura del agua que entra a la torre (caliente) y la temperatura del agua de salida de la misma (fría) . La selección de este diferencial es una condición operacional de los equipos que utilizaran el agua como medio de enfriamiento.

III.B.4.- Acercamiento

Es el factor más importante para diseñar el tamaño de la torre y se define como la diferencia entre la temperatura del agua a la salida de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire.

La práctica común indica que para obtener un tamaño óptimo de torre no es recomendable utilizar acercamientos menores de 5°F .

III.B.5.- Temperatura de bulbo húmedo de diseño.

Es la temperatura de bulbo húmedo, modificada al considerar el efecto de recirculación externa del aire húmedo de la torre.

III.B.6.- Capacidad térmica.

Es la cantidad de calor en BTU / hr, que se disipa en la torre y calculado en base al flujo de agua (lb / hr) y las temperaturas de entrada y salida del agua en la torre (rango, °F).

III.B.7.- Recirculación.

Es la porción de aire que sale de la torre y que se recircula a la entrada de la misma mezclándose con el aire fresco.

III.B.8.- Interferencia.

Es la contaminación del aire de entrada a la torre con los vapores descargados de otra torre o fuente de calor.

III.B.9.- Agua de repuesto.

Es la cantidad de agua requerida para reemplazar las pérdidas ocasionadas por evaporación, arrastre y purgas.

III.B.10.- Pérdidas por evaporación.

Es la cantidad de agua que se elimina con el aire a la salida de la torre por concepto del incremento de humedad en el aire , debido a la transferencia del calor latente en la torre.

Para efectos de diseño, se puede considerar que existe una pérdida de 1.0 o/o del agua circulante por cada 10 °F de diferencia de temperatura através de la torre.

III.B.11.- Humedad relativa.

Es la relación entre la presión parcial del agua en una mezcla con aire y la presión de vapor del agua a la misma temperatura.

III.B.12.- Pérdidas por arrastre.

Es la cantidad de agua perdida en una torre , arrastrada por el viento o el aire de salida , en forma de gotas finas.

Para efectos de diseño, se puede considerar que existe una pérdida de 0.1 a 0.3 o/o del agua circulante por este concepto ; tomándose generalmente un valor de 0.2 o/o .

III.B.13.- Pérdidas por purgas.

Es la cantidad de agua circulante que en forma continua o intermitente se elimina del sistema de agua de enfriamiento con la finalidad de mantener el nivel de concentración de las sales presen-

tes, abajo de un valor determinado.

Para efectos estimativos, se ha encontrado que cuando la calidad del agua no es mala, las purgas son del orden de 0.3 o/o del agua circulante por cada 10 °r de diferencia de temperatura através de la torre.

III.B.14.- miembros estructurales

III.B.14.a.-Columnas: Son los miembros de soporte vertical principales en la estructura de la torre.

III.B.14.b.-Amarres horizontales: Son las principales uniones horizontales de interconexión de las columnas.

III.B.14.c.-Juntas y traveses: Son los soportes horizontales para cargas vivas y cargas muertas.

III.B.15.- Miembros no estructurales

Son partes tales como piso de la plataforma del ventilador, empaque, eliminadores de arrastre, depósitos colectores, redistribuidores de agua caliente y fría, conductos de agua , etc.

III.C. INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS EN LAS CONDICIONES DE OPERACION EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS TORRES

A continuación se analizan los efectos resultantes más impor-

tantes en el diseño de las torres, al cambiarse ciertas condiciones de operación; permaneciendo constantes las demás.

III.C.1.- Efecto del acercamiento.

Al disminuir o aumentar el valor del acercamiento, el área entre la curva de saturación y la línea de operación del aire se disminuye o aumenta, dando como resultado un tamaño de torre mayor o menor respectivamente. Un ejemplo de lo anterior se puede observar en las gráficas Nos. 2 y 2A.

III.C.2.- Efecto del cambio de flujo de agua.

Quando se tienen limitaciones de superficie de terreno en la planta y se requiere de una cantidad mayor de agua de enfriamiento, se tiene que diseñar una torre con mayor altura ya que de lo contrario se tendrá un menor enfriamiento al circular menor aire por libra de agua. En forma ilustrativa en gráficas Nos. 3 y 3A se muestra esta variación.

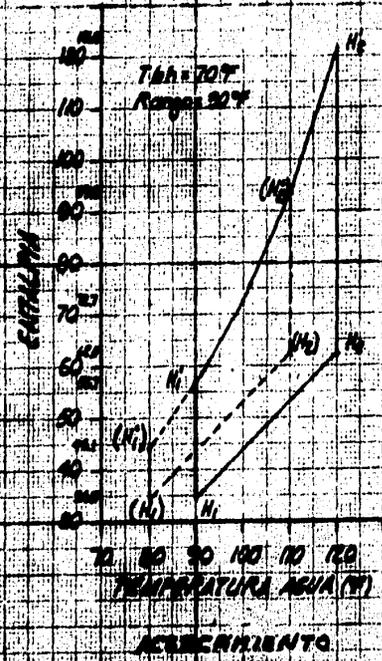
III.C.3.- Efecto del cambio de rango.

Si se aumenta el rango de operación en el diseño de una torre, el tamaño de ésta también aumentará, siguiendo las tendencias de gráficas Nos. 4 y 4A, como un ejemplo ilustrativo.

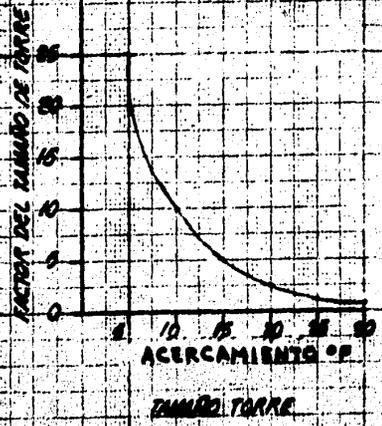
III.C.4.- Efecto de la altitud.

La elevación sobre el nivel del mar en la localización de una torre es muy importante, ya que a una menor presión atmosférica, la curva de saturación es más alta, lo que a su vez incrementa el potencial $H'-H$ y reduce el tamaño de la torre; ésto, debido a que mientras la presión parcial del agua permanece constante, la presión total del sistema disminuye, dando como resultado que la humedad del aire saturado también se incrementa. En gráficas Nos. 5 y 5A se analiza este efecto.

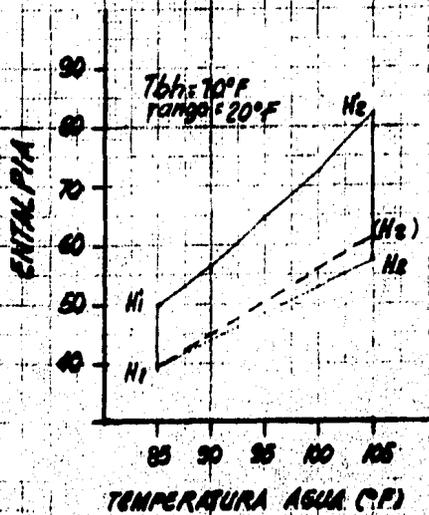
GRAFICA Nº 2



GRAFICA Nº 2A

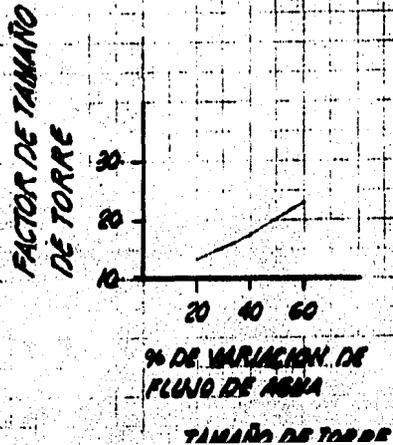


GRAFICA N° 3



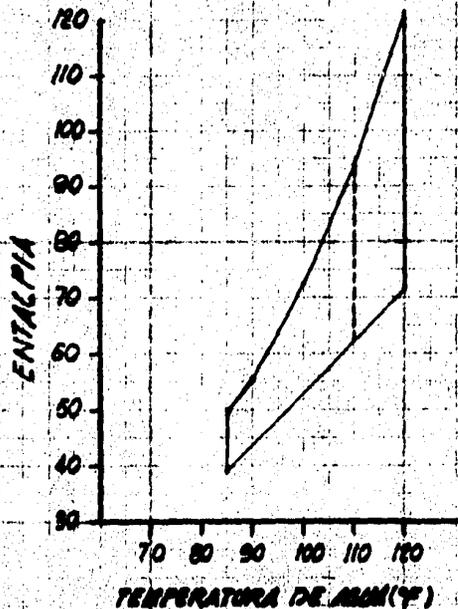
FLUJO DE AGUA

GRAFICA N° 3A



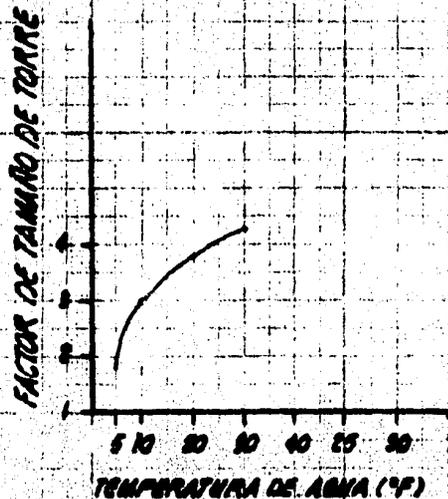
TAMAÑO DE TORRE

GRAFICA Nº 4



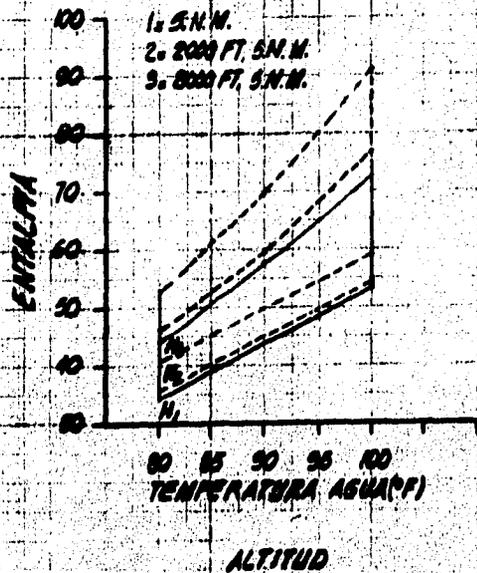
RANGO

GRAFICA Nº 4A

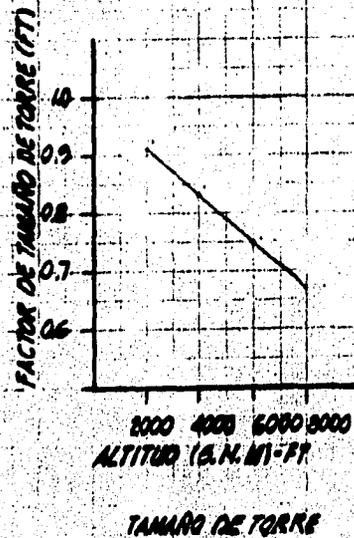


TAMAÑO DE TORRE

GRAFICA Nº 6



GRAFICA Nº 6A



IV. TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

IV.A. DESCRIPCION

Una torre de enfriamiento es una estructura cerrada que emplea hileras horizontales de empaque para suministrar una gran superficie de contacto entre el aire y el agua. El agua se introduce por la parte superior mediante una lluvia provocada, bajando através de los empaques hasta la parte inferior de la torre, dando como resultado un enfriamiento acelerado del agua por el proceso evaporativo.

Las torres de enfriamiento se clasifican de acuerdo con los medios por los que se les suministra el aire en : torres de circulación natural (de poco uso en la industria actualmente) y en torres de tiro mecánico.

IV.A.1.- Torres de circulación natural.

Este tipo de torres se dividen en torres de tiro natural y atmosféricas.

IV.A.1.a.- Tiro natural.

Estas torres se comportan de la misma forma que las chimeneas de hornos para inducir el movimiento del aire através de la torre, produciéndose ésto, debido a la diferencia de densidades del aire atmosférico y el existente en la torre.

El aire que penetra en la torre aumenta su temperatura al ponerse en contacto con el agua caliente, dando como resultado, una disminución en su densidad. La diferencia entre la densidad del aire en la torre y la densidad del aire atmosférico origina en la parte inferior un flujo de aire frío y en la parte superior una expulsión de aire caliente menos denso.

Debido a la baja velocidad con que circula el aire, son generalmente de gran tamaño y sus dimensiones pueden exceder de 500 ft de diámetro y 500 ft de altura.

La operación de estas torres es buena a humedades bajas (35 o/o de humedad relativa) y cuando la diferencia entre las temperaturas de agua fría y de bulbo húmedo es igual o mayor que la diferencia entre las temperaturas de agua caliente y agua fría .

Ya que dimensionalmente son grandes, su principal limitación en su uso es el alto costo de inversión inicial. No utilizan ventiladores para manejar el aire, por lo que no hay costos de operación y mantenimiento por estos conceptos. Un dibujo esquemático de este tipo de torres se muestra en la figura No. 3 .

IV.A.1.b.- Atmosféricas.

Dependen de la velocidad de las corrientes atmosféricas de aire, de tal manera que a bajas velocidades (3 Km / hr) operará ineficientemente. La corriente de aire penetra através de las persianas en una sola dirección por todo lo ancho de la torre, lo cual la

hace muy angosta en comparación con otros tipos, y muy larga para una capacidad igual. Las pérdidas de agua por arrastre se manifiestan a todo lo largo de la torre y son mayores que en otros tipos de torres. La localización de éstas, debe ser tal que no existan obstrucciones con el objeto de aprovechar al máximo la corriente de aire existente. Son de gran tamaño, lo cual se refleja en un alto costo de inversión inicial. No utilizan ventiladores para manejar el aire. Una ilustración de este tipo de torres se muestra en la figura No. 4.

IV.A.2.- Torres de tiro mecánico.

