

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUÍMICA



ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA
SELECCIÓN DE COMPRA DE UNA TORRE
DE ENFRÍAMIENTO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A:

PATRICIA ARACELI VALVERDE LANDEROS

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

I. INTRODUCCION.

II. GENERALIDADES.

- Tipos de torres, eliminadores de rocío, distribuidores, empaques.
- Equipo mecánico adecuado para torres de enfriamiento.

III. ESPECIFICACIONES.

- Condiciones del lugar.
- Condiciones de operación.
- Tipo de torre deseada.
- Equipo mecánico de acuerdo a las necesidades de operación.

IV. EVALUACION Y SELECCION DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

- Análisis técnico.
- Análisis económico.

V. CONCLUSIONES.

VI. BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO UNO

1.1. INTRODUCCION.

Debido al crecimiento industrial en el país, las necesidades de servicios, tales como el agua han aumentado, y es muy necesario la conservación de las fuentes naturales ya que pueden tener un rápido agotamiento. Una solución parcial a este problema no es necesariamente la búsqueda de nuevas fuentes, sino utilizando más eficientemente el agua disponible. Existen métodos que contribuyen significativamente a solucionar este problema, y entre estos está el sistema de enfriamiento de agua por medio de torres, de tal manera que decrecen las pérdidas y los gastos de operación de equipos de enfriamiento, lo cual permite usar el agua una y otra vez. Esta es la finalidad de estudiar y seleccionar torres de enfriamiento.

El enfriamiento de agua que ha sido empleado en procesos tales como el de refrigeración, se realiza con el fin de llevar el agua a su temperatura primitiva para que pueda entrar nuevamente a prestar servicio en el proceso fabril. Este enfriamiento se lleva a efecto poniéndola en íntimo contacto con una corriente de aire cuya temperatura húmeda sea inferior a la del agua. En ciertas condiciones el agua se enfría por evaporación, y también por transmisión de calor sensible al aire, si la temperatura de ésta es inferior.

A medida que asciende la temperatura del aire aumenta su humedad y desciende la temperatura del agua. La temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire correspondiente a las condiciones de entrada en la torre de enfriamiento.

Para analizar los sistemas de agua de recirculación utilizando torres de enfriamiento, deberá hacerse una distribución entre dos tipos básicos:

-Industrial.- Refinerías, estaciones generadoras de electricidad, industrias etc. El agua de repuesto se suministra usualmente de lugares de tratamiento de agua localizadas en el mismo sitio de la planta, o directamente de los recursos propios de la compañía. Las purgas del sistema de la torre usualmente se descargan en un sistema de corrientes receptoras.

-No industrial.- Aire acondicionado de oficinas u otros sistemas de enfriamiento de varios tamaños. El agua de repuesto generalmente se suministra del sistema de agua de la ciudad y las purgas son usualmente descargadas en alcantarillas de la misma ciudad. Los rangos de recirculación son considerablemente más bajos que los de las torres industriales.

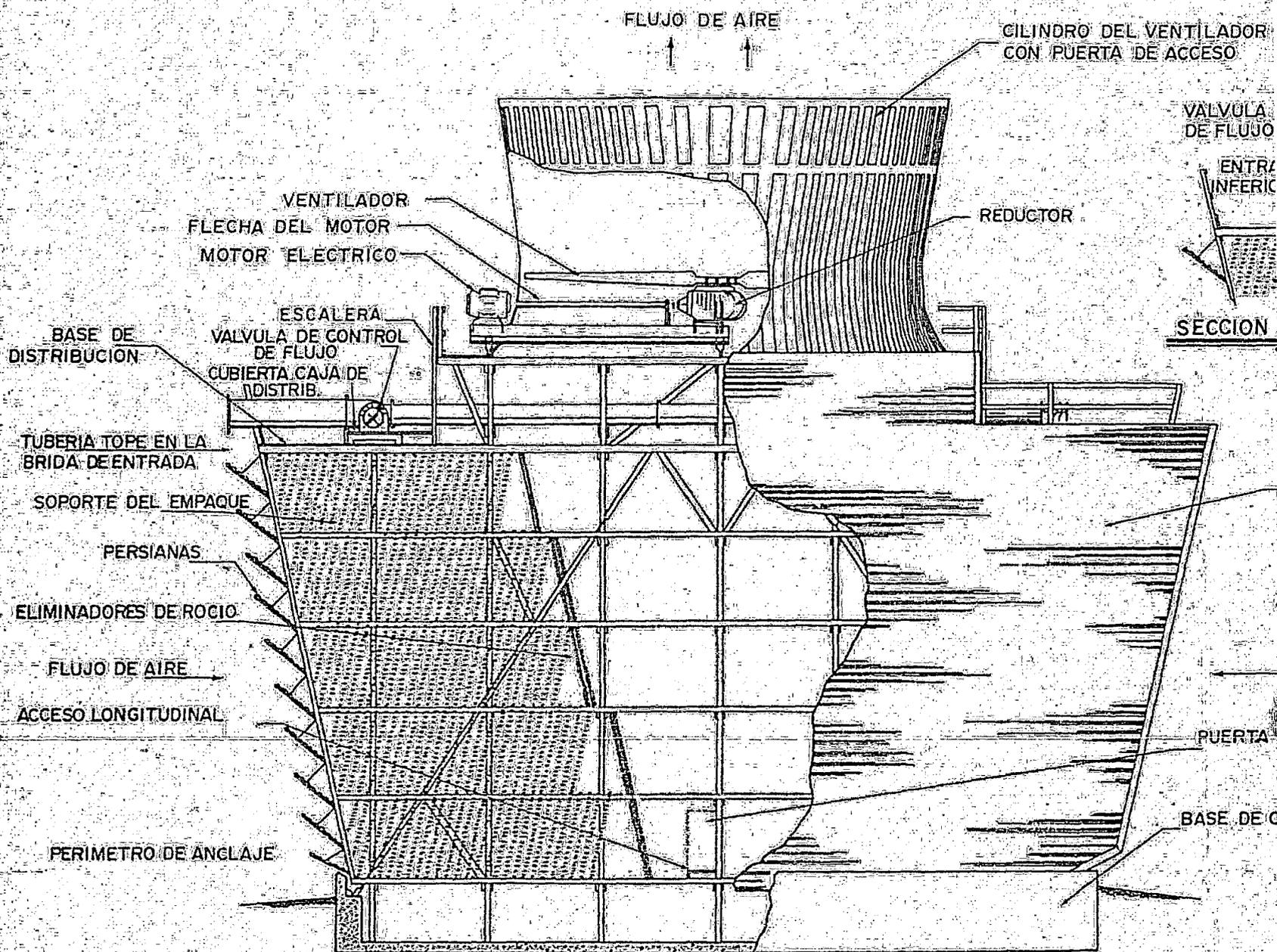
En el capítulo siguiente se da una idea general de las partes, accesorios y función de una torre de enfriamiento. Después exponemos todas las especificaciones requeridas para el diseño de la torre de acuerdo a nuestras necesidades, y también un análisis técnico-económico que se lleva a cabo con las técnicas a seguir en la práctica profesional para elegir la torre de enfriamiento más adecuada. Finalmente llegamos a las conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio.