Este tipo de torres requiere de ventiladores para manejar el aire a través de la torre, lo cual la hace independiente de las condiciones del viento atmosférico, siendo la temperatura de bulbo húmedo el factor más importante en su comportamiento.

Una de las mayores ventajas de estas torres es que pueden enfriar el agua a temperaturas más bajas y con mayores rangos de enfriamiento que las torres de circulación natural.

Para condiciones de operación similares, estas torres son más pequeñas que las de circulación natural ya que el uso de ventiladores permite un flujo de aire relativamente alto; dando como consecuencia que la inversión inicial sea menor.

Las torres de tiro mecánico se pueden dividir en dos formas; por tipo de tiro mecánico (dependiendo de la posición del ventila

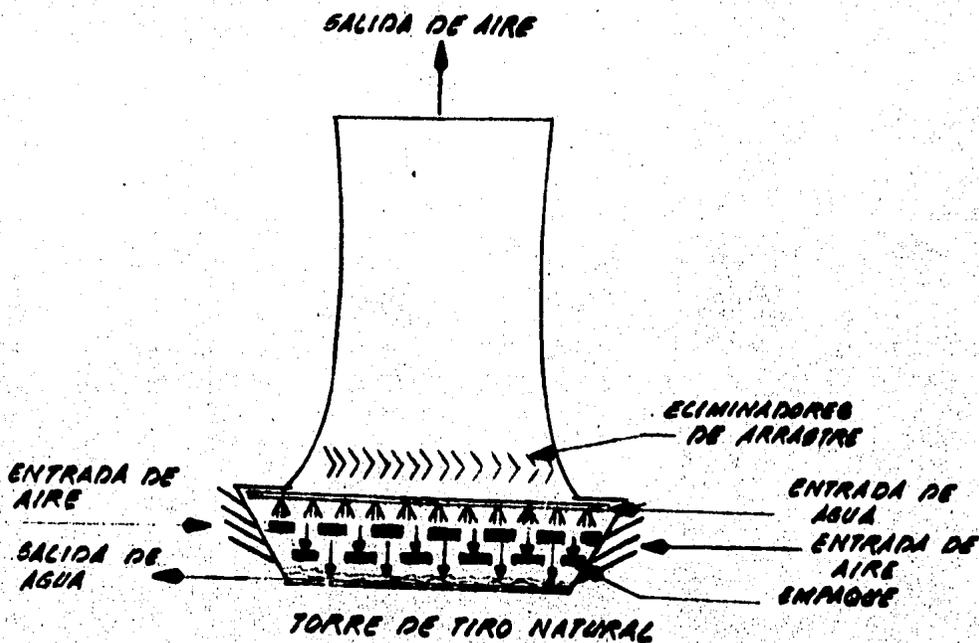
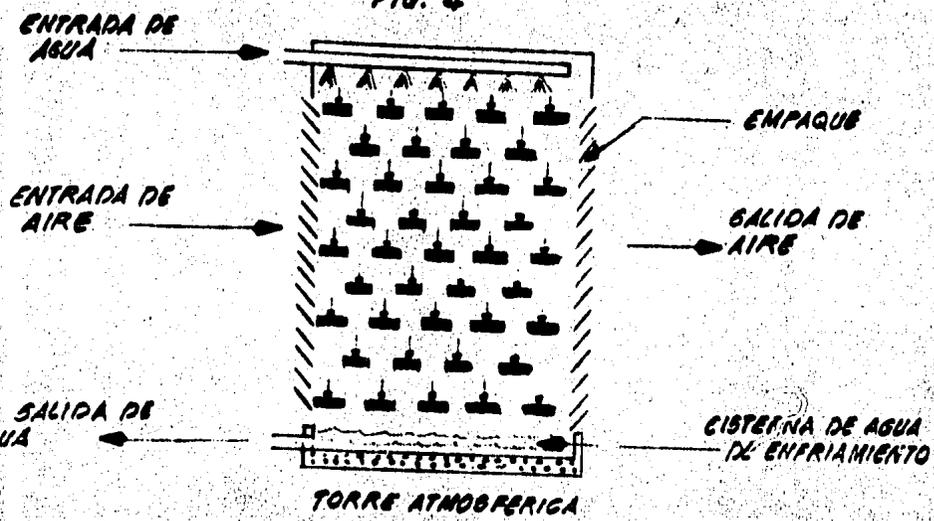


FIG. 4



dor) y/o por la dirección del flujo de aire, como a continuación se analiza:

IV.A.2.a.- Por tipo de tiro mecánico.

IV.A.2.a.1.- Tiro inducido.

La succión del aire es mediante un ventilador situado en la parte superior de la torre. El aire entra a la torre a través de unas persianas situadas a lo largo de una o más paredes y se descarga a la salida del ventilador.

Presenta las siguientes ventajas respecto a las de tiro forzado: La velocidad del aire a la entrada de la torre es baja, mientras que a la descarga del ventilador es alta, por lo que el efecto de recirculación se disminuye considerablemente. Dada la posición del ventilador se requiere de áreas superficiales menores. Esta configuración conduce a una distribución pareja del aire a través del empaque con un mejor intercambio de calor entre el agua y el aire.

Las desventajas que se tienen, son las siguientes: La alta velocidad de descarga del aire provoca pérdidas de agua que son arrastradas por la corriente de aire. Se tienen mayores problemas vibratoriales en la masa del ventilador que ocasionan un esfuerzo adicional de la estructura de la torre. El aire húmedo es corrosivo a las partes del ventilador que están en contacto con el mismo, por lo que se requiere de protegerlas de un recubrimiento plástico o metales especiales. Se requiere que no existan obstrucciones en las en-

tradas del aire.

IV.A.2.a.2.- Tiro torzado.

El aire entra a la torre a través de una abertura circular mediante un ventilador situado lateralmente en la parte inferior y sale a baja velocidad en la parte superior de la torre.

Presenta las siguientes ventajas respecto a las de tiro inducido: Las pérdidas por arrastre de agua son menores, ya que el aire sale a baja velocidad. Ya que el ventilador está montado sobre el piso, no existe debilitación en la estructura de la torre por problemas vibracionales. Es adecuado para casos en los que se desea colocar la torre dentro de un edificio. Las condiciones son menos corrosivas para el ventilador.

Las desventajas que se tienen son: Al salir el aire a baja velocidad por la parte superior de la torre, tiende a asentarse en la corriente de aire de alta velocidad a la entrada del ventilador, por lo que la succión al aire fresco se contamina y existen problemas de recirculación. Requiere de áreas superficiales mayores. Ya que el ventilador se coloca lateralmente, la altura de la torre aumenta con el diámetro de la misma aunque la altura del empaque permanezca constante. En localidades con temperaturas muy bajas, existe el peligro de que el hielo pueda formar un puente entre la periferia de las aspas y la carcasa, cuando el ventilador se encuentra estacionario, con la posibilidad de dañar el motor al arrancarlo nuevamente

. La distribución del aire en este tipo de torre, es relativamente -
pobre, puesto que el aire entra a través de una abertura circular me-
diante un ventilador, lo cual provoca una vuelta de 90° a gran velo-
cidad.

IV.A.2.b.- Por la dirección del flujo de aire.

IV.A.2.b.1.- Flujo a contracorriente.

El efecto de contracorriente se produce al fluir el -
agua hacia abajo a través del empaque, en tanto que el aire fluye ha-
cia arriba.

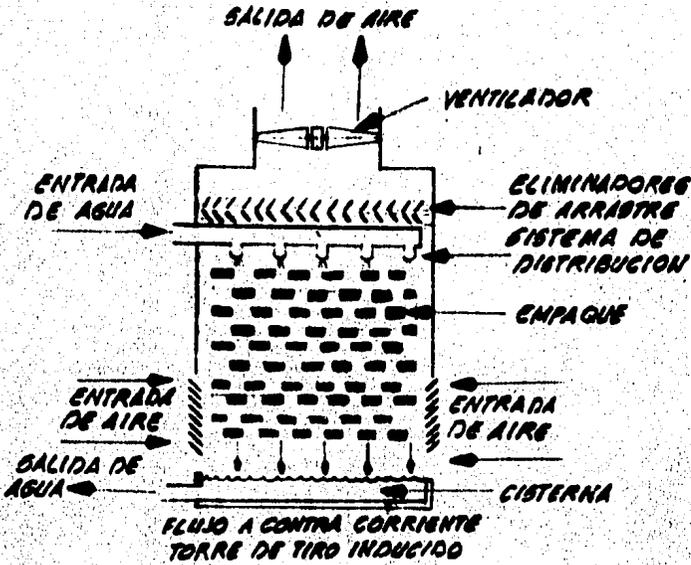
En este arreglo, el agua enfriada que cae del último ni-
vel de empaque se encuentra con el aire más frío y seco (de entrada)
, al pasar el aire a través del empaque remueve calor y humedad, y ,
en la parte superior del empaque se encuentra en contacto con el -
agua caliente que entra a la torre.

La mayoría de este tipo de torres que se instalan actua-
lmente en México, son de tiro inducido.

IV.A.2.b.2.- Flujo cruzado.

En este caso, el agua cae por gravedad sobre el empaque
y el aire fluye horizontalmente. También como en el anterior, la ma-
yoría son de tiro inducido. Una ilustración de los tipos de torres -
de tiro mecánico, se muestran en figuras nos. 5,6,7.

FIG. 5



AIRE

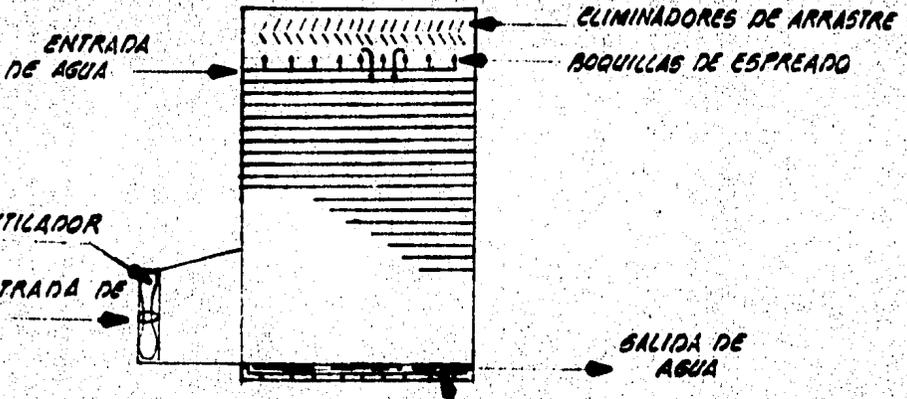
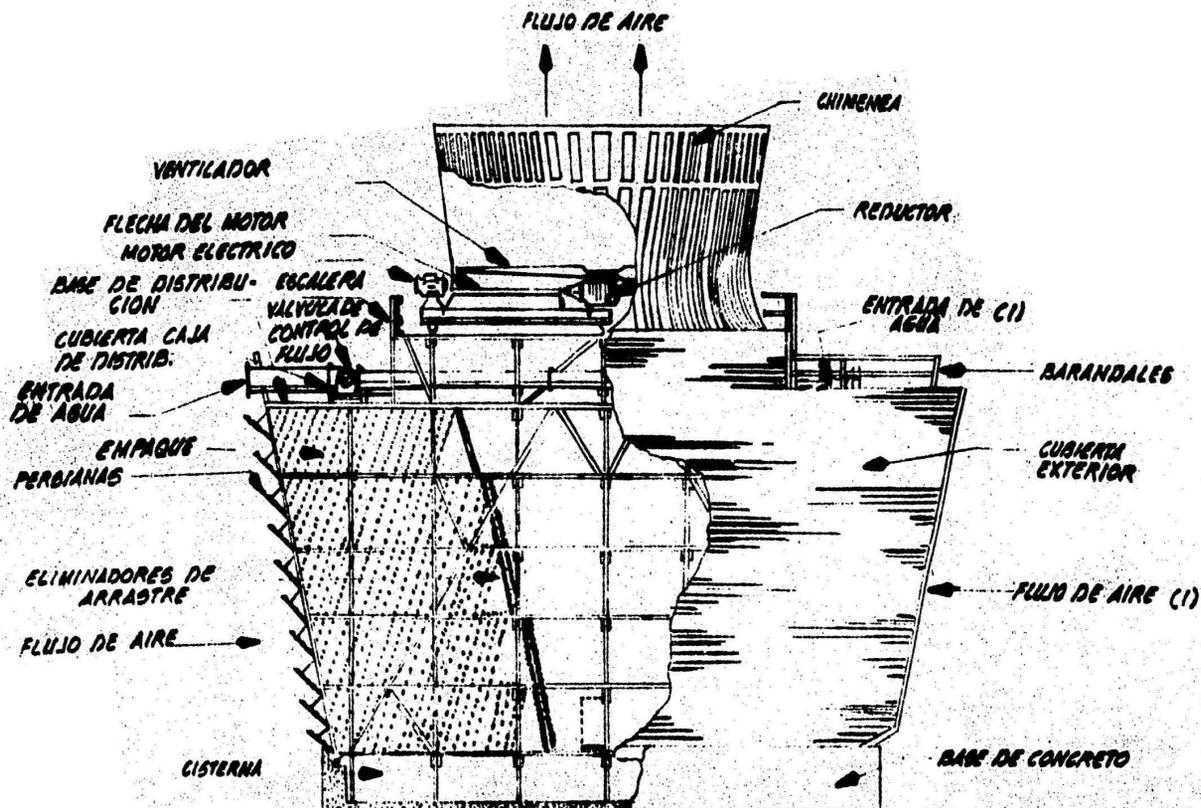


FIG. 6

FLUJO A CONTRA
CORRIENTE
TORRE DE TIRO FORZADO

CISTERNA



SECCION TRANSVERSAL
 FIG. 7
 FLUJO CRUZADO O DOBLE FLUJO CRUZADO
 TORRE DE TIRO INDUCIDO

(1) APLICA SOLAMENTE EN LAS
 TORRES DE TIPO DE DOBLE FLUJO
 CRUZADO

Pueden ser de flujo cruzado sencillo, o de doble flujo cruzado.

IV.B. MATERIALES DE CONSTRUCCION

La mayoría de las torres de enfriamiento son construídas de madera; sin embargo, según las condiciones pueden utilizarse otros tipos de materiales, tales como: acero, concreto, o plástico. El material a ser seleccionado dependerá básicamente de la ingeniería, experiencia y necesidades propias de la planta.

A continuación se analizan cada uno de estos materiales.

V.B.1.- Madera.

La madera es utilizada comunmente debido a su disponibilidad, fácil manejo, durabilidad y costo relativamente bajo en comparación con otros materiales; sin embargo, cuando la torre está en operación, presenta problemas de deterioro debido a los ataques químicos y biológicos del agua circulante.

V.B.1.a.- Tipos de ataques.

V.B.1.a.1.- Ataque químico

Es causado por los compuestos alcalinos contenidos en el agua y a agentes oxidantes tales como el cloro. Este ataque es frecuente en las partes inundadas de la torre y es estrictamente

superficial que se manifiesta en la madera como una película fina , la que puede ser detectada antes de que cause serios daños; inspeccionando periódicamente la torre y tomando las medidas correctivas cuando se presente. virtualmente no existe cuando el pH del agua es controlado entre un rango de 6.0 - 7.0 y se usa cloro abajo de 1.0 ppm.

IV.B.1.a.2.- Ataque biológico.

Estos, son causados por la acción de microorganismos y se dividen en ataque superficial y ataque interno.

IV.B.1.a.2.1.- Ataque superficial.

Los microorganismos atacan las fibras celulares usando el carbon como alimento y dejando desperdicios de lignina, de tal modo que disminuyen la resistencia de la madera. Los agentes responsables de este ataque son bacterias de las clases de ascomycetes y fungiimperfecti.

Se caracteriza por una apariencia oscura, erupciones y agrietamientos en la superficie de la madera. Este tipo de ataque disminuye más la resistencia de la madera que el ataque químico y la mejor protección contra el mismo, es la conservación de los preservativos naturales de la madera (o madera tratada), por un buen tratamiento del agua.

IV.B.1.a.2.2.- Ataque interno.

La naturaleza de este ataque es similar al superficial, siendo los agentes destructores las bacterias de las clases de basidiomycetes.

Areas pardosas y rupturas en la madera son sinónimos de este tipo de destrucción. Generalmente ocurre en las partes ca--lientes y húmedas, más no en las partes inundadas de la torre. El uso de un tratamiento preservativo a presión de la madera y una aplicación periódica de agentes no oxidantes a las partes tales como eliminadores de arrastre y otras partes secas o parcialmente húmedas de la torre, dará como resultado una protección confiable contra este ataque.

IV.B.1.b.- Preservadores para madera y tratamientos de aplicación.

Debido a que la mayoría de las maderas sufren deterioro cuando son expuestas a condiciones adversas, es necesario un tratamiento previo para conferirles resistencia adecuada a dichas condiciones. De las condiciones requeridas para el desarrollo de los agentes destructores de la madera, se deduce que el factor más fácilmente controlable es el alimento de estos agentes.

La preservación de la madera tiene por objeto modificar la constitución química de la madera, haciéndola no apetecible para estos organismos. Esto se lleva a cabo aplicando productos conocidos como preservadores para madera.

IV.B.1.b.1.- Preservadores para madera.

Son compuestos sólidos que requieren de un solvente para poder penetrar en la madera y se dividen según el tipo de solvente necesario. Existe una gama de preservadores para madera; sin embargo, únicamente se mencionarán los más comerciales y utilizados actualmente.

IV.B.1.b.1.1.- Solubles en agua.

Celcure : Cromato cúprico; 50 o/o de sulfato de cobre (CuSO_4), 48.3 o/o de dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y 1.7 o/o de ácido crómico (CrO_3). Los azúcares en la madera reducen el dicromato de cobre en cromato insoluble.

Chemonite: Arseniato de cobre amoniacal; 57.7 o/o de hidróxido de cobre ($\text{Cu}(\text{OH})_2$), 40.7 o/o de trióxido arsénico (As_2O_3) y 1.6 o/o de ácido acético (CH_3COOH). El preservativo es disuelto en una solución débil de amoníaco (3 o/o) evaporándose el amoníaco al precipitarse los químicos impregnados.

Erdalith (sal verde) : Cromo arseniato de cobre; 56 o/o de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), 33 o/o de sulfato de cobre (CuSO_4) y 11 o/o de ácido arsénico (As_2O_5).

Sal de Boliden : Cromo arseniato de zinc; 43 o/o de sulfato de zinc (ZnSO_4), 21 o/o de arseniato de sodio (Na_3AsO_4), 20 o/o de ácido arsénico (As_2

O₅) y 16 o/o de dicromato de sodio(Na₂Cr₂O₇).

IV.B.1.b.1.2.- Solubles en aceite.

5 o/o de pentaclorofenol(C₆Cl₅OH) en aceite o diesel.

Creosota; 50 o/o o más de alquitrán de hulla y el resto de aceite derivado del petroleo. No requiere de otro solvente para su aplicación.

En términos generales los preservadores deben reunir las siguientes características: Ser altamente tóxicos a los organismos destructores de la madera, en concentraciones bajas. Poser alta capacidad de penetración en la madera. Ser capaces de permanecer inalterables largo tiempo y resistir intemperismo. No dañar la madera ni ser corrosivos a los metales. Ser accesibles y económicos tanto en el mercado como en sus métodos de aplicación. Para propósitos específicos , deben ser además limpios y compatibles con adhesivos, pinturas y barnices.

Actualmente en México se utilizan los preservativos del tipo soluble en agua, ya que son más eficaces por su mayor penetración en la madera y además económicos. Debido a su origen aceitoso, la creosota y el pentaclorofenol, no son afines con la madera y tienden a salirse de ésta, incrementando el riesgo de incendio.

IV.B.1.b.2.- Tratamientos de aplicación .

Cuando una madera contiene preservadores, se dice que está impregnada y tratada. El grado de impregnación llamado reten---

ción, indica qué cantidad en peso de preservador está contenido en un volumen determinado de madera. La penetración indica la profundidad que alcanza el preservador en la madera.

Los principales tipos de tratamientos que se usan actualmente son: Procesos sin presión y Procesos a presión.

IV.B.1.b.2.1.- Procesos sin presión.

son procesos superficiales y su grado de protección es limitado. Pueden ser por inmersión, baño, aplicación con brocha, o aspersión.

Inmersión: En una tina conteniendo el preservador se sumerge por breves instantes la madera.

Generalmente se utiliza para la creosota, o los solubles en aceite.

Baño : La madera se coloca por un período prolongado en un estanque con líquido preservador.

Brocha : Se emplean únicamente como mantenimiento o protección temporal.

Aspersión: En una cámara de tratamiento se impulsan mecánicamente piezas de madera y durante el trayecto son rociadas con preservador.

IV.B.1.b.2.2.- Procesos a presión.

Estos procesos se dividen en célula llena o vacía.

Célula llena: La madera se coloca en una autoclave y se aplica un vacío inicial (aproximadamente 22 pulg. de Hg.). Se llena la autoclave con la solución preservadora hasta alcanzar la presión hidráulica especificada. Esta presión se mantiene el tiempo suficiente (12-14 horas) para obtener el grado de tratamiento deseado; normalmente la retención que se obtiene es de 0.75 lb/ft³ de madera. En este proceso se utilizan preservadores solubles en agua y las células quedan con sus cavidades llenas del líquido, que al evaporarse depositan los tóxicos en las paredes celulares.

Célula vacía: En una autoclave se coloca la madera y enseguida se inyecta la solución preservadora, se bombea hasta alcanzar la presión hidráulica especificada; normalmente 100 lb/pulg². Se denomina así, porque el preservador queda en las paredes celulares, pero las cavidades celulares quedan vacías. Se utilizan para tratamientos con creosota y preservadores aceitosos.

IV.B.1.c.- Desventajas de la madera en relación a otros materiales.

Las ventajas que representa el uso de la madera en las torres de enfriamiento fueron enunciadas al principio de este inciso, a continuación se enlistan las desventajas: Sujeta a ataques biológicos, requiriendo de un tratamiento preservativo. Requiere de equipo de tratamiento de agua para minimizar el ataque químico. Es altamente combustible.

IV.B.2.- Acero.

El acero es utilizado como un material estructural en las torres de enfriamiento donde la condición de diseño de la planta es no aceptar materiales combustibles, y en todos los casos como un accesorio de ensamble (herrajería).

Sin embargo, debido a las condiciones corrosivas que se tienen en las torres, siempre habrá que protegerla de este ataque.

Este material presenta grandes ventajas respecto a la madera, pero su inversión inicial es considerablemente más alta.

IV.B.3.- Concreto.

Este material es el que presenta las mayores ventajas para su uso en diferentes partes de las torres de enfriamiento, ya que: Tiene larga vida. Alta resistencia al fuego. Alta resistencia a ataques químicos y biológicos, por lo que el costo de mantenimiento

de la torre disminuye considerablemente. Absorbe mejor las vibraciones del equipo mecánico.

IV.B.4.- Plástico

Los plásticos se dividen en dos categorías principalmente: Resinas termoplásticas y resinas de plástico por fraguado térmico.

IV.B.4.a.- Resinas termoplásticas.

Son aquellas que en forma repetida se ablandan cuando se calientan y endurecen cuando se enfrían. Dentro de este grupo se consideran el poliestireno, polietileno, PVC (cloruro de polivinilo), etc. Su utilización es generalmente en partes no estructurales.

IV.B.4.b.- Resinas de plástico por fraguado térmico.

Son aquellas que bajo una reacción química o por la acción del calor o un catalizador, llegan a un estado sólido no pudiendo regresar a su forma original. Dentro de este grupo se consideran los poliésteres, resinas epóxicas, etc. y con fibra de vidrio se usan en componentes estructurales o en partes donde sea necesario una alta resistencia.

IV.b.4.c.- Comparación.

Sus principales ventajas son la alta resistencia a uta--

ques químicos y biológicos, bajo peso, poco combustible si se fabrican para altas temperaturas; siendo su mayor desventaja el alto costo inicial.

IV.C. COMPONENTES PRINCIPALES

IV.C.1.- Cubierta.

Contiene el agua dentro de la torre y contribuye a darle una buena apariencia. Puede ser construída en plástico o asbesto-cemento.

IV.C.2.- Estructura.

Son los elementos que soportan la torre. Se diseñan para soportar el peso de los componentes básicos y el agua circulante, así como las cargas por viento (30 lb/pulg² o mayor) y temblor. Puede ser construída en madera, acero, concreto o plástico.

IV.C.3.- Cisterna.

Recolecta el agua enfriada en el fondo de la torre y en el caso de construirse en concreto, actúa como cimiento de la torre. Generalmente es de concreto; sin embargo, puede utilizarse la madera o acero para este propósito.

IV.C.4.- Empaque o relleno.

Es la parte principal en la fabricación, instalación y funcionamiento de la torre, ya que es el componente que sirve de contacto entre el aire y el agua.

Su función es interrumpir el descenso del líquido, retardando la caída a través del equipo y aumentando la superficie de contacto distribuyendo el líquido en su superficie; resultando con esto, la disipación de calor hacia afuera de la torre.

IV.C.4.a.- Características.

Un buen empaque debe cumplir con las siguientes características: Ser altamente poroso para permitir la más eficiente transferencia de calor. Peso ligero. Bajo costo. Oponer baja resistencia al flujo de aire para evitar caídas de presión. Mantener una distribución uniforme del agua y el aire. Facilidad de instalación. Ser altamente resistente al deterioro.

IV.C.4.b.- Tipos.

IV.C.4.b.1.- Salpique o rociado.

Separa el flujo de agua en pequeñas gotas conforme va descendiendo de nivel en nivel. Se clasifican de acuerdo a lo siguiente.

IV.C.4.b.1.1.- Barras angostas (ver figura No. 8)

Ofrece una resistencia mínima al flujo de aire en torres de flujo cruzado. Los espacios cerrados (5 1/2" o menor , entre los niveles de empaque, reducen la altura de la torre.

IV.C.4.b.1.2.- Barras cuadradas de 1"x1" (ver figura No. 9)

Presenta la máxima superficie mojada al aire; éste fluye hacia la parte superior.

IV.C.4.b.1.3.- Barras rugosas de 1"x3" (ver figura No. 10)

Un nivel de empaque se instala girándolo 90° al siguiente nivel. Las barras se colocan a 25° con una separación de 1/4".

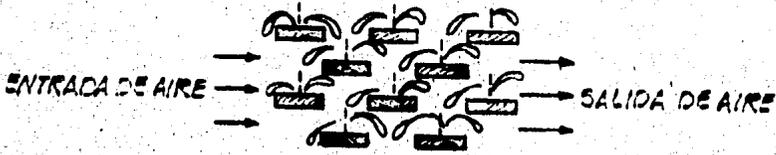
IV.C.4.b.1.4.- Rejillas de plástico de alto impacto (ver figura No. 11).

Una resina termoplástica se moldea por inyección logrando niveles de empaque de 3'x6' con aberturas rectangulares de 2" x2"x1/4". La instalación se hace entrepañando los niveles a 6" cuadradas de distancia transversal.

IV.C.4.b.2.- Película.

Divide el agua en forma de película, descendiendo a lo largo del área del empaque y exponiendo al agua a una mayor área sin que se formen gotas. un empaque de este tipo debe presentar una

FIG. 8



BARRAS ANGCSTAS

FIG. 9



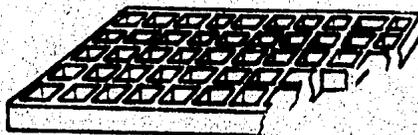
BARRAS CUADRADAS

FIG. 10



BARRAS RUGOSAS (90°)

FIG. 11



REJILLA DE PLASTICO

superficie bastante rugosa, debido a que de otra manera el agua tenderá a fluir en pequeñas corrientes sin separarse, debido a la tensión superficial. Al adherirse la película de agua a la superficie del empaque, no existen gotas o corrientes que impidan el flujo del aire a través de la torre. Se clasifican en :

V.C.4.b.2.1.- Niveles superpuestos a 90° (ver figura No. 12).