C A P I T U L O D O S

2.1. GENERALIDADES.

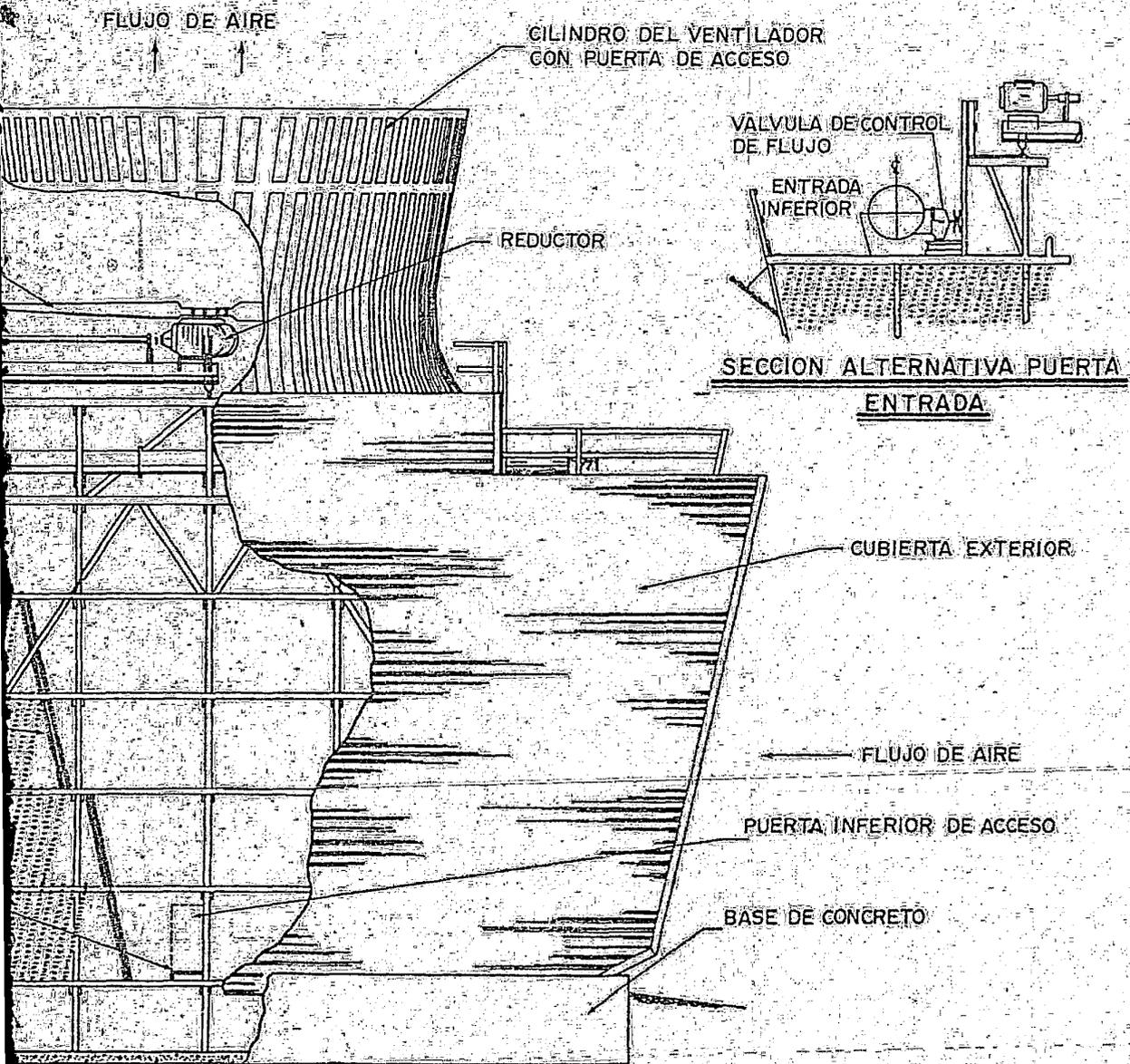
A medida que han aparecido refinamientos en los procesos, la industria ha ido necesitando controles cada vez más precisos de sus equipos productores, lo que ha conducido a demandas más exigentes en relación con las torres de enfriamiento. En consecuencia, se ha hecho necesario en la industria de la fabricación de torres de enfriamiento, producir una que suministre agua más fría y más económicamente, algunos procesos son lentos como el enfriamiento de agua de la superficie de un estanque y rápidos como cuando se rocía agua al aire.

Actualmente una torre de enfriamiento es una estructura cerrada, construida en concreto formando estructuras de puentes múltiples parecidos a huacales (Fig. 1). Sin embargo de vez en cuando se emplean estructuras de aluminio, de ladrillo, madera y de asbesto cemento, en cuyo interior se efectúa una mezcla de agua y aire resultando un acelerado efecto de enfriamiento por el proceso de evaporación. El agua suele introducirse por la parte superior mediante una lluvia provocada, bajando a través de los numerosos puentes y deflectores hasta la parte baja de la torre que está montada sobre una alberca o recipiente. Se evita la corrosión utilizando materiales inertes como la madera principalmente e inclusive el acero inoxidable o la porcelana.



SECCION TRANSVERSAL

FIG. 1



Básicamente el enfriamiento de agua es acompañado por el contacto directo de agua y aire. Este enfriamiento es debido principalmente a un cambio de calor latente (calor de vaporización) resultado de una pequeña evaporación de agua y en parte por una transferencia de calor sensible (calor que causa un cambio de temperatura) debido a la diferencia de las temperaturas del agua y el aire.

En la actualidad existen dos tipos de torres de enfriamiento que son de uso general: La de tiro atmosférico y la de tiro mecánico. Estos dos tipos han substituido los estanques de rociado y las torres de chimenea de tiro natural que son de los equipos más antiguos para enfriamiento de agua. Los inconvenientes de los tanques de rociado son los limitados resultados que proporciona y los daños originados por la pérdida de agua tan grande en ciertas estaciones del año. Los inconvenientes de las torres de tiro natural son su elevado costo inicial y la seria reducción de sus resultados durante las épocas calurosas. Las torres atmosféricas y las de tiro mecánico pueden enfriar el agua hasta temperaturas mínimas y su selección se fundamentará en aspectos económicos, las condiciones atmosféricas que prevalezcan, la aproximación que se desee a la temperatura de bulbo húmedo y el espacio disponible.

2.2. Condiciones Generales de Diseño.

Las torres de enfriamiento se clasifican de acuerdo a los medios de suministro de aire de la siguiente manera:

2.2.1. Torres de tiro mecánico.

2.2.2. Torres de circulación natural.

2.2.1. Torres de tiro mecánico.

Estas se pueden dividir en dos tipos: una, cuando la succión del aire es a través de la torre mediante un ventilador situado en la parte superior de ésta se le llama de tiro inducido. Si el aire es succionado por un ventilador en el fondo de la torre y se descarga por la parte superior, será de tiro forzado.*

Torres de tiro inducido. En este tipo de torres el aire puede entrar a lo largo de una o más paredes, y por lo tanto la altura requerida es pequeña. El aire se descarga a través del ventilador a alta velocidad de manera que se evita la recirculación.

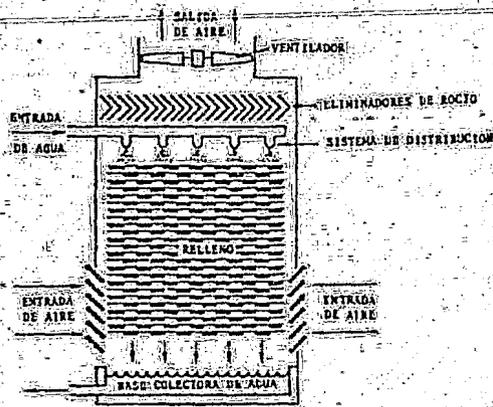
La alta velocidad de descarga de las torres de tiro inducido causa caídas de presión que aumentan los requerimientos totales de energía. También provoca pérdidas de agua por gotas que son arrastradas por la corriente de aire.

Torres de tiro forzado. La distribución del aire en estas torres es relativamente pobre, puesto que el aire entra a través de una abertura circular mediante un ventilador y debido a esto provoca una vuelta de 90° a gran velocidad.

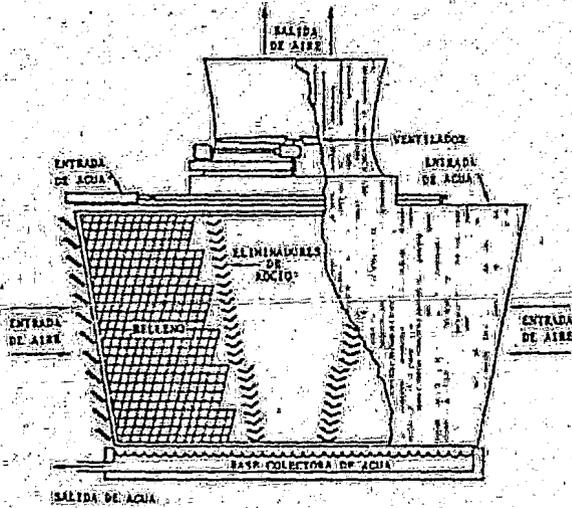
En la torre de tiro forzado el aire sale a baja velocidad por la parte superior. En estas condiciones el aire posee una cabeza de velocidad pequeña y tiende a asentarse en la trayectoria de entrada del ventilador, por lo tanto la succión de aire fresco se contamina con éste y sucede lo que se llama recirculación, la cual reduce la capacidad de trabajo de las torres de enfriamiento.

En cuanto a funcionamiento y características estructurales los dos tipos de torres de tipo mecánico son iguales.

La humedad arrastrada se elimina del aire de escape



FLUJO A CONTRACORRIENTE



FLUJO CRUZADO

FIG. 2 TORRES DE TIRO INDUCIDO

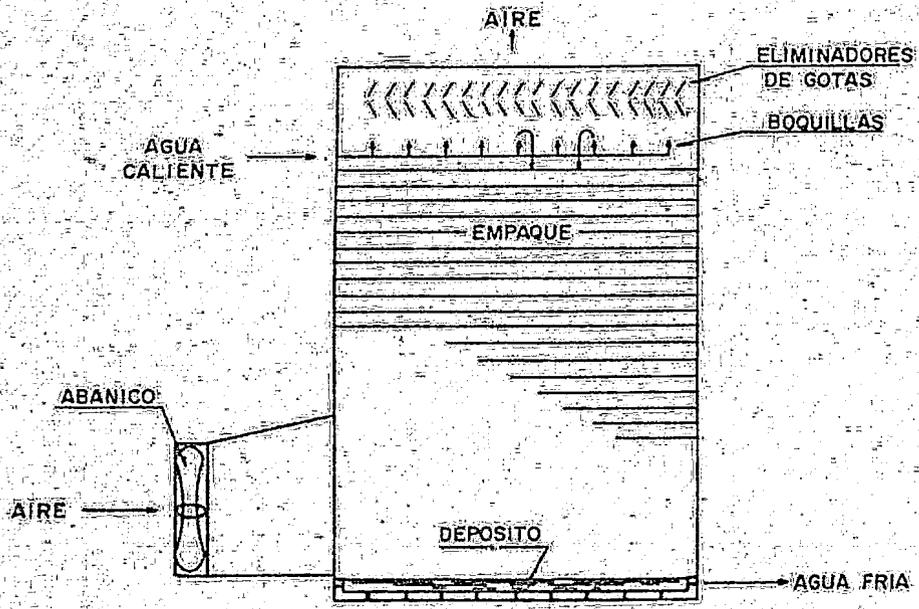


FIG. 3 TORRE DE TIRO FORZADO.

por un eliminador colocado exactamente encima de la cámara de rociado bajo el ventilador. El agua es bombeada por un distribuidor principal situado en la parte superior de la torre que la reparte a las diversas boquillas o toberas. El agua es rociada desde arriba de manera semejante a los estanques de rociado y se mezcla íntimamente con el aire de escape antes de que caiga a los estantes de abajo. La caída del agua es interrumpida por las rejillas del tipo de listones a medida que circula a contracorriente el aire. En la circulación a contracorriente, el agua más fría está en contacto con el aire más seco y la más caliente con el más húmedo, se obtiene así los mejores resultados de funcionamiento, puesto que la temperatura de toda el agua fría se aproxima a las de bulbo húmedo del aire que entra. Esto no sucede en las antiguas torres de los tipos de corrientes cruzadas y paralelas (o del mismo sentido).