Taolillas de $3/8 \times 4'$ a 45° con un distanciamiento entre centros de $2 \ 3/4"$. Este tipo de arreglo ofrece un gran contacto entre el agua y el aire.

V.C.4.b.2.2.- Láminas de plástico endurecido (ver figura No. 13)

Normalmente son de plástico endurecido. El aire fluye a contracorriente con el agua a través de una abertura de $3/8"$.

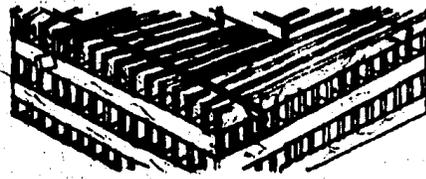
V.C.4.b.2.3.- Láminas de asbesto-cemento (ver figura No. 14).

Presenta una gran superficie rugosa absorbente. Normalmente son de 5mm de espesor con un espaciamiento entre láminas de 19mm.

V.C.4.b.2.4.- Láminas de metal o plástico (ver figura No. 15).

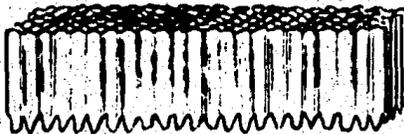
Mantiene una capa relativa de agua en cada cavidad de la ondulación, de tal manera que cualquier sólido que se precipite

FIG. 12



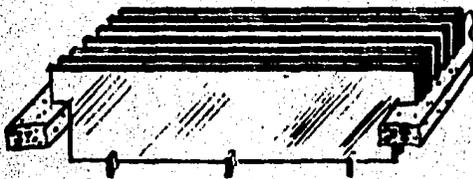
NIVELES SOBREPUESTOS A 90°

FIG. 13



LAMINAS DE PLASTICO ENDURECIDO

FIG. 14



LAMINAS DE ASBESTO CEMENTO

FIG. 15



LAMINAS DE METAL O PLASTICO

durante la evaporación, se desalojará con la película de agua en lugar de adherirse a la lámina.

V.C.5.- Sistema de distribución de agua.

La entrada de agua es distribuída al empaque, por gravedad o presión como a continuación se describe:

IV.C.5.a.- Por gravedad (ver figura No. 16).

Se emplea generalmente en torres de flujo cruzado. Una cisterna de agua es colocada en la parte superior de la torre y el agua fluye hacia abajo por gravedad através de los orificios de porcelana o plástico al empaque de la torre.

IV.C.5.b.- A presión (ver figuras Nos. 17 y 18).

Manejan el agua de entrada a la torre a presión. Se usan en torres de flujo a contracorriente.

IV.C.6.- Eliminadores de arrastre (ver figura No. 19).

Su principal función es remover el agua suspendida en el aire de descarga. Se dividen en eliminadores de un paso, dos pasos o tres pasos dependiendo del número de cambios de dirección que experimenta el flujo de aire através de ellos.

Un eliminador de arrastre de diseño adecuado debe dismi---

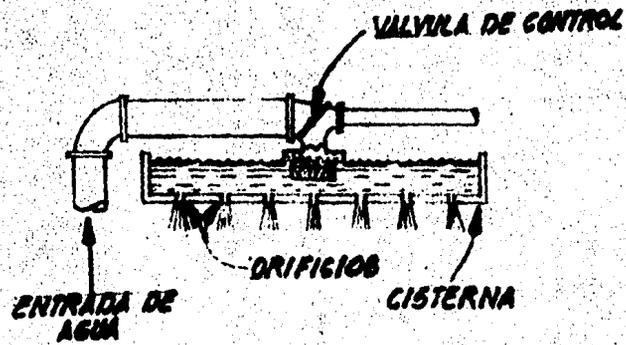


FIG. 16

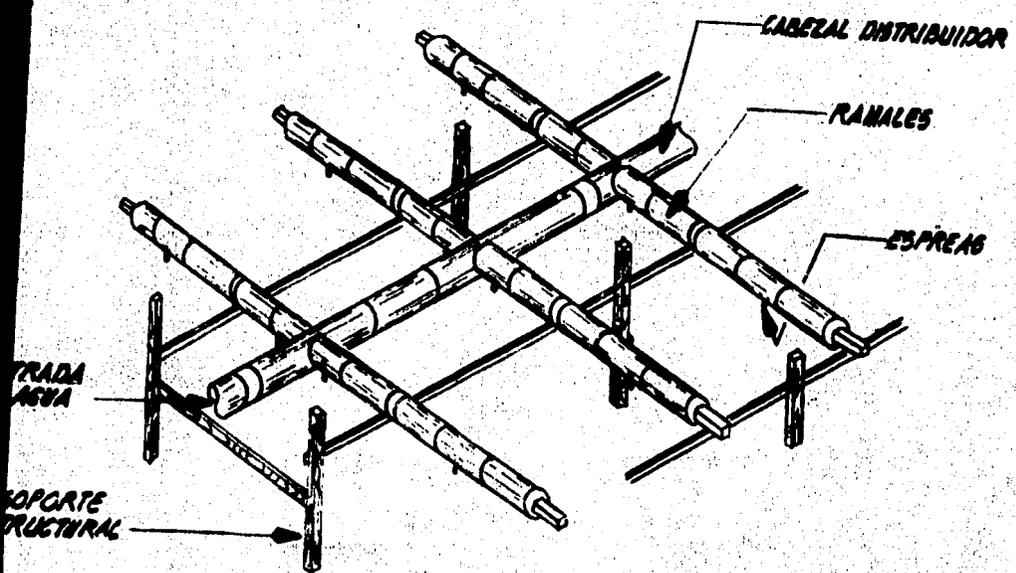


FIG. 17

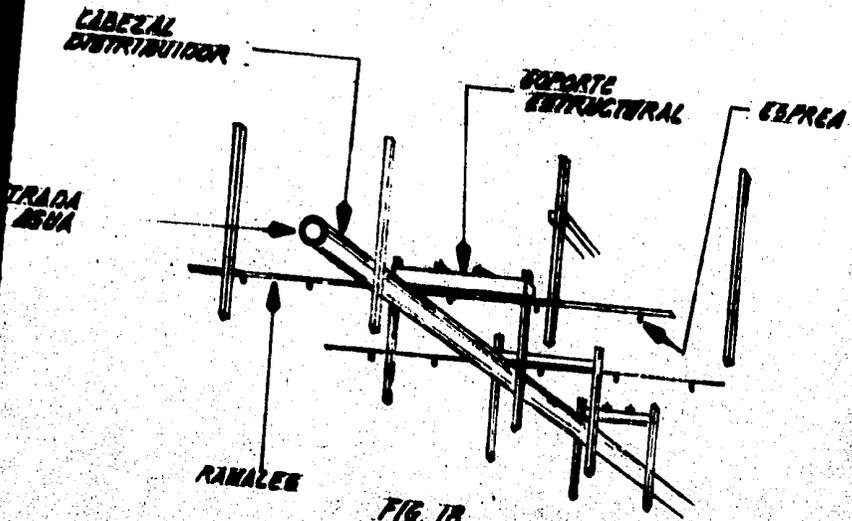
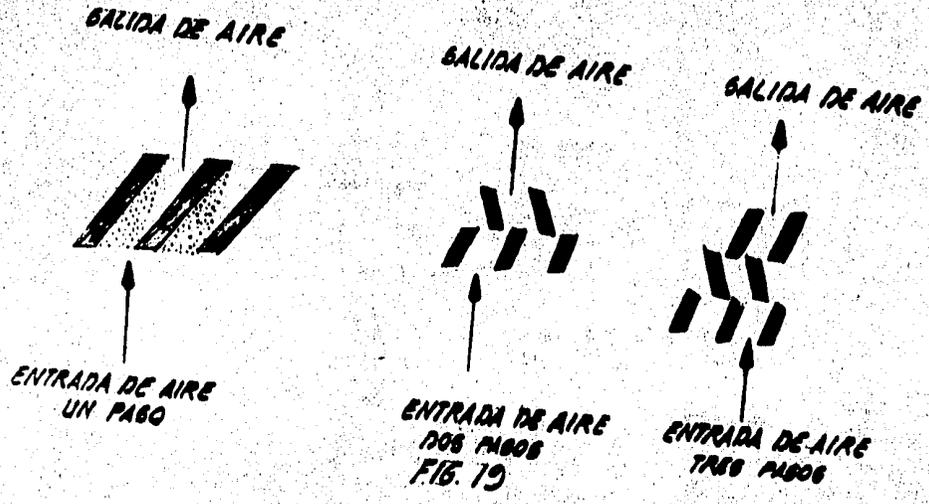


FIG. 18



uir las pérdidas de agua por arrastre eficientemente, sin aumentar considerablemente la caída de presión del aire, ya que esto, se reflejaría en un mayor consumo de potencia del ventilador. En términos generales se tiene que entre mayor sea el número de pasos, mayor será la caída de presión.

Su fabricación consiste en sobreponer tablillas para proporcionar la configuración deseada. Los materiales de construcción pueden ser madera tratada, acero galvanizado, plástico o asbesto.

IV.C.7.- Ventiladores.

Son usados para suministrar el flujo de aire através de la torre. Pueden ser del tipo propela o centrífugo; siendo predominante el empleo de los primeros debido a que tienen la característica de manejar grandes volúmenes de aire a bajas cargas estáticas. Se usan en 4, 8, y 12 aspas, siendo fabricadas éstas en aluminio o resinas termoplásticas reforzadas.

IV.C.8.- Reductores de velocidad.

Son utilizados para reducir la velocidad del motor a la requerida por el ventilador. Los engranes pueden ser del tipo espiral o helicoidal.

La vida de servicio de un reductor depende de la durabilidad de los engranes. La asociación americana de fabricantes de engranes (AGMA) ha establecido los factores de servicio (relación -

de la potencia calculada a la potencia aplicada), el cual varía dependiendo del tipo de accionador (motor, turbina, etc.) y al tipo de servicio (continuo o intermitente). Para motores eléctricos generalmente se establecen factores de servicio de 2.0 en engranes espirales y 1.5 en engranes helicoidales.

El componente que une al reductor con el accionador se le denomina flecha y se construye en acero al carbon galvanizado o en acero inoxidable. El correcto balanceamiento de la flecha evitará vibraciones en el soporte del equipo mecánico y consecuentemente en la torre de enfriamiento.

IV.C.9.- Accionadores.

Los ventiladores pueden ser accionados por motores eléctricos o turbinas, siendo los primeros los utilizados en las torres de enfriamiento. En términos generales, se especifican totalmente cerrados con ventilación y a prueba de explosión, para soportar una explosión interna sin causar peligros externos.

IV.C.10.- Chimenea del ventilador.

Es colocada en la parte superior de la torre y se utiliza como guarda para reducir el efecto de redirección del aire a la torre. Puede ser del tipo venturi, cónico o recuperador de velocidad, el cual normalmente se fabrica con una altura de 14-20 ft. Este último tipo maneja más aire con la misma potencia del ventilador. Se fabrica en plástico por ser el material más ligero.

IV.C.11.- Soporte del ventilador.

Se considera como una parte de la estructura de la torre, el cual actúa como un diafragma para transmitir cargas vivas y muertas a la torre, además de utilizarse como base para la chimenea, ventilador, motor, reductor y sistema de distribución de agua. su construcción es en madera o acero galvanizado.

V. DISEÑO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO

Se desea utilizar una torre de enfriamiento para un sistema de agua de enfriamiento con recirculación, el cual manejará 10,000 gpm de agua y se requiere enfriarla de 105°F a 80°F ; bajo las siguientes bases de diseño:

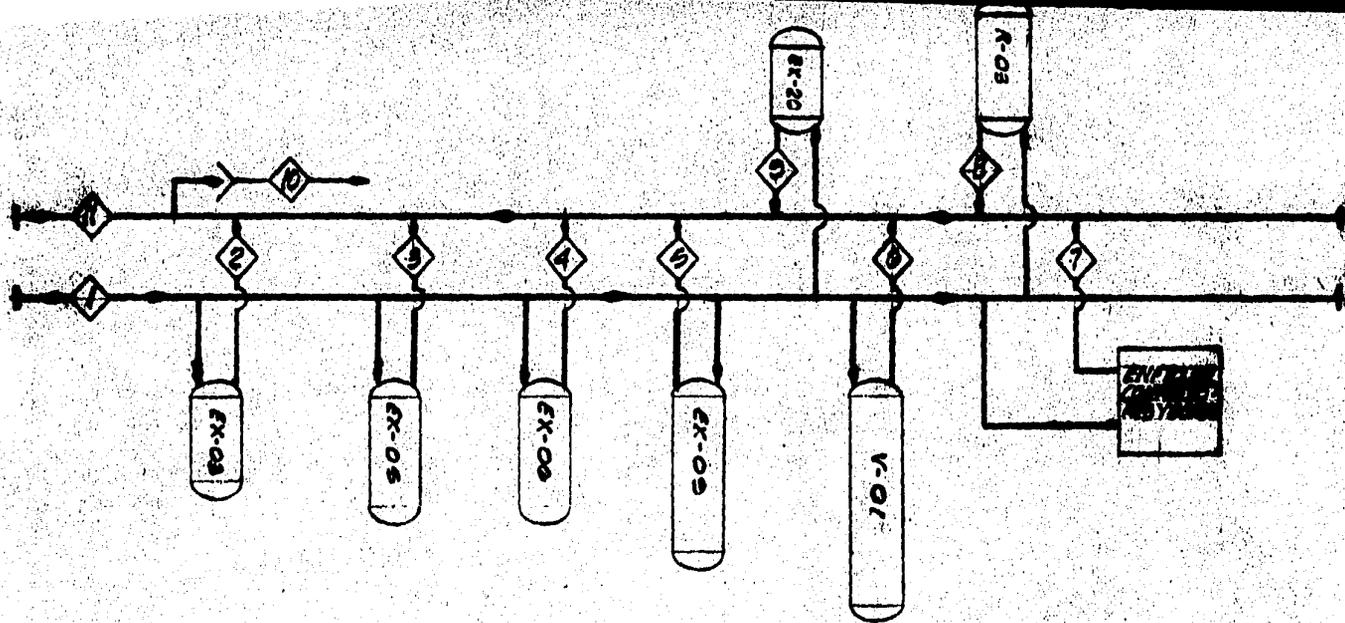
V.A. BASES DE DISEÑO

V.A.1.- Condiciones del lugar:

Localización de la planta	:	Tuxtla Gutiérrez, Chis.
Altitud sobre el nivel del mar	:	528 m.
Presión barométrica	:	713 mm de Hg. (13.8 lb/pulg ²)
Temperatura de bulbo seco		
máxima	:	89°F
mínima	:	45°F
promedio	:	76°F
Temperatura de bulbo húmedo		
máxima	:	83°F
mínima	:	39°F
promedio	:	69.6°F
diseño	:	70°F (ver cálculo)
Humedad relativa-promedio anual	:	75 o/o.
diseño	:	100 o/o

V.A.2.- Datos de diseño:

Capacidad del sistema	:	10,000 gpm (ver diagrama No. 1)
-----------------------	---	---------------------------------



DESCRIPCION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SERVICIO	AGUA DE TORRE DE ENFRIE.	AGUA DE SALIDA DE EX-05	AGUA DE SALIDA DE V-01	AGUA DE SALIDA DE TORRE DE ENFRIE.	AGUA DE SALIDA DE EX-05	AGUA DE SALIDA DE EX-05	PURGA DEL SISTEMA	AGUA DE TORRE DE ENFRIE.			
DEBIDO GPM	10070	800	1000	1000	1300	2770	1800	1800	900	70	10000
TEMP. °F	80	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105

DIAGRAMA No. 1

Número de caldas	:	Una
Temperatura del agua		
caliente	:	105 ^o F
fría	:	80 ^o F
rango	:	25 ^o F
acercamiento	:	10 ^o F
Análisis del agua	:	Ver tabla No. 6

B. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

B.1.- Se requiere de una torre de tiro inducido y flujo a contracorriente.

B.2.- La torre deberá tener eliminadores de arrastre que minimicen el arrastre de agua a un máximo de 0.2 o/o del agua circulante.

B.3.- Las pérdidas por evaporación aceptables será de máximo un 1 o/o por cada 10^oF de caída de temperatura del agua circulante.

B.4.- Los tratamientos de agua que se utilizarán para control de incrustación: ácido sulfúrico; corrosión: zinc-cromato; y crecimiento de materia orgánica: cloro.

B.5.- El empaque de la torre deberá ser de madera tratada (pino-ponderosa de Chihuahua) con cualquier preservador que sea soluble en agua. El proceso de aplicación del preservador deberá ser a presión-célula llena.

Existen datos adicionales que contiene una especificación de torres

Tabla No. 6

análisis de agua cruda

substancia	símbolo	valores en partes por millón (ppm) como CaCO ₂
Calcio	Ca ⁺⁺	300
Magnesio	Mg ⁺⁺	139
Sodio	Na ⁺⁺	105
Potasio	K ⁺	6
TOTAL CATIONES		550
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	180
Carbonatos	CO ₃ ⁼	0
Hidróxidos	OH ⁻	0
Fosfatos	PO ₄ ⁻³	0
Cloruros	Cl ⁻	83
Sulfatos	SO ₄ ⁼	287
Nitratos	NO ₃ ⁻	0
TOTAL ANIONES		550
Dureza total		439
Alcalinidad " A "		180
Dureza no carbonatada		259
Dióxido de carbono	CO ₂	0
Sílice(ppm como SiO ₂)	SiO ₂	12
Hierro	Fe ⁺	0
Acido sulfhídrico	H ₂ S	0
Oxígeno	O ₂	0
Dióxido de azufre	SO ₂	0
Amoníaco	NH ₃	0
Turbidez		200
Sólidos totales(cationes + SiO ₂)		562
pH		7.5

" A " = Al anaranjado de metilo, es un medida de la alcalinidad total (HCO₃⁻, CO₃⁼, OH⁻, PO₄⁻³) y se determina por titulación a pH de 4.3 con anaranjado de metilo (virando de amarillo a salmón).

de enfriamiento; sin embargo, debido a que en este trabajo no se tratará el diseño estructural de la torre, es que no se mencionan; siendo el objeto principal de este capítulo el mostrar una guía general de cómo se desarrolla un diseño preliminar de una torre.

V.C. CALCULOS

V.C.1.- Temperatura de bulbo húmedo de diseño.

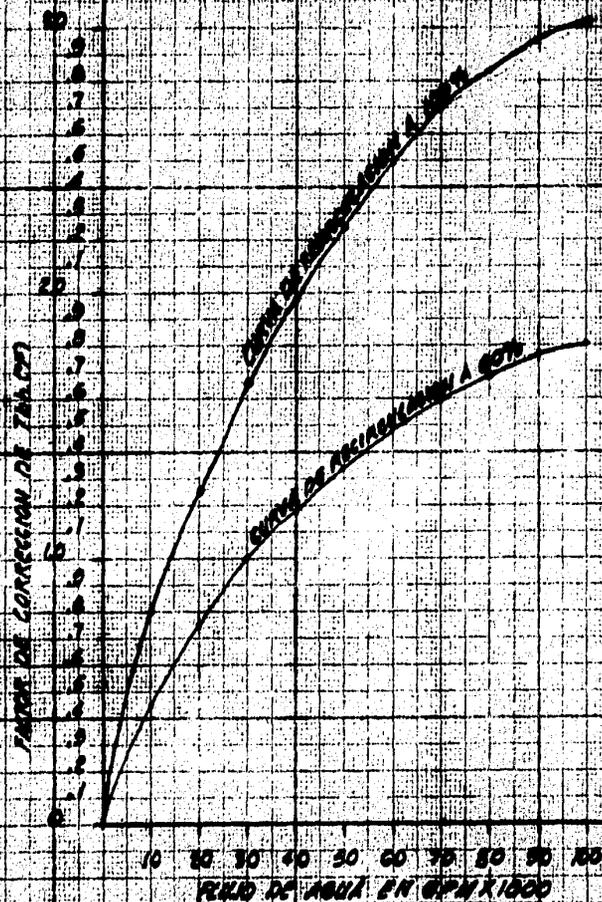
tal y como se indicó en el capítulo No. III, la T_{bh} de diseño deberá considerar el efecto de recirculación del aire a la entrada de la torre y no deberá exceder del 95 o/o de la T_{bh} máxima registrada.

El Instituto de Torres de Enfriamiento (CTI) recomienda usar el efecto producido por el 60 o/o de la máxima recirculación, para lo cual publicó los factores de corrección que deberán hacerse a la T_{bh} promedio y son los indicados en la gráfica No. 6 y tabla No. 7, como sigue:

De gráfica No. 6, para 10,000 gpm y curva a 60 o/o de recirculación se encuentra el factor de $0.45^{\circ}F$.

De tabla No. 7, para un rango de enfriamiento de $25^{\circ}F$ y acercamiento de $10^{\circ}F$ se encuentra un factor de 1.20.

El factor de corrección será: $0.45^{\circ}F \times 1.20 = 0.54^{\circ}F$, por lo que la T_{bh} diseño = $69.6^{\circ}F + 0.54^{\circ}F = 70.14^{\circ}F$; se tomará $70^{\circ}F$.



FACTOR DE CORRECCION DE TAMBOR

FIELD DE AGUA EN CM² X 1000

CURVA DE PUNTEO EN 1.500

CURVA DE PUNTEO EN 1.000

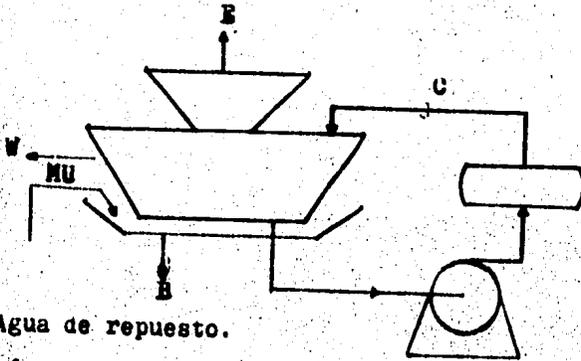
Tabla No. 7

Factores de corrección de la Tbh

acercamiento a Tbh prome- dio (° F)	rango (° F)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
5	0.29	0.47	0.64	0.80	0.97	1.14	1.30	1.47	1.63	1.80
6	0.31	0.49	0.68	0.85	1.03	1.20	1.37	1.56	1.73	1.91
7	0.33	0.51	0.71	0.89	1.08	1.25	1.44	1.63	1.83	2.01
8	0.35	0.53	0.74	0.93	1.12	1.30	1.50	1.70	1.91	2.10
9	0.37	0.55	0.76	0.97	1.16	1.35	1.56	1.77	1.97	2.18
10	0.39	0.57	0.78	1.00	1.20	1.40	1.62	1.83	2.04	2.25
11	0.41	0.59	0.81	1.04	1.24	1.45	1.66	1.88	2.09	2.31
12	0.43	0.61	0.84	1.07	1.27	1.49	1.70	1.92	2.13	2.36
13	0.45	0.63	0.86	1.10	1.30	1.52	1.74	1.96	2.17	2.40
14	0.46	0.65	0.88	1.13	1.33	1.55	1.77	1.99	2.21	2.44
15	0.47	0.67	0.90	1.15	1.36	1.57	1.80	2.02	2.25	2.47
16	0.49	0.69	0.93	1.18	1.39	1.61	1.83	2.06	2.29	2.52
17	0.51	0.70	0.95	1.20	1.42	1.64	1.86	2.10	2.33	2.57
18	0.52	0.72	0.97	1.22	1.44	1.66	1.89	2.13	2.37	2.61
19	0.53	0.74	0.99	1.24	1.46	1.68	1.92	2.16	2.40	2.64
20	0.54	0.75	1.00	1.26	1.48	1.70	1.95	2.19	2.43	2.67
21	0.55	0.77	1.02	1.28	1.50	1.73	1.98	2.22	2.46	2.70
22	0.56	0.79	1.04	1.30	1.52	1.76	2.00	2.25	2.49	2.73
23	0.57	0.80	1.05	1.31	1.54	1.78	2.02	2.27	2.52	2.76
24	0.58	0.81	1.06	1.32	1.56	1.80	2.04	2.29	2.54	2.79
25	0.59	0.82	1.07	1.33	1.57	1.82	2.06	2.31	2.56	2.81

V.C.2.- Agua de repuesto.

El agua de repuesto para una torre de enfriamiento es igual a la suma de las pérdidas por evaporación, arrastre y purgas que se tienen en la torre; de acuerdo al siguiente balance:



donde: MU = Agua de repuesto.

E = Pérdidas por evaporación.

W = Pérdidas por arrastre.

B = Pérdidas por purgas.

C = Agua en recirculación (10,000 gpm)

por lo que: $MU = E + W + B$ 1

V.C.2.a.- Pérdidas por evaporación.

$$E = 0.01 C \times \frac{\Delta T}{10} \quad ; \quad \Delta T = \text{rango } (25^{\circ}F)$$

$$E = 0.01 (10,000 \text{ gpm }) \times \frac{25^{\circ}F}{10^{\circ}F}$$

$$E = 250 \text{ gpm}$$

V.C.2.b.- Pérdidas por arrastre.

$$W = 0.002 \text{ g}$$

$$W = 0.002 (10,000 \text{ gpm})$$

$$W = \underline{20 \text{ gpm}}$$

V.C.2.c.- Pérdidas por purgas.

Las purgas se utilizan para limitar la concentración de sólidos y dependen de la calidad del agua de repuesto . Utilizando el tratamiento con ácido sulfúrico para reducir la alcalinidad y por lo tanto la tendencia incrustante del agua se tiene:

$$X = \sqrt{\frac{800}{(\text{epm}_{\text{Ca}^{++}}) (\text{epm}_{\text{HCO}_3^-} + \text{epm}_{\text{SO}_4^-})}} \quad \dots\dots 2$$

donde: X = Ciclos de concentración

$$\text{epm}_{\text{Ca}^{++}} = \frac{\text{ppm Ca}^{++} \text{ como CaCO}_3}{50}$$

$$\text{epm}_{\text{HCO}_3^-} = \frac{\text{ppm HCO}_3^- \text{ como CaCO}_3}{50}$$

$$\text{epm}_{\text{SO}_4^-} = \frac{\text{ppm SO}_4^- \text{ como CaCO}_3}{50}$$

Del análisis de agua:

$$\text{ppm}_{\text{Ca}^{++}} = 300$$

$$\text{ppm}_{\text{HCO}_3^-} = 180$$

$$\text{ppm}_{\text{SO}_4^-} = 287$$

Sustituyendo valores :

$$\text{epm}_{\text{Ca}^{++}} = \frac{300}{50} = 6.00$$

$$\text{epm}_{\text{HCO}_3^-} = \frac{180}{50} = 3.60$$

$$\text{epm}_{\text{SO}_4^-} = \frac{287}{50} = 5.74$$

Sustituyendo valores en la ecuación No.2

$$x = \sqrt{\frac{800}{(6.00)(3.60 + 5.74)}} = \sqrt{\frac{800}{56.04}}$$

$$x = 3.78$$

Hechando los ciclos de concentración por sílice y sílice-magnesio, para definir el ciclo de concentración con el que se va a diseñar el sistema, tenemos que :

Por sílice : $x = \frac{150}{\text{Si}}$ donde $\text{Si} = \text{ppm de sílice como SiO}_2 = 12$

$$x = \frac{150}{12} = 12.50$$

Por sílice y magnesio;

$$x = \sqrt{\frac{26,000}{\text{Si} \times \text{Mg}}} \text{ donde } \text{Mg} = \text{ppm de magnesio como CaCO}_3 = 139$$

$$x = \sqrt{\frac{26,000}{12 \times 139}} = \sqrt{\frac{26,000}{1,668}}$$

$$x = 4.65$$

Como el efecto de aumentar las purgas, disminuye los ciclos de concentración y este último concepto es el que más nos interesa ya que se trata de evitar que exista sobresaturación con respecto al CaCO_3 y también controlar la formación de sulfato de calcio, silicato de calcio y silicato de magnesio; es necesario limitar los ciclos de concentración.