Los resultados del funcionamiento de un determinado tipo de torre de enfriamiento los rige la relación de los pesos del aire y el agua y el tiempo de contacto de estos elementos.

2.2.2. Torres de circulación natural.

Pueden ser de dos tipos, atmosféricas y de tiro natural.

Torres atmosféricas. En éste tipo de torres la corriente penetra a través de los rompevientos en una sola dirección por todo lo ancho de la torre, por lo cual se hacen muy angostas en relación a otros tipos y muy largas para una capacidad igual, por lo tanto las pérdidas por arrastre son mayores que en otros tipos de torres. En las torres atmosféricas se usan potenciales muy ineficientes ya que operan en flujo cruzado, y

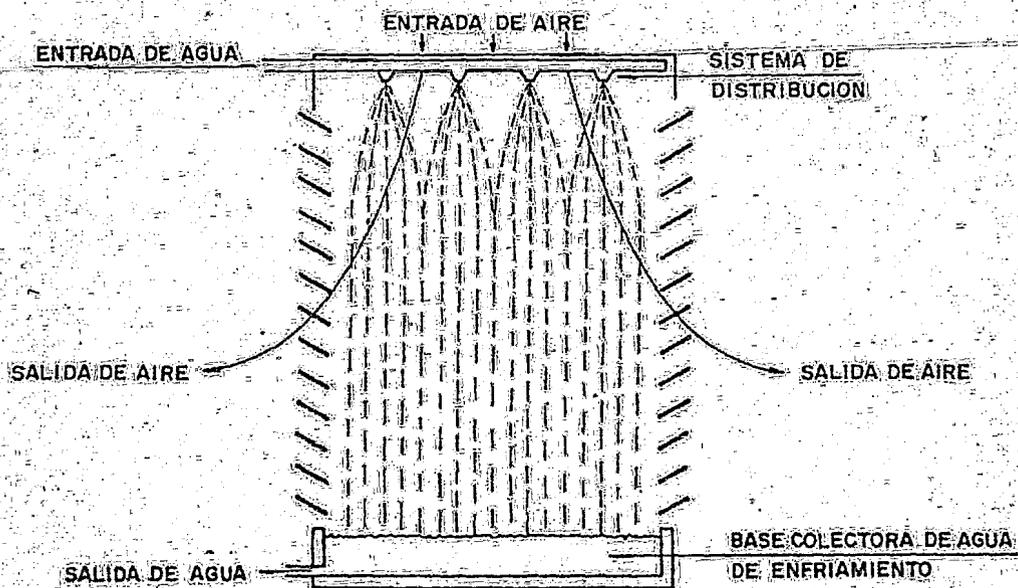
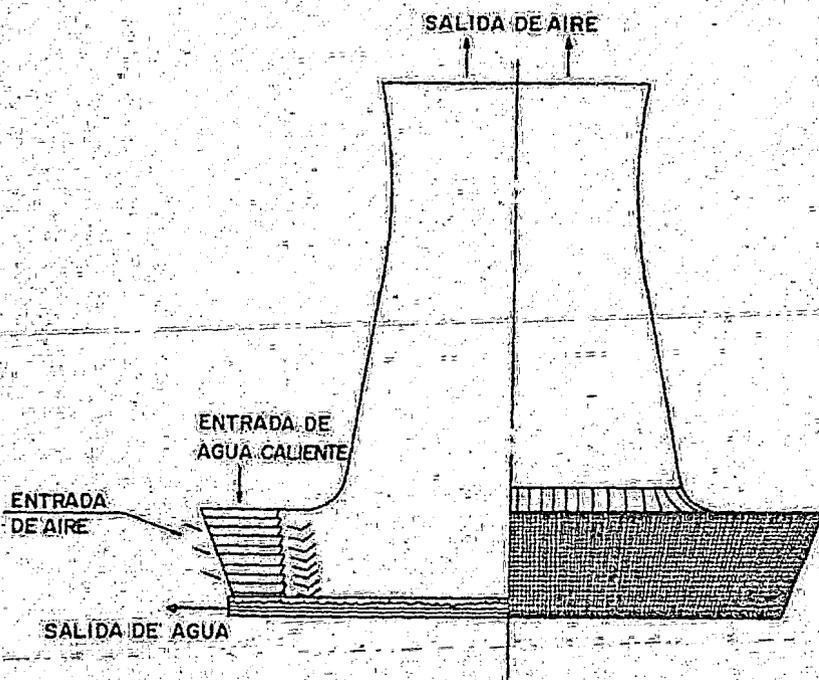


FIG. 4 TORRE ATMOSFERICA.

FIG. 5 TORRE DE TIRO NATURAL.
TORRES DE CIRCULACION NATURAL.

éste tipo es incapaz de producir agua a una temperatura cercana al bulbo húmedo. Este tipo de torre tiene un costo inicial muy alto debido a su tamaño, sin embargo, elimina el costo de operación de las torres de tipo mecánico.

En las torres atmosféricas debe tomarse muy en cuenta las características del viento.

Torres de tiro natural. este tipo de torre se comporta de la misma forma que una chimenea de horno, y la consideración principal son las características de temperatura del aire.

El aire que penetra en la torre aumenta su temperatura debido a el agua caliente con que entra en contacto y por lo tanto baja su densidad. La diferencia entre la densidad del aire en la torre y la del exterior, origina en la parte inferior, un flujo de aire frío y en la parte superior una expulsión de aire caliente menos denso.

Las torres de tiro natural consumen más fuerza de bombeo y eliminan el costo de la potencia del abanico. Estas torres deben de ser altas y tener una sección lateral grande debido a la baja velocidad con que el aire circula.

El diseño y comportamiento de la torre estará basado en las condiciones del lugar incluyendo previsiones por recirculación e interferencia que son responsabilidad absoluta del vendedor.

Las torres pueden tener o no tener celdas de determinada capacidad cada una separadas por paredes intermedias, las celdas deben operar en forma independiente entre si, debiendo cada una poder ser puesta fuera de operación sin afectar el funcionamiento de los demás, de una celda a otra no debe haber flujo de vapor o de aire.

-El diseño y construcción de la torre será adecuado para soportar con seguridad la velocidad de viento horizontal, actuando en cualquier dirección de la superficie expuesta, sin que cause fugas, movimientos o sobre-esfuerzos en los componentes de la torre.

-La torre se podrá montar sobre un depósito de agua llamado base, el cual su función primordial es coleccionar el agua fría al momento de caer de la torre. También colecta materias extrañas arrastradas por el aire, en el caso de concreto la base actúa como cimiento de la torre.

La localización de la torre tiene un soporte considerable sobre la base tipo. La mayoría de las instalaciones a tierra son de concreto mientras que los techos son instalaciones de acero o madera. En la industria la mayoría de las bases de la torre son de concreto sin excepción, no importando el tamaño de la torre. Hay varias características de diseño que deben ser consideradas. Algunas de éstas son la capacidad de la base, la limpieza, drenaje, las provisiones de sobreflujo, el carcamo y rejilla y los detalles de anclaje de la torre, estas son acondicionadas de acuerdo al estándar, la mayoría de las torres empacadas y generalmente erigidas en campo son equipadas ya sea con bases de madera o de acero.

Difieren en diseño y calidad dependiendo del fabricante.

Los diferentes tipos de bases que encontramos son las siguientes:

- Bases de concreto.
- Bases de madera.
- Bases de acero.
- Bases de emparrillada.
- Bases profundas.

2.3. Construcción.

La estructura de una torre de enfriamiento puede ser construida de madera, metal, concreto, plástico y asbesto cemento. Este diseño varía de acuerdo al fabricante, pero la estructura debe ser diseñada para resistir un viento específico o terremoto, cargas muertas, cargas tales como el peso de la torre, la circulación de agua y cargas del equipo mecánico operando.