Debido a lo anterior, se decide tomar el menor valor de ciclo de concentración; aunque se aumente la cantidad de purgas, - como sigue:

De la ecuación No. 1

$$\text{MU} = \text{E} + \text{W} + \text{B}$$

Si tomamos los cloruros como referencia ya que éstos, - son aún más solubles:

$$X = \frac{\text{Cl}_c}{\text{Cl}_{\text{mu}}} \quad \dots\dots 3$$

c = en agua de recirculación
mu = en agua de repuesto

Si consideramos que:

$$\text{B}' = \text{W} + \text{B}$$

$$\text{MU} = \text{E} + \text{B}' \quad \dots\dots 4$$

En condiciones de equilibrio, los cloruros que entran al sistema serán igual a los cloruros que salen del sistema.

$$\text{MU} \times \text{Cl}_{\text{mu}} = (\text{E} \times \text{Cl}_e) + (\text{B}' \times \text{Cl}_b)$$

Como no se pierden cloruros en la evaporación, $\text{Cl}_e = 0$

y

$$\text{MU} \times \text{Cl}_{\text{mu}} = \text{B}' \times \text{Cl}_b$$

En condiciones de equilibrio, se tiene que la concentración de cloruros en la purga es igual a la concentración de cloru--

ros en el agua de recirculación, por lo que:

$$MU \times Cl_{mu} = B' \times Cl_c$$

Rearreglando la ecuación anterior, tenemos:

$$\frac{Cl_c}{Cl_{mu}} = \frac{MU}{B'} \quad \dots\dots 5$$

Sustituyendo la ecuación no.5 en la ecuación No.3;

$$X = \frac{MU}{B'} \quad \dots\dots 6$$

Sustituyendo la ecuación No.4 en la ecuación no.6;

$$X = \frac{E + B'}{B'}$$

Despejando B', se tiene que:

$$B' = \frac{E}{X-1}$$

Como ; B' = w + B

$$w + B = \frac{E}{X-1} \quad \dots\dots 7$$

Despejando B de la ecuación No.7 ;

$$B = \frac{E}{X-1} - w$$

Sustituyendo valores en la ecuación No.7; tomando como base el menor valor obtenido de X, el cual corresponde al calculado por sulfato de calcio (ecuación No.2):

$$B = \frac{250}{3.78-1} - 20 = 89.93 - 20$$

B = 69.93 gpm ; se tomará 70 gpm

Por lo que el cálculo del agua de repuesto será,

De la ecuación No. 1 ;

$$MU = E + w + B$$

Sustituyendo valores;

$$MU = 250 + 20 + 70$$

$$\underline{\underline{MU = 340 \text{ gpm}}}$$

V.C.3.- Reactivos

V.C.3.a.- Para control de incrustación.

Como se ha mencionado anteriormente, se tratará el agua de repuesto con ácido sulfúrico, para controlar el efecto incrustante del agua en recirculación.

De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Ac = 1.06 \left(\frac{b_1 - b_2}{X} \right)$$

donde: Ac = ppm de H_2SO_4 , que se debe agregar en base al agua de repuesto.

b_1 = Alcalinidad al anaranjado de metilo en ppm de $CaCO_3$ en agua de repuesto.

b_2 = Alcalinidad al anaranjado de metilo en ppm de $CaCO_3$ en agua de recirculación al pH que se desea llegar. Este valor se encuentra en la gráfica No. 7.

X = Valor del ciclo de concentración.

La misma fórmula expresada en libras de ácido por 1000 galones:

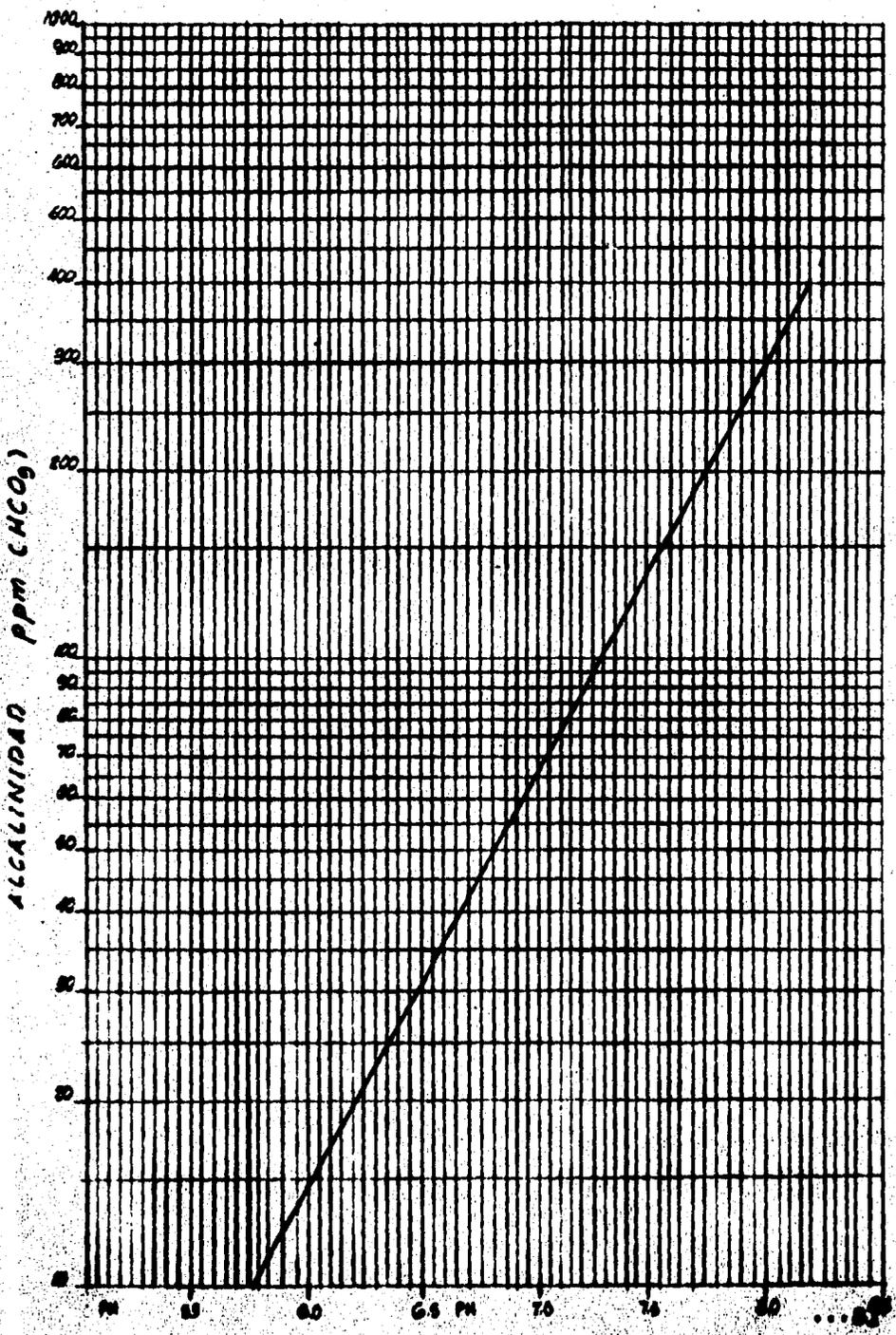
$$Ac' = \frac{(b_1 - b_2)}{114 X}$$

donde: Ac' = Libras de H_2SO_4 por cada 1000 galones de agua de repuesto.

datos: $b_1 = 180$ a pH de 7.5 (del análisis de agua)

$b_2 =$ Se desea que el valor del pH sea 6.5, por

GRAFICA Nº 7
PH VS. ALCALINIDAD



lo que de la gráfica No. 7, se obtiene un valor de 31.

Sustituyendo valores:

$$Ac = 1.06 (180 - 31/3.78) = 182.11 \text{ ppm } H_2SO_4 .$$

$$Ac' = \frac{180 - 31/3.78}{114} = 1.51 \text{ libras de } H_2SO_4 \text{ -----}$$

1000 gal. agua repuesto

Si la cantidad de agua de repuesto, MU = 340 gpm, el consumo de ácido sulfúrico por día será:

$$\text{Acido} = \frac{1.51 \text{ lb } H_2SO_4}{1000 \text{ gal}} \times \frac{340 \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{hr}} \times \frac{24 \text{ hrs}}{\text{día}}$$

$$\text{Acido} = 739.30 \text{ lb } H_2SO_4 \text{ -----}$$

día

V.C.3.b.- Para control de corrosión.

Se tratará el agua de repuesto con sales de zinc-cromatos. La dosificación es variable y depende de la velocidad del agua, al tipo de sistema y el grado de corrosión permisible. Una dosificación típica para sistemas con recirculación y con corrosión máxima permisible de 3 mpy es de 20-30 ppm; en nuestro caso utilizaremos 30 ppm.

De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\text{ppm}}{120 X}$$

donde: I = Cantidad de inhibidor en lb / 1000gal
ppm = 30

X = Ciclo de concentración (3.78)

Sustituyendo valores:

$$I = \frac{30}{120 \times 3.78}$$

$$I = 0.066 \text{ lb de inhibidor}$$

1000 galones

Como MU = 340 gpm; el consumo de inhibidor por día será

$$\text{Consumo} = \frac{0.066 \text{ lb inhibidor}}{1000 \text{ gal}} \times \frac{340 \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{hr}} \times \frac{24 \text{ hrs}}{\text{día}}$$

$$\text{Consumo} = \underline{22.21 \text{ lb inhibidor (zinc-cromato)}}{\text{día}}$$

C.3.c.- Para control de materia orgánica.

El tratamiento será con cloro con una dosificación de -- ppm durante 1 hora cada 8 horas. De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Cl = 0.0015 \times C \times ppm$$

donde : Cl = Consumo de cloro en lb / día.

C = Agua en recirculación (10,000 gpm)

ppm = Dosificación de cloro (5 ppm)

Sustituyendo valores:

$$Cl = 0.0015 \times 10,000 \times 5$$

$$Cl = 75 \text{ lb de cloro (1 hr. cada 8 hrs.)}$$

día

La capacidad del clorador será calculada tomando en consideración que éste será utilizado las 24 hrs. del día y es como sigue:

$$\text{Clorador} = 0.012 \times C \times ppm$$

$$\text{Clorador} = 0.012 \times 10,000 \times 5$$

$$\text{Clorador} = 600 \text{ lb de cloro (capacidad del equipo)}$$

día

Si se revisan los valores de incrustación y corrosión con el Índice de Saturación de Langelier, se encontrará que el criterio de Langelier también define que el efecto predominante es el de incrustación.

V.C.4.- Carga térmica.

La cantidad de calor que se disipará en la torre será:

$$Q = \text{GPM} \times 8.33 \times \text{Rango}$$

donde : $Q =$ carga térmica (BTU/min)

$$\text{GPM} = 10,000$$

$$\text{Rango} = 25^{\circ}\text{F}$$

$$Q = 10,000 \times 8.33 \times 25$$

$$Q = 2'082,500 \frac{\text{BTU}}{\text{min}}$$

V.C.5.- Diseño preliminar de la torre de enfriamiento.

V.C.5.a.- Propiedades termodinámicas.

Debido a que no se tienen cartas psicométricas de la localidad donde se situará la torre, a continuación se procede a calcular las propiedades termodinámicas de la mezcla agua-aire:

$$\begin{aligned} \text{A } 70^{\circ}\text{F} ; \text{ presión de vapor} &= 0.3631 \text{ lb/pulg}^2. \\ \text{calor latente} &= 1,054 \text{ BTU/lb} \end{aligned}$$

$$\text{Humedad} = \frac{P_w}{P_t - P_w} \frac{M_w}{M_a} = X'$$

donde : $P_w =$ presión de vapor lb/pulg²
 $P_t =$ presión total (13.8 lb/pulg²)
 $M_w =$ peso molecular agua (18)
 $M_a =$ peso molecular aire (29)

$$X'_1 = \frac{0.3631}{13.8 - 0.3631} \frac{18}{29} = 0.0167 \frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire}}$$

$$\text{Entalpia} = X'T + \lambda\lambda + 0.24T = H'$$

donde : λ = calor latente de vaporización

$$H'_1 = 0.0167(70) + 0.0167(1,054) + 0.24(70)$$

$$H'_1 = 35.57 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$\text{Volumen específico} = \frac{0.754(T+460)}{P} \left(1 + \frac{H'_1}{H_v} \right) = v$$

donde : P = presión total en pulg. de Hg = 28.1

$$v_1 = \frac{0.754(70+460)}{28.10} \left(1 + \frac{0.0167(29)}{18} \right)$$

$$v_1 = 14.60 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}$$

A 75°F ; Pw = 0.4298 y $\lambda = 1,051.5$

$$X'_2 = \frac{0.4298}{13.8-0.4298} \frac{18}{29} = 0.0199 \frac{\text{lb-agua}}{\text{lb-aire}}$$

$$H'_2 = 0.0199(75) + 0.0199(1,051.5) + 0.24(75)$$

$$H'_2 = 40.42 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$v_2 = \frac{0.754(75+460)}{28.10} \left(1 + \frac{0.0199(29)}{18} \right) = 14.81 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}$$

A 80°F ; Pw = 0.5069 y $\lambda = 1,048.6$

$$X'_3 = \frac{0.5069}{13.8-0.5069} \frac{18}{29} = 0.0236 \frac{\text{lb-agua}}{\text{lb-aire}}$$

$$H'_3 = 0.0236(80) + 0.0236(1,048.6) + 0.24(80)$$

$$H'_3 = 45.83 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$v_3 = \frac{0.754(80+460)}{28.10} \left(1 + \frac{0.0236(29)}{18} \right) = 15.04 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}$$

A 85°F ; Pw = 0.5959 y $\lambda = 1,045.8$

$$X'_4 = \frac{0.5959}{13.8-0.5959} \frac{18}{29} = 0.0280 \frac{\text{lb-agua}}{\text{lb-aire}}$$

$$H'_4 = 0.028(85) + 0.028(1,045.8) + 0.24(85)$$

$$H'_4 = 52.06 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$v_4 = \frac{0.754(85+460)}{28.10} \left(1 + \frac{0.028(29)}{18} \right) = 15.28 \frac{\text{ft}^3}{15}$$

$$\Delta 90^\circ F; P_w = 0.6982 \text{ y } \lambda = 1,042.9$$

$$x_5' = \frac{0.6982}{13.8-0.6982} \frac{18}{29} = 0.0330 \frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire}}$$

$$H_5' = 0.033(90) + 0.033(1,042.9) + 0.24(90)$$

$$H_5' = 58.98 \frac{\text{BTU}}{15}$$

$$v_5 = \frac{0.754(90+460)}{28.10} \left(1 + \frac{0.033(29)}{18} \right) = 15.54 \frac{\text{ft}^3}{15}$$

$$\Delta 95^\circ F; P_w = 0.8153 \text{ y } \lambda = 1,040.1$$

$$x_6' = \frac{0.8153}{13.8-0.8153} \frac{18}{29} = 0.0389 \frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire}}$$

$$H_6' = 0.0389(95) + 0.0389(1,040.1) + 0.24(95)$$

$$H_6' = 66.95 \frac{\text{BTU}}{15}$$

$$v_6 = \frac{0.754(95+460)}{28.10} \left(1 + \frac{0.0389(29)}{18} \right) = 15.82 \frac{\text{ft}^3}{15}$$

$$\Delta 100^\circ F; P_w = 0.9492 \text{ y } \lambda = 1,037.2$$

$$x_7' = \frac{0.9492}{13.8-0.9492} \frac{18}{29} = 0.0458 \frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire}}$$

$$H_7' = 0.0458(100) + 0.0458(1,037.2) + 0.24(100)$$

$$H_7' = 76.08 \frac{\text{BTU}}{15}$$

$$v_7 = \frac{0.754(100+460)}{28.10} \left(1 + \frac{0.0458(29)}{18} \right) = 16.15 \frac{\text{ft}^3}{15}$$

$$\Delta 105^\circ F; P_w = 1.1016 \text{ y } \lambda = 1,034.3$$

$$x_8' = \frac{1.1016}{13.8-1.1016} \frac{18}{29} = 0.0538 \frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire}}$$

$$H_8' = 0.0538(105) + 0.0538(1,034.3) + 0.24(105)$$

$$H_8' = 86.49 \frac{\text{BTU}}{15}$$

$$v_8 = \frac{0.754(105+460)}{28.10} \left(1 + \frac{0.0538(29)}{18} \right) = 16.47 \frac{\text{ft}^3}{15}$$

V.C.5.b.- Flujo de aire requerido.

De acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{K_x a - Y}{L} = 0.07 + A N \left(\frac{L}{G} \right)^{-n}$$

donde : K_x = coeficiente de transferencia de masa lb/hr ft²

a = superficie del empaque ft²/ft³ de volúmen de torre.

L = flujo de agua lb/hr ft² de area en planta.

V = volúmen de la torre ft³/ft² de area en planta.

A y n = valores obtenidos de tablas de fabricantes de torres y corresponden a las características del empaque según el tipo de los mismos (dimensiones).

n = número de niveles o estantes de empaque; se supondrá en este caso 40 niveles.

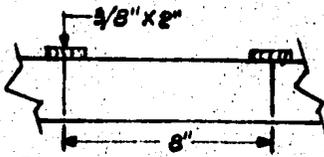
G = flujo de aire lb /hr ft² de area en planta.

Se selecciona el tipo de empaque a utilizarse; en este caso se utilizará empaque tipo salpique o rociado de barras angostas de madera. De acuerdo a la figura n.º. 20, se especificará el diseño "A" con separación entre tablillas de 9" x 4".

Al seleccionar este tipo de empaque, en tabla n.º. 8 se encuentran los valores de A y n , los cuales corresponden a 0.060 y 0.62 respectivamente.

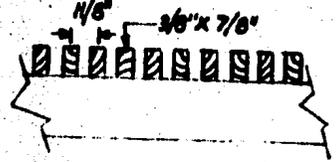
Se suponen dos valores (0.90 y 1.5) de la relación L/G y se procede a la solución de la ecuación anterior:

DISEÑO "A" Y "B"



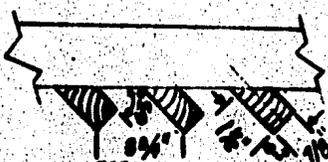
ESPACIAMIENTO VERTICAL
"A" = 9", "B" = 12"

DISEÑO "C" Y "D"



ESPACIAMIENTO VERTICAL
"C" = 15", "D" = 24"

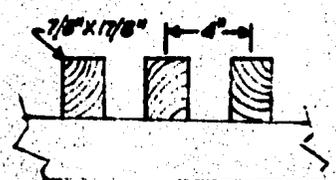
DISEÑO "E"



ESPACIAMIENTO VERTICAL 24"

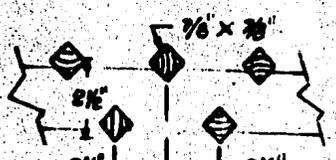
DISEÑO "5"

DISEÑO "F"



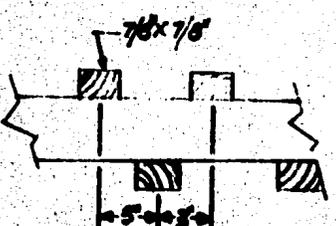
ESPACIAMIENTO VERTICAL
24"

DISEÑO "H"



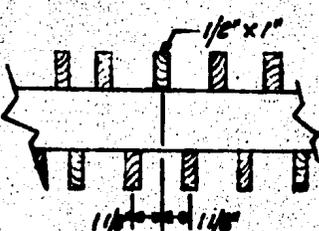
ESPACIAMIENTO VERTICAL 24"

DISEÑO "J"



ESPACIAMIENTO VERTICAL 24"

DISEÑO "7"

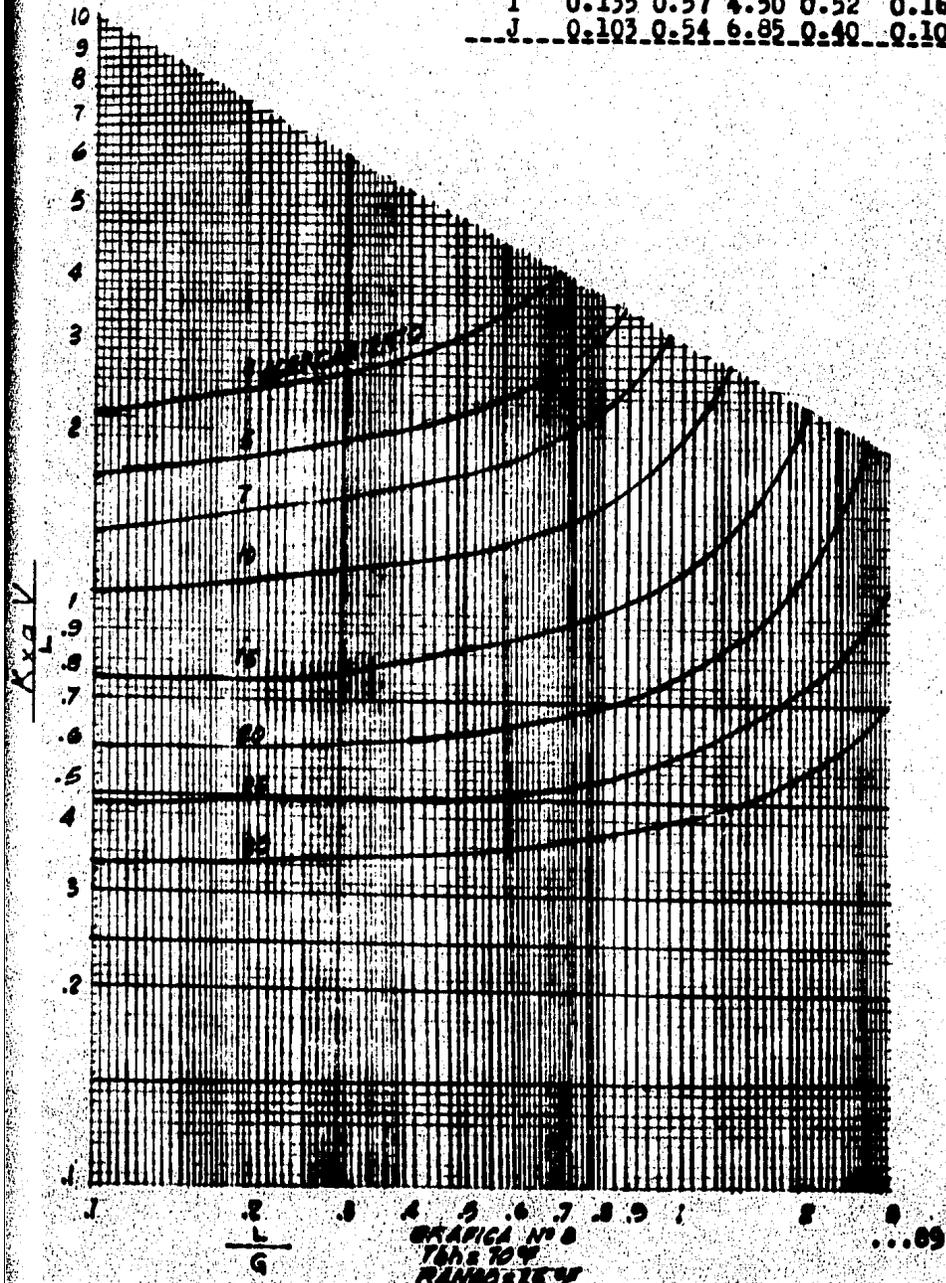


ESPACIAMIENTO VERTICAL 24"

FIG. 20

Tabla No. 8

diseño tipo	A	n	SI (ft)	B $\times 10^{-8}$	C $\times 10^{-12}$
A	0.060	0.62	3.00	0.34	0.11
B	0.070	0.62	4.00	0.34	0.11
C	0.092	0.60	3.75	0.40	0.14
D	0.119	0.58	6.00	0.40	0.14
E	0.110	0.46	4.95	0.60	0.15
F	0.100	0.51	9.13	0.26	0.07
G	0.104	0.57	6.85	0.40	0.10
H	0.127	0.47	3.64	0.75	0.26
I	0.135	0.57	4.50	0.52	0.16
J	0.103	0.54	6.85	0.40	0.10



Para $L/G = 0.90$

$$\frac{Kx \cdot V}{L} = 0.07 + 0.06(40) (0.9)^{-0.62} = 2.63$$

Para $L/G = 1.5$

$$\frac{Kx \cdot V}{L} = 0.07 + 0.06(40) (1.5)^{-0.62} = 1.94$$

Se localizan en gráficas existentes de KxV/L Vs L/G de los fabricantes de torres (según la T_{bh} y rango especificados) - los valores antes obtenidos y en el punto de intersección con la - curva de acercamiento de la gráfica, se encuentra el valor de L/G correspondiente a las condiciones de operación especificadas y que servirá de base para los siguientes cálculos. Refiriéndose a la gráfica No.8 para nuestro caso el valor de $L/G = 1.3$

Según Pritchard, la altura económica de una torre empacada varía de 12-40' y valores de G de 1400-2000.

El número de niveles de empaque estimado con un espaciamiento de 9" da una altura de torre de:

$$\text{espesor de la tablilla} = 3/8''$$

$$\text{espesor total} = 3/8'' \times 40 = 1.25'$$

$$\text{Altura} = (40 - 1.25) (9/12) = 29.06'$$

per lo que el incremento en el valor de 1400 de G será de:

$$\frac{40' - 12'}{40' - 29.06'} = \frac{2000 - 1400}{x}$$

$$x = 234.43 \text{ lb/ hr ft}^2 \text{ de area en planta.}$$

Per lo que el valor de G correcto será :

$$G = 1400 + 234.43 = 1634.43 \text{ lb/ hr ft}^2 \text{ de area en planta.}$$

Como $L/G = 1.3$

$$L = 1.3 (1,634.43) = 2,124.76 \text{ lb/hr ft}^2 \text{ de area en planta.}$$

Para 10,000 gpm

$$\text{lb/hr} = 10,000 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times 8.33 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}}$$

$$\text{lb/hr} = 4,998,000$$

$$\text{Area en planta} = \frac{4,998,000 \text{ lb/hr}}{2,124.76 \text{ lb/hr ft}^2} = 2,352.27 \text{ ft}^2$$

Del valor obtenido de area en planta se podrá deducir que la superficie del terreno que ocupará la torre será de 36' x 66' = 2376 ft²; se utilizará este valor para efectos de cálculos

Usando esta area:

$$L = \frac{4,998,000}{2376} = 2,103.5 \text{ lb / hr ft}^2 \text{ de area en planta.}$$

Como L/G = 1.3

$$G = \frac{2,103.5}{1.3} = 1,618 \text{ lb/ hr ft}^2 \text{ de area en planta.}$$

V.C.5.c.- Caída de presión através de la torre.

V.C.5.c.1.- A través del empaque.