2.3.1. Material de madera.

La madera es utilizada como un material estructural para la mayor parte de las torres de ensamble en el campo, debido a su disponibilidad, manejabilidad, costo bajo relativo y durabilidad bajo las muy severas condiciones de operación predominantes en las torres de enfriamiento.

La madera roja de California la cual cumple con la mayor parte de estas condiciones ha sido la especie más popular o común. Sus preservativos naturales tienden a hacerla muy durable y resistente para humedades continuas, alternativas y medio ambiente seco. En algunos casos estos preservativos naturales protegen la madera por muchos años.

Un acelerado desgaste de los preservativos puede ocurrir debido a las condiciones del agua.

Algunas especies de madera tanto locales como de importación pueden ser usadas en las estructuras de las torres, a estas se les dará tratamiento a presión, suficiente para darles protección y cumplir con las necesidades físicas de la instalación. La madera de pino tratada es también extensamente usada en la construcción de torres de enfriamiento.

Parte de la estructura de la torre es armada en fábrica y todo el ensamble se lleva a cabo en campo,

usando primordialmente un ventilador cubierto, depósitos de agua caliente, fría y ventiladores cilíndricos.

La cantidad de material ferroso usado en las juntas estructurales deberán ser restringidas no solo por la corrosión del metal sino por su efecto de aceleración de podricación de la madera. El uso de barras conectoras de fibra de vidrio, conectores mecánicos y anillos conectores de porcelana, como aseguradores estructurales para transmitir la carga de la junta, elimina la corrosión y los problemas de podricación que pueden ocurrir con materiales ferrosos.

2.3.2. Metal.

El acero es utilizado como un material estructural en el campo de ensamblado de torres donde existen o hay requerimientos de un material no combustible.

La mayoría de las torres empacadas son hechas de acero porque es el material más económico para usarse. En casos especiales se usa acero galvanizado en este tipo de torres.

Debido a las condiciones corrosivas que operan en la torre de enfriamiento el acero debe ser protegido. Hay muchas cubiertas que pueden ser utilizadas, el galvanizado es uno de los más durables y es el recubrimiento que normalmente es proporcionado por los fabricantes.

Otros metales usados ocasionalmente para la estructura de la torre y el relleno, son el aluminio y el acero inoxidable, el desarrollo de las aleaciones corrosivas está incrementando la demanda de este material. El extenso uso de acero inoxidable sólo puede ser justificado en casos especiales.

2.3.3. Concreto.

Las estructuras de concreto proveen una vida de ser

vicio larga y libre de problemas.

Tienen gran resistencia al fuego ya que elimina la necesidad de instalar sistemas de regaderas que son -- bastante caras y asegura dividendos por su menor cos-- to.

Debido a que el concreto es mucho muy resistente al ataque de agentes químicos, biológicos y atmosféricos, el costo de mantenimiento de la torre se reduce significativamente.

Los nuevos diseños utilizan concreto precolado y -- prefabricado, elimina el uso de madera en la construcción, en la estructura y partes interiores de la torre. Es más duradero que cualquier otro material usado frecuentemente, y proporciona un basamento más estable -- que absorbe mejor las vibraciones del equipo mecánico-- interno.

Esto proporciona a este equipo gran durabilidad y -- larga vida de operación abatiendo los tiempos muertos-- y disminuyendo los costos. El diseño y textura, en los acabados exteriores es virtualmente ilimitado.

2.3.4. Plástico.

Plástico de composición adecuada es también un excelente material para los componentes de la torre de enfriamiento, a esto se le suman las características -- inherentes de resistencia a ataques microbiológicos, a la corrosión, erosión, compatibilidad con otros mate-- riales y su resistencia en relación con el peso.

La causa del uso extensivo de plásticos ha sido su costo. En algunos casos los mejores materiales plásticos provistos para uso en torres de enfriamiento son -- más caros que los materiales convencionales.

Los plásticos son divididos en dos categorías básicas: Resinas termoplásticas y Plástico endurecido por calor.

Las resinas termoplásticas son aquellas que repetidamente se ablandan cuando se calientan y se endurecen cuando se enfrían. Las resinas de plástico por fraguado térmico son aquellas que bajo una reacción química por la acción del calor o un catalizador llegan a un estado sólido, y la mayoría no pueden ser reformados. Generalmente las resinas termoplásticas se usan en los componentes no estructurales y las resinas de fraguado térmico reforzadas con fibra de vidrio se usan en los componentes estructurales o en partes donde se requiera alta resistencia.

El plástico es parte de un gran grupo de materiales los cuales básicamente se llaman resinas, comparativamente los plásticos son materiales nuevos y su número está en crecimiento. Una considerable experiencia técnica, alcances, desarrollo y el conocimiento de la ingeniería se requiere para seleccionar un material adecuado, para diseñar las partes y preparar las herramientas para este propósito. Una vez que todo esto se ha complementado, el resultado es un componente o producto de alta calidad que proveerá una larga vida de servicio bajo las más severas condiciones de operación.

2.3.5. Bloques de asbesto y cemento.

Los bloques de asbesto cemento es frecuentemente usado para cubiertas de torres y ocasionalmente para el relleno de la torre.

2.4. Problemas microbiológicos que ocasionan depósitos y corrosión en los diferentes materiales para torres de enfriamiento.

2.4.1. Depósitos.

Entre los depósitos nos podemos encontrar dos cla--

ses de ellos. Los depósitos duros en forma de cristallamados también incrustaciones y los depósitos blandos formados por los dos o tuberculaciones también llamados no incrustantes.

Las incrustaciones se deben principalmente a la precipitación de carbonato de calcio. Estas precipitaciones se deben a la descomposición de los carbonatos presentes en el agua de repuesto. La solubilidad del carbonato disminuye al bajar la temperatura y esto es importante en un sistema de enfriamiento cuando el agua se pone en contacto con las superficies calientes de los cambiadores de calor.

Además del carbonato de calcio en un sistema tratado, diferentes compuestos pueden ocasionar incrustaciones, tales como sulfato de calcio, fosfato de calcio y sílice.

Por lo que se refiere a los depósitos no incrustantes, los sólidos suspendidos del agua de repuesto, los agregados en el lavado del aire al pasar por la torre, arrastre de sólidos de algún pretratamiento, productos de corrosión, etc., se asentarán de la corriente de agua de enfriamiento recirculante en la superficie de intercambio calorífico. Esto además de reducir la eficiencia de transferencia de calor, también ocasiona problemas de corrosión debido a celdas de oxígeno diferencial establecidas por el mismo depósito.

Las materias no incrustantes ya sean naturales o artificiales se asentarán con mayor o menor rapidez en las superficies del sistema, dependiendo de algunas características físicas del mismo y algunas de ellas son las siguientes:

-Velocidad. A bajas velocidades de flujo (1 pie/seg. o menos) se ocasionan depósitos debido al asentamiento natural de los materiales suspendidos. A mayor-

velocidad de flujo (3 pies/seg. o más) los depósitos no incrustantes pueden ocurrir pero en menor grado, debido al arrastre que tienen los materiales suspendidos.

-Variaciones en el clima pueden incrementar o disminuir la concentración de depósitos no incrustantes en el repuesto y sistema de agua.

-Variaciones en las características del agua debido a causas externas tales como efluentes de otras plantas industriales, limpiezas químicas y separaciones mecánicas.

-El aire es lavado constantemente, introduciendo un gran potencial de depósitos no incrustantes.

2.4.2. Corrosión.

La corrosión se puede definir de muchas maneras:

-Destrucción de un material debido a una reacción química.

-Destrucción de materiales por medio de otros.

-Se puede definir mejor como ataque destructivo por reacciones químicas o electroquímicas con su medio.

Las diferentes formas de corrosión son las siguientes:

-Ataque uniforme o general.

-Galvanía o corrosión de dos metales.

-Corrosión en huecos.

-Picado.

-Corrosión intergranular.

-Corrosión selectiva.

-Corrosión erosión.

-Corrosión por esfuerzos.

2.4.3. Selección de tratamiento.

Un efectivo control de tratamientos químicos en los sistemas de enfriamiento, requiere fundamentalmente de

los siguientes puntos:

- Inhibidor de corrosión e incrustación.
- Concentración apropiada de biocidas.
- Dispersión de depósitos.
- Tiempo suficiente de contacto biocidas organismo.

2.5. Sistema de distribución de agua por gravedad y presión.

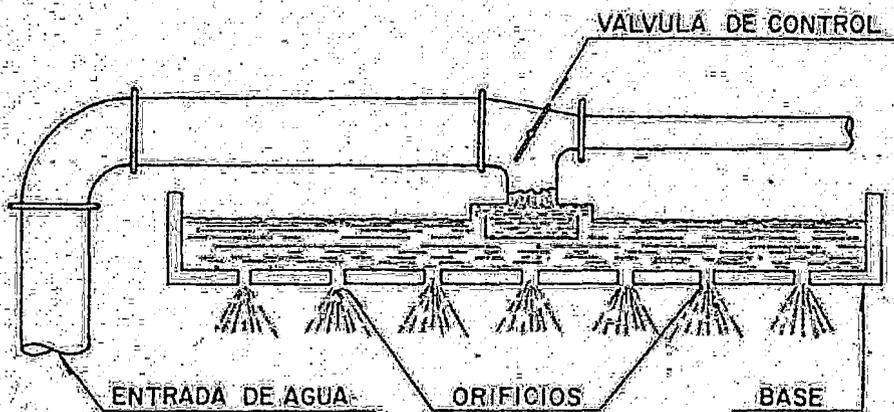


FIG. 6

Base de distribución por gravedad.- Se localiza en la parte superior de la torre que se encuentra abierta. El agua cae por gravedad a través de los orificios de porcelana o plástico al empaque de la torre.

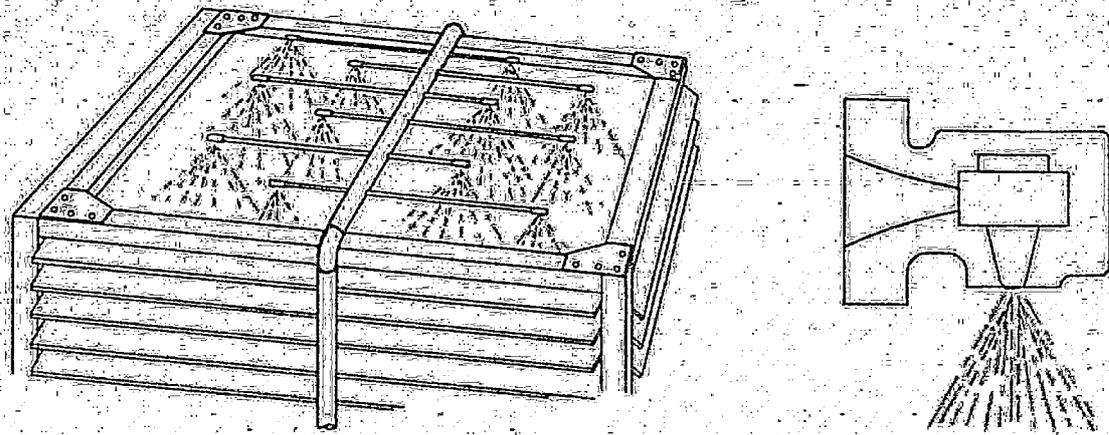


FIG. 7

Toberas de rociado.- Estas toberas son de tipo cámara de remolino, formando agua en gran capacidad, ya que el rociado cónico llena completamente la atmósfera de la torre de enfriamiento.

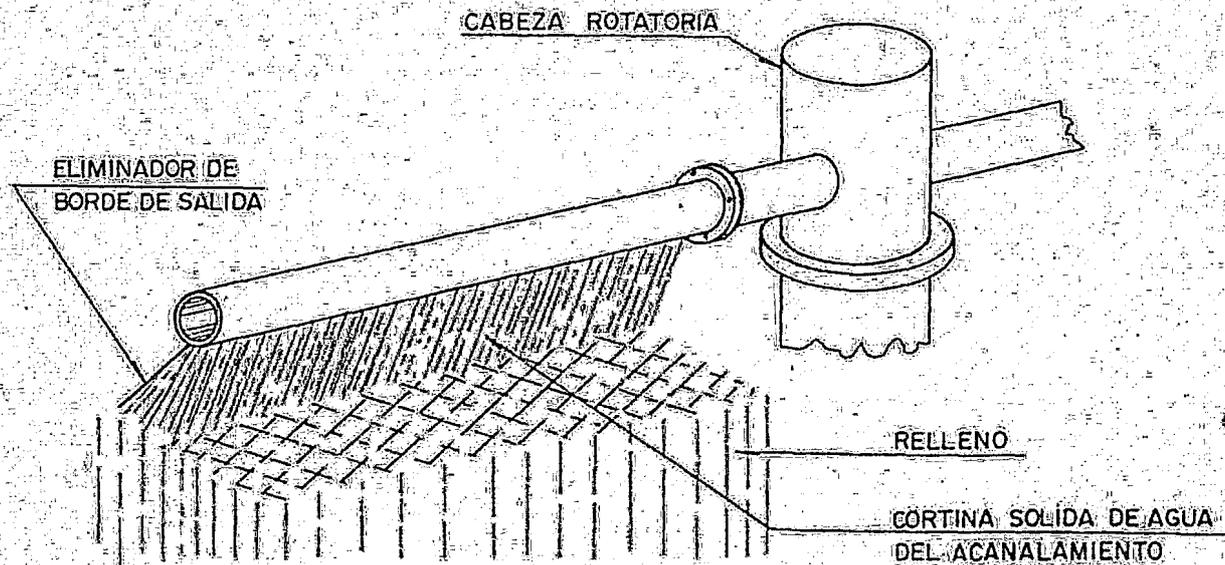


FIG. 8 .

Brazos distribuidores rotatorios.- Son movidos por la ---
reacción de la cortina de agua que pasa a través de los cana
les solamente 4" arriba del empaque.

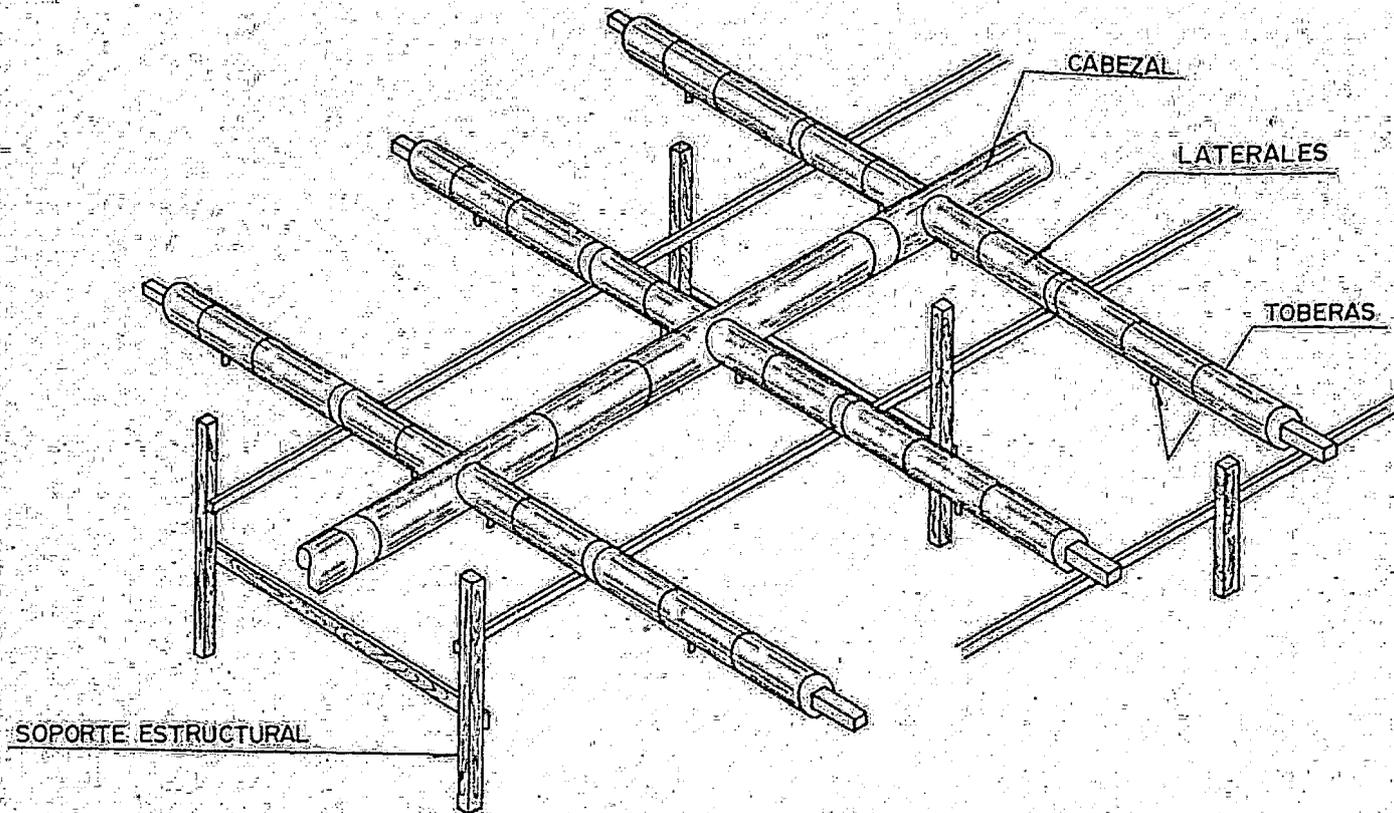


FIG. 9

Sistema de baja presión.- En éste sistema con rociado hacia abajo se usa tubería de madera roja. Las toberas de rociado de los platos de borboteo se diseñan para roscarse en la parte inferior de la tubería.

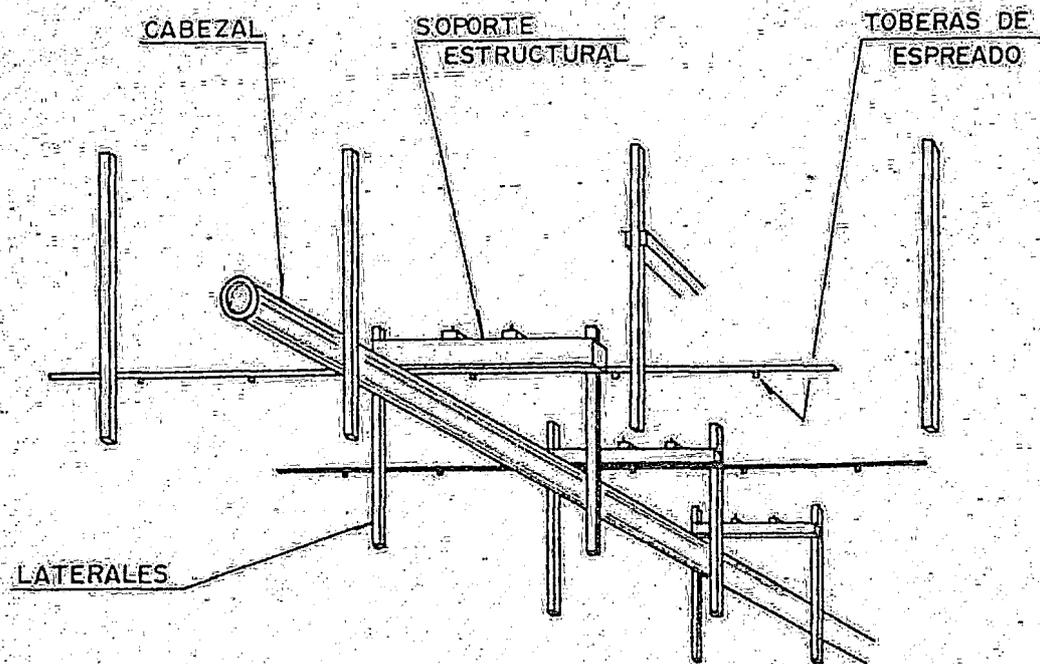


FIG. 10

Sistema de tipo esparcido o rociado.- Tiene un cabezal principal que lleva el agua de la entrada a una serie de tubos laterales para la distribución continua sobre el empaque.

2.6. Empaque de las torres de enfriamiento.

La eficiente fabricación de cualquier torre de enfriamiento se reflejará en un prolongado contacto de agua y aire. Esto se logra por el uso del empaque el cual ocupa una gran parte del volumen de la torre. El diseño del relleno varía entre los diferentes fabricantes, de cualquier manera su objetivo es el mismo, proveer una instalación eficiente y económica.

La función del empaque en las torres de enfriamiento es acelerar la disipación del calor hacia afuera de la torre de enfriamiento. Esto se logra incrementando el tiempo de contacto entre el agua y el aire, incrementando la superficie húmeda y exponiendo continuamente la superficie del agua a el aire y promoviendo la formación y caída de una capa a todo lo largo de la torre.

El empaque de la torre debe ser de bajo costo y fácil instalación. Debe promover un alto índice de transferencia de calor, oponer baja resistencia al flujo de aire y mantener uniforme la distribución del agua y el aire a través de la vida de la torre. El empaque debe ser altamente resistente a la deterioración.

El empaque de las torres de enfriamiento se clasifican en dos grupos:

2.6.1. Empaque de tipo esreado.

2.6.2. Empaque de tipo película.

2.6.1. Empaque de tipo esreado.

Separa el flujo de agua en pequeñas gotas con poca resistencia de aire.

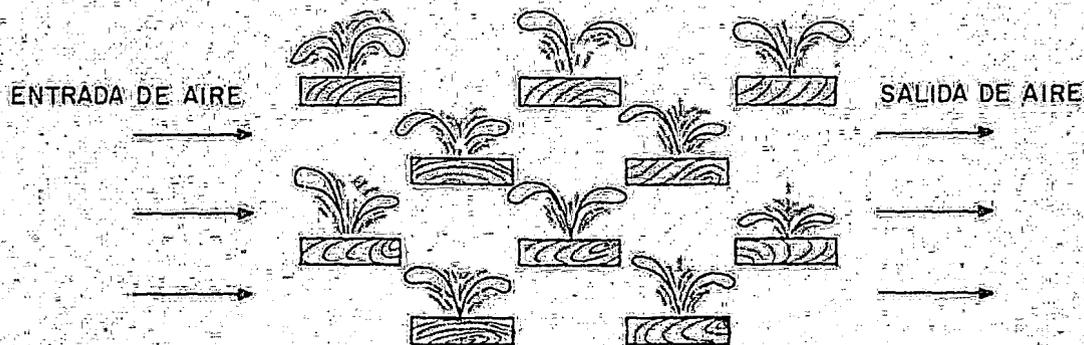


FIG. 11

Las barras angostas para las torres de flujo transversal ofrecen una resistencia mínima al flujo de aire. La plataforma con espacios cerrados reduce la altura de la torre.

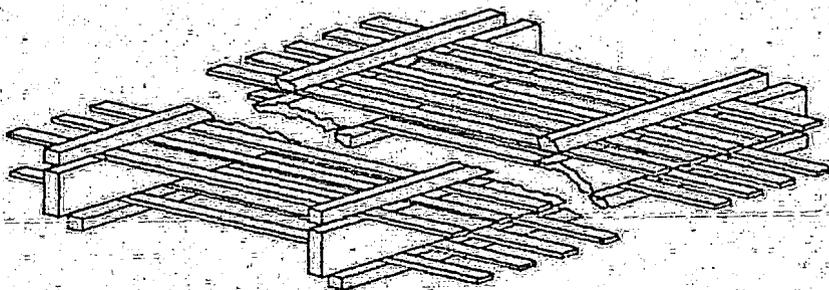


FIG. 12

Las barras cuadradas alternadas de dos en dos con perfil de diamante, presenta la máxima superficie mojada a el aire. La corriente de aire fluye hacia la parte superior.

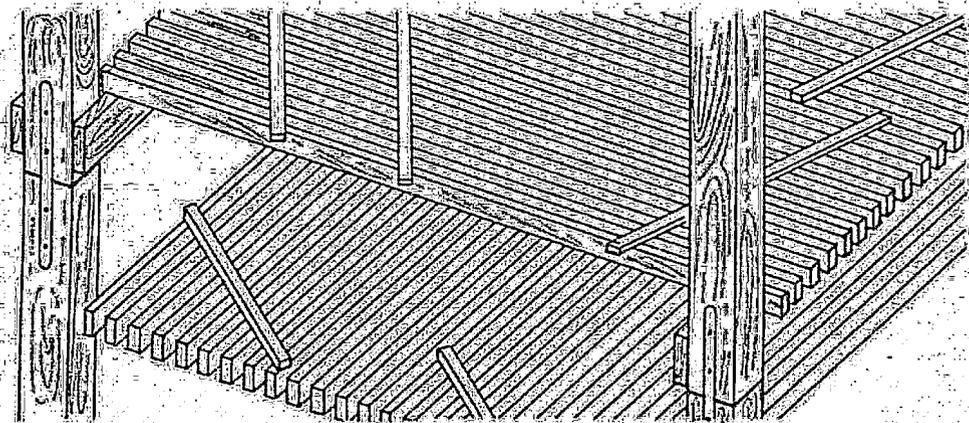


FIG. 13

Las barras de superficie rugosa se hacen dentro de la cubierta anguladas a 90° arriba y abajo de la cubierta. Su gran superficie divide hacia arriba el agua.

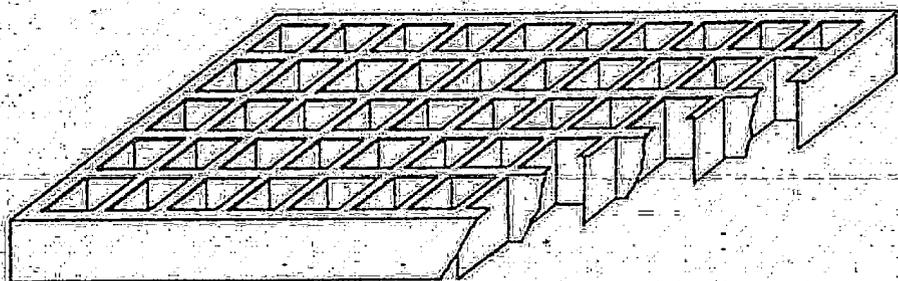


FIG. 14

Las rejillas plásticas de alto impacto se moldean por inyección formando en las cubiertas de empaque desprendido o conducto vertical una película o lámina delgada de empaque.

2.6.2. Empaque tipo película.

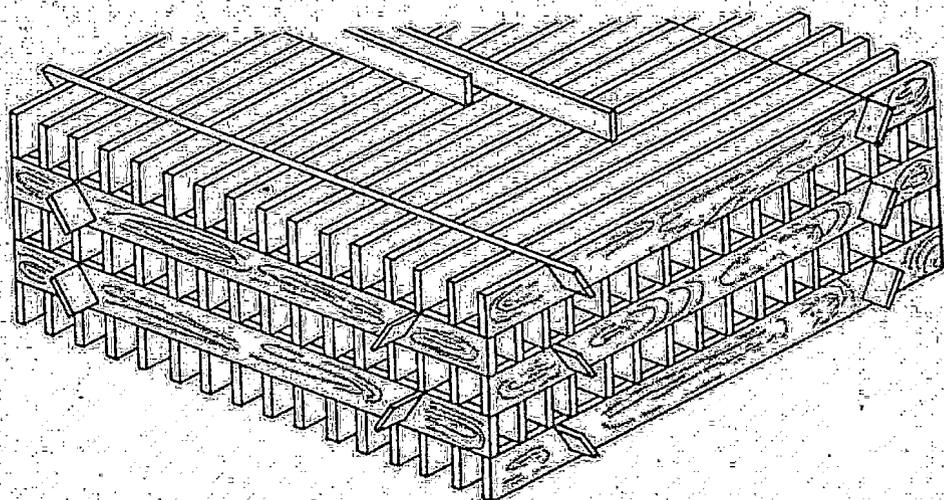


FIG. 15

Los travesaños de madera roja en hileras, de ángulo recto, presentan espacios estrechos, que conducen el aire hacia la parte superior, exponiendo a lo ancho la película cubierta a los lados de la superficie.

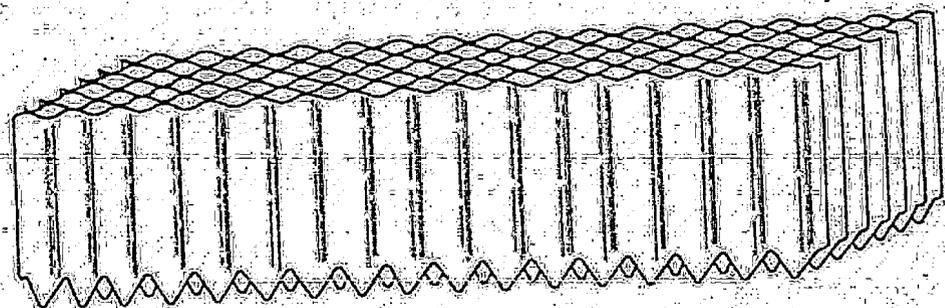


FIG. 16

La lámina de celulosa es de plástico endurecido y esta corrugada en el fondo para un mojado uniforme.

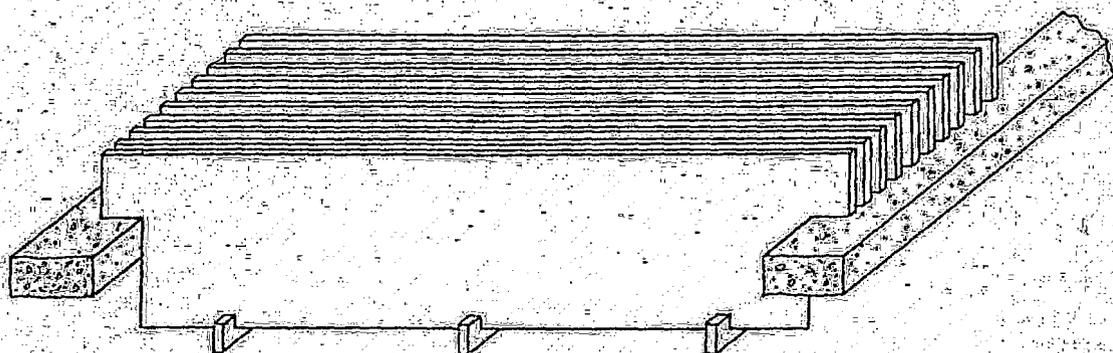


FIG. 17

Las láminas de asbesto cemento de 5 mm de espesor, -
 presentan una superficie rugosa absorbente. Esta super-
 ficie está separada 19 mm una de la otra.

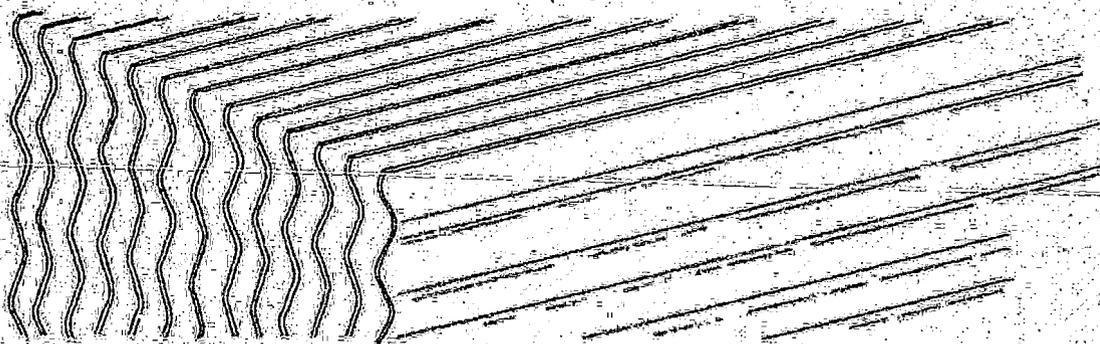


FIG. 18

Las láminas en forma de ondas de metal o plásticas -
 mantienen un espacio relativo de agua en cada hueco, -
 para que los sólidos, se desalojen con facilidad.

2.7. Eliminadores de rocío.

El principal propósito de los eliminadores de rocío es eliminar el arrastre de agua de el aire descargado.

Básicamente todos los eliminadores funcionan forzando el aire descargado para hacer cambios rápidos en dirección, el efecto resultante de la fuerza centrífuga separa las gotas de agua del aire depositando las en la superficie del eliminador.

La resistencia del flujo de aire a través de los eliminadores produce un efecto de presión uniforme en el espacio entre el eliminador y el ventilador.

Los eliminadores son normalmente clasificados en pasos simples, dos pasos o tres pasos dependiendo del número de cambios involucrados en la dirección del flujo de aire. Generalmente entre mayor número de pasos más grandes son las caídas de presión. La fabricación de la mayoría de los eliminadores consiste en superposición de tablillas (Fig. 19) para proporcionar la configuración deseada.

El diseño de los eliminadores varía con los diferentes tipos de requerimientos y proveedores de torres.

Los eliminadores también deben tener la habilidad de coleccionar el agua y retornarla fuera de la base de la torre introduciéndola en la descarga de flujo de aire. Los eliminadores están expuestos a atmósferas corrosivas o erosivas y deben ser capaces de soportar esas condiciones.

Los materiales convenientes para estos propósitos comprenden el tratado de la madera, acero galvanizado, acero inoxidable, plástico y asbestos.

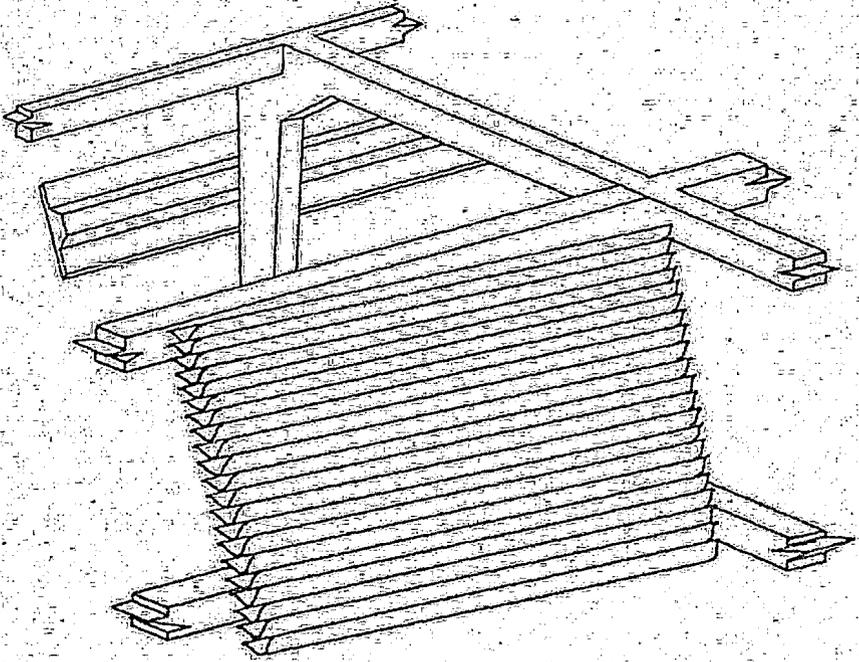


FIG. 19 ELIMINADORES DE ROCIO.

2.8. Motores en general.

Existen dos tipos básicos de motores eléctricos: --
Abiertos o totalmente cerrados. Ambos están disponi---
bles en cualquiera de los HP estándar. Los motores ---
abiertos se clasifican a prueba de goteo, a prueba de
salpicaduras, encapsulados y protegidos. Los motores -
totalmente cerrados se clasifican en: con ventilación,
sin ventilación y a prueba de explosión.

Los motores a prueba de goteo se definen por el ---
NEMA y son comúnmente usados para torres de enfriamien
to, instalándose generalmente fuera de la estructura -
de la torre. Los protegidos y a prueba de salpicadura-
a su vez son ampliamente usados cuando se pueden insta
lar lejos de la humedad del ambiente.

Los motores a prueba de explosión son instalados en
ocasiones en torres de enfriamiento localizadas en lu-
gares con atmósferas peligrosas. El más comúnmente usa
do es el clase 1 grupo D. El grupo D es para atmósfe--
ras que contienen gasolina, nafta, propano, alcohol, -
gas natural y otras sustancias flamables.

2.8.1. Motores de diseño especial para torres de en--- friamiento.

El desarrollo de los motores de las torres de en---
friamiento incluyen rigurosos diseños, para humedades-
altas, lluvia, nieve, polvo, gases y variaciones de --
temperatura considerables. Ya que estos motores esta--
rán continuamente en operación por largos periodos de
tiempo, su mantenimiento generalmente no es adecuado, -
y algunas veces es mejor usar un motor de tipo están--
dar.

2.8.2. Carcazas.

Los tipos de carcazas más comúnmente usados en las-
torres de enfriamiento se describen como sigue, de ---

acuerdo a la asociación nacional de fabricantes eléctricos:

-NEMA tipo I.- Para propósitos generales dentro de las instalaciones y bajo condiciones atmosféricas normales. A su vez también está protegido contra el polvo y de salpicaduras indirectas.

-NEMA tipo III.- A prueba de intemperie. Una carcaza a prueba de agua proporciona una protección adecuada en lugares donde llueve en abundancia.

-NEMA tipo IV.- A prueba de agua. La carcaza a prueba de agua está diseñada para no permitir el paso de la misma. Esta carcaza es adecuada para usarse fuera de las instalaciones de las torres de enfriamiento, es usualmente empacada y el material usado es acero inoxidable 304.

-NEMA tipo V.- A prueba de polvo. Las carcazas a prueba de polvo están provistas de empaques o equivalentes.

-NEMA tipo VII.- Para áreas peligrosas. La carcaza de clase I esta diseñada para gases o vapores inflamables. Grupos A, B, C o D tipo de gas o líquido para áreas peligrosas, éste es usado satisfactoriamente en instalaciones dentro o fuera de las torres de enfriamiento.

-NEMA tipo IX.- Areas peligrosas. La carcaza de clase II está diseñada para polvos combustibles, grupos E, F o G según el tipo de polvo.

-NEMA tipo XI.- Resistente a los ácidos y sus vapores. Sumergidos en aceite. Esta carcaza envuelve el aparato de control de tal manera que permite su inmersión en aceite para aplicaciones donde el equipo está sujeto a ácido u otros vapores corrosivos.

-NEMA tipo XII.- Uso industrial. Esta carcaza se

usa para aplicaciones industriales, para prevenir la entrada de materias extrañas como polvo, fibras e insectos, filtración de aceite, etc.

2.8.3. Aislamiento.

Para el caso de las torres de enfriamiento los factores esenciales para escoger el tipo de aislamiento son las temperaturas ambientales y la temperatura que el motor alcance en operación.

El aislamiento más comúnmente usado en la industria es el clase B y es estándar para los motores diseñados para altas temperaturas. Los factores de servicio por lo tanto no se verán alterados.

2.9. Componentes mecánicos.

2.9.1. Ventiladores de torres de enfriamiento.

Existen dos tipos de ventiladores para torres de enfriamiento, axial y radial. Los ventiladores de tipo axial tienen la capacidad de manejar grandes volúmenes de aire con cabezas estáticas bajas, y son usados exclusivamente en torres de instalaciones no cubiertas. Los ventiladores de tipo radial operan efectivamente con cabezas estáticas altas y se usan en instalaciones cubiertas.

-Ventiladores de tipo axial. Una característica importante de los ventiladores de tipo axial es su operación ligera, y es directamente proporcional al número de hojas.

-Ventilador de tipo radial. Están disponibles en tres tipos: Ventiladores de aspas con curva hacia adelante, ventiladores con aspas radiales y ventiladores curvados hacia atrás. Las características de los curvados hacia adelante hacen de éste el tipo más apropiado para las aplicaciones de torres de enfriamiento, en --

virtud de la dirección y velocidad del aire.

2.9.2. Reductores de velocidad. Los reductores de engranes están disponibles en varios diseños. Los componentes de engranes pueden ser de varios tipos, espiral, helicoidal y tornillo sin fin, son de los más comunes, dependiendo del tamaño y la relación de la reducción requerida, un reductor de engranes puede usarse como un tipo simple o una combinación cualquiera de dos tipos.

Factores de servicio. - La vida de servicio de un reductor de engranes está directamente relacionada a la durabilidad de la superficie de los engranes. La asociación americana de fabricantes de engranes a través de la asociación de fabricantes de reductores de velocidad para torres de enfriamiento, han establecido factores de servicio para aplicarse especialmente en las instalaciones de las torres de enfriamiento. Esto varía con el tipo de primer movimiento y el tipo de operación, continuas o intermitentes.

2.9.3. Flecha. Las flechas se describen como flotantes equipadas con coples flexibles en ambos extremos. Deben ser construidas con materiales resistentes a la corrosión debido a la humedad del ambiente en el cual operan. La flecha flotante es fabricada usualmente de acero al carbón suministrado con una capa protectora, pero se prefiere el uso de fierro galvanizado. Las ondas de las flechas y las bridas de montaje las cuales conectan el motor con el reductor de engranes pueden ser proporcionadas como unidades soldadas.

Es muy importante que las flechas estén balanceadas adecuadamente. El desbalance no solamente causa vibración en la torre sino que induce a cargas altas y excesivo trabajo para el equipo mecánico acoplado a la fle

cha.

2.10. Válvulas.

Las válvulas se usan para controlar el flujo de agua a través de las líneas del sistema de distribución, de la torre de enfriamiento. Las válvulas usadas para este tipo de aplicaciones incluyen válvulas de corte, válvulas de control de flujo y válvula de control tipo flotador. El tipo de válvulas, la cantidad requerida y la complejidad de su diseño dependen del tipo y tamaño de la torre.

2.10.1. Válvulas de corte. Estas válvulas se usan en torres de flujo a contracorriente y flujo cruzado, para regular el flujo de agua prácticamente entre las celdas en torres multiceldas y para controlar el agua para mantenimiento u otros propósitos. Las válvulas de compuerta (y ocasionalmente las de tipo mariposa) son muy usuales para este propósito. Son relativamente costosas y se incluyen en el costo de la torre.

2.10.2. Válvulas de control de flujo. Estas válvulas se usan en torres de flujo cruzado para equilibrar el flujo de agua entre las celdas de la torre.

Las válvulas de control de flujo son producidas generalmente por el fabricante de la torre y son diseñadas adecuadamente, también pueden ser usadas como válvula de corte, bajo ciertas condiciones atmosféricas o climáticas.

2.10.3. Válvulas de flotador. Este tipo de válvulas se requiere en todos los sistemas de torres de enfriamiento, el propósito es el suministro de agua de repuesto, para reemplazar las pérdidas por evaporación, purgas, fugas, balance del sistema, etc. Estas válvulas son

proporcionadas como equipo estándar por muchos fabricantes de torres excepto para aquellas que se instalen sobre cárcamos de concreto.

2.11. Definición de términos.

-Aproximación.- Es la diferencia entre la temperatura del agua a la salida de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire.

-Diferencial de temperatura.- Es la diferencia de temperatura entre el agua caliente que entra a la torre y el agua fría que sale de la misma.

-Pérdidas por arrastre.- Es la cantidad de agua perdida de una torre, arrastrada en forma de gotas finas por el aire de salida.

-Recirculación.- Es la parte de aire de salida de una torre que se recircula a la entrada de aire fresco de la misma.

-Temperatura de bulbo seco.- Es la temperatura real de aire medida a las condiciones ambientales.

-Temperatura de bulbo húmedo.- Es la temperatura de equilibrio que adquiere el aire cuando se satura adiabáticamente.

-Temperatura de bulbo húmedo de diseño.- Es la temperatura de bulbo húmedo modificada a considerar la recirculación externa del aire húmedo de la torre.

-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 de éste, en el equipo.

-Purga.- Es la cantidad de agua que en forma continua o intermitente, se elimina del sistema, con la finalidad de mantener el nivel de concentración de sales presentes abajo de un valor determinado.

-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.

-Capacidad térmica.- Es el calor transmitido en la torre, calculado, en base al gasto y las temperaturas de entrada y salida del agua en el equipo.

-Hoja de datos.- Es la hoja que contiene las condiciones de operación y diseño, así como condiciones especiales que deberán considerarse para el diseño y la construcción del equipo.

Partes Estructurales:

-Columnas.- Son los miembros, de soporte vertical, principales en la estructura de la torre.

-Amarres horizontales.- Son las principales uniones horizontales de interconexión de las columnas.

-Refuerzos.- Son los miembros diagonales principales en la armazón.

-Juntas y trabes.- Son los soportes horizontales para cargas vivas y cargas muertas.

Partes no Estructurales:

Consiste en partes tales como: Piso de la plataforma del ventilador, rellenos, eliminadores de arrastre, depósitos colectores y redistribuidores de agua caliente y fría, conductos de agua, etc.

CAPITULO TRES

3.1. ESPECIFICACIONES PARA TORRES DE ENFRIAMIENTO.

Las especificaciones de una torre de enfriamiento-- deben cubrir los requerimientos mínimos para el dise-- ño, fabricación, pruebas, garantías y condiciones de -- operación de las torres de enfriamiento.

Los puntos que deberán ser incluidos en las especi-- ficaciones son: .

- Gasto o capacidad de alimentación (GPM).
- Temperatura del agua de salida (fría) (°F).
- Temperatura del agua