Según la siguiente fórmula :

$$\Delta P_e = NBG^2 \left(\frac{0.0672}{\rho_g} \right) + nC \sqrt{8f} (L)(G_e)^2 \left(\frac{0.0675}{\rho_g} \right)$$

donde : ΔP_e = caída de presión através del empaque.

n = 40 niveles de empaque.

B = valor de tabla no.8 (0.54x10⁻⁸)

- $G = 1,618 \text{ lb/hr ft}^2$
 $\rho_g = \text{densidad promedio del aire atraves de la torre} = \frac{1}{V} = \frac{1}{15.46} = 0.0647 \text{ lb/ft}^3$
 $C = \text{valor de tabla No.8}(0.11 \times 10^{-12})$
 $Sf = \text{valor de tabla No.8}(3.0)$
 $L = 2,103.5 \text{ lb/hr ft}^2$
 $G_e = \text{valor obtenido de grafica No.9}(3,930 \text{ lb/hr ft}^2)$

Sustituyendo valores:

$$\Delta P_e = 40(0.34 \times 10^{-8}) (1,618)^2 \left(\frac{0.0675}{0.0647} \right) + 40(0.11 \times 10^{-12}) \sqrt{3} (2,103.5)(3,930)^2 \left(\frac{0.0675}{0.0647} \right)$$

$$\Delta P_e = 0.6296 \text{ pulg. agua.}$$

V.C.5.c.2.- Através de las persianas.

Se calculará en base a persianas con una longitud de 36' y una altura de 6' , como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Area total de persianas} &= (36') (2 \text{ lados}) (6') \\ &= 432 \text{ ft.} \end{aligned}$$

$$\text{CFM (aire de entrada)} = \frac{G \times \text{area en planta}}{\rho_g \times 60}$$

donde: $\rho_g = \text{densidad del aire a la entrada de la torre} = 0.0685 \text{ lb/ft}^3$

$$\text{CFM} = \frac{1,618 \text{ lb/hr ft}^2 \times 432 \text{ ft}^2}{0.0685 \text{ lb/ft}^3 \times 60 \text{ min/hr}} = 935,369 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

$$\text{Velocidad atraves de las persianas} = \frac{935,369 \text{ ft}^3 / \text{min}}{432 \text{ ft}^2} = 2,165.2$$

La caída de presión através de las persianas se calculará tomando en consideración que existen los parámetros de 0.02

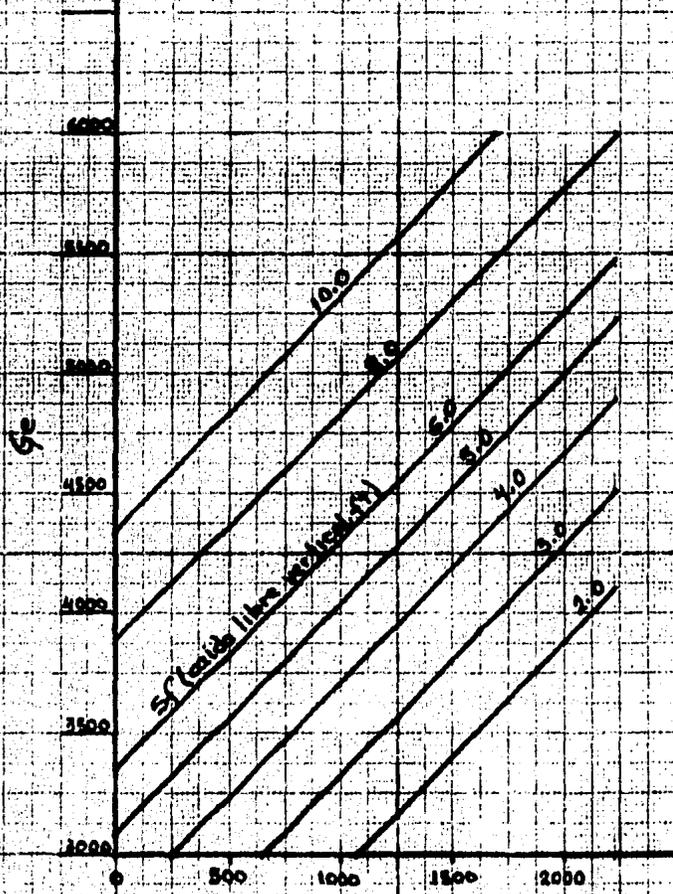


Gráfico No. 9

Valores de flujo de aire equivalente

pulg. de agua para 400 ft/min , 0.32 pulg. de agua para 1600 ft/min y 0.615 pulg. de agua para 2800 ft/min (ver gráfica No.10) , como sigue:

$$\frac{0.615 - 0.32}{x} = \frac{2800 - 1600}{2800 - 2165.2}$$

$$x = 0.156 \text{ pulg. agua.}$$

por lo que:

$$\Delta P_p = 0.615 - 0.156 = 0.459 \text{ pulg. agua}$$

V.C.5.c.3.- A través de los eliminadores de arrastre.

La caída de presión a través de los eliminadores de arrastre se calculará considerando que existen parámetros que varía desde 0.01 pulg. agua a un valor de u de 800 , 0.07 a $u=2000$ y 0.11 a $u = 2800$ (ver gráfica No.11) ; como a continuación se indica:

$$\frac{0.11 - 0.07}{x} = \frac{2800 - 2000}{2800 - 2165.2}$$

$$x = 0.0317 \text{ pulg. agua}$$

por lo que:

$$\Delta P_{e.r.} = 0.11 - 0.0317 = 0.0783 \text{ pulg. agua}$$

CAIDA DE PRESION ATRAVES DE LA TORRE = $\Delta P_e + \Delta P_p + \Delta P_{e.r.}$

$$\Delta P_{total} = 0.6296 + 0.459 + 0.0783$$

$$\Delta P_t = 1.1669 \text{ pulg. agua}$$

V.C.5.d.- Cálculo de la potencia del ventilador.

tomando en consideración que la densidad del aire a la sa

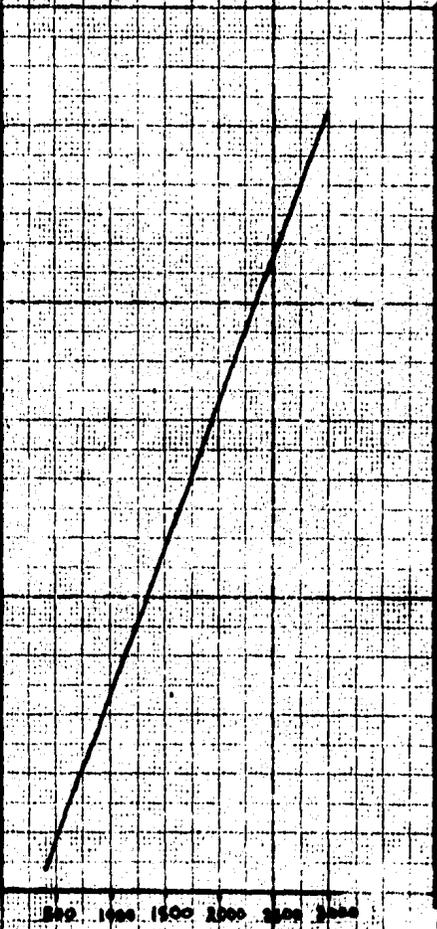
SUMA DE PÉRDIDAS A TRAVÉS DE PERFORACIONES
(puls./seg.)

0.20
0.15
0.10
0.05
0
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
0.45
0.50

500 1000 1500 2000 2500 3000

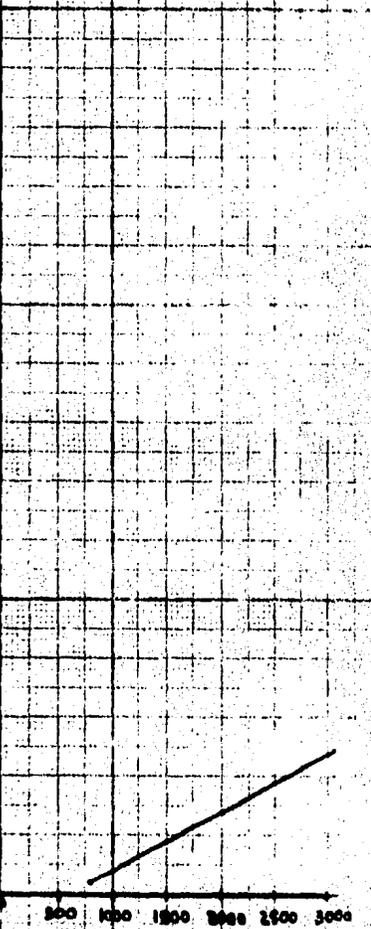
Velocidad ft/min.

GRAFICA No.10



500 1000 1500 2000 2500 3000

GRAFICA No.11



Una de la terre (105⁰F) = 1/16.41 = 0.0607 lb/ft³.

$$\text{BHP} = \frac{F \cdot Pt}{(6356)(0.80)}$$

$$\text{donde : } F = \frac{1618 \text{ lb/hr ft}^2 \times 2376 \text{ ft}^2}{0.0607 \text{ lb/ft}^3 \times 60 \text{ min/hr}}$$
$$= 1'055, 565 \text{ rt}^3/\text{min}$$

$$\text{BHP} = \frac{1'055,565(1.1669)}{(6356)(0.80)}$$

$$\text{BHP} = 242.24$$

Se utilizará un motor para el ventilador de 250 HP.

Los cálculos obtenidos en este capítulo fueron desarrollados como una guía general ya que los valores finales de diseño de la terre - deberán ser obtenidos del fabricante seleccionado para suministrar la terre de enfriamiento , quién considerará sus características propias de su empaque, diseño civil, estructural, mecánico y de proyecto para la correcta operación del equipo.

X. CONCLUSIONES

Considerando la importancia que tienen los sistemas de agua de enfriamiento en cualquier planta industrial, la cantidad de agua que se utiliza en el enfriamiento de los principales equipos tales como compresores, cambiadores de calor, bombas, etc. y las regulaciones gubernamentales que existen para desalojar los efluentes de la planta a los ríos, mares, etc., es muy importante que el ingeniero químico que principalmente enfoca su actividad profesional en el diseño de plantas de proceso, conozca en detalle las principales características de las torres de enfriamiento, tratamientos químicos necesarios para el correcto mantenimiento de los sistemas de agua de enfriamiento y los principales parámetros y conceptos para especificar adecuadamente el tipo de torre requerido en la planta.

Al desarrollar aún en forma preliminar el diseño de la torre de enfriamiento, nos dará como resultado una visualización aproximada de las dimensiones del terreno que ocupará la torre, la cantidad de agua requerida en forma continua por el sistema de enfriamiento por concepto de diferentes pérdidas ocasionadas en la torre, el tipo de tratamiento químico a utilizarse y la cantidad de productos químicos que se consumirá en el sistema, la energía eléctrica necesaria para operar el motor del ventilador de la torre, etc.

VII. BIBLIOGRAFIA

- ASME Petroleum Div. " Causes and prevention of decay of wood in cooling towers " bulletin 1961
- Chemical Engineering " Costlier cooling towers require a new approach to water systems design " bulletin Jul. 1967
- Chemical Engineering " Cooling water treatment " bulletin Oct. 5, 1969.
- Cooling Tower Institute " Acceptance test procedure for industrial water cooling tower, mechanical draft type " bulletin - ATP-105.
- Cooling Tower Institute " Application techniques for treating cooling tower with polychlorophenates " bulletin En.25, 1965.
- Cooling Tower Institute " Fiberglass reinforced polyester - plastic for cooling towers " bulletin Jun 1965.
- Cooling Tower Institute " Pressure preservative treatment of lumber for industrial water cooling tower " bulletin WMS-112.
- Cooling Tower Institute " Report of CTI testing activities for 1970 " bulletin En.25, 1971.
- Cooling Tower Institute " The effect of age and maintenance on cooling tower performance " bulletin Oct.3, 1963.
- Cooling tower Institute " The corrosion engineer looks at the cooling tower " bulletin Jun. 16, 1964.
- Combustion " Treatment of cooling towers " bulletin nov. 1960.
- Combustion " Cooling tower specifying, purchasing and proving " bulletin ag. 1967.
- Durez Plastics Div. Hooker Chemical Corp. " Fire retardant fiberglass reinforced polyester as a material of construction - for cooling tower "
- Foust S. A. " Principios de operaciones unitarias " 8ª edición 1975.

Hidrocarbon Processing " Design best cooling water system " bulletin Dic. 1968.

Hidrocarbon Processing " Once-through vs cooling tower water " bulletin Jul. 1967.

Hidrocarbon Processing " Fit cooling system to the job " bulletin Nov. 1970.

Hidrocarbon Processing " Practical tips on cooling tower sizing " bulletin Feb. 1967.

Industrial Water Engineering " Cooling towers special report " bulletin May. 1970.

Kern G. Donald " Procesos de transferencia de calor " 10^a edición Sep. 1976.

Landau Ralph " La planta química " 1^a edición 1970.

Ludwig E. Ernest " Applied process design for chemical and petrochemical plants " Vol. II , edición 1964.

National Association of Corrosion Engineers " Plastics trends in cooling tower design " bulletin Mar.15, 1962.

National Association of Corrosion Engineers " Waterside fouling and scaling of heat exchangers equipment " bulletin Oct. 2, 1963.

Rase F.H. y Barrow R.M. " Ingeniería de proyectos para plantas de proceso " 1^a edición Jul. 1973.

Petroleos Mexicanos " Especificaciones generales para proyectos de obra " Norma No. 2.613.07, edición 1970.

Perry and Chilton " Chemical Engineers' handbook " 5^a edición

Peters S. Max " Plants design and economics for chemical engineers " 2^a edición.

Power Engineering " Cooling towers special report " bulletin Mar. 1963.

The Marley Co. " Chemically treating cooling tower lumber projects against fungus attack " bulletin No. R-61-W-3.

The Marley Co. " Prevents invasion of rot and decay"

The marley Co. " Analyze your bids " bulletin no. R-58-P-2

The Marley Co. " Cooling towers and salt water " bulletin
Sep. 20, 1973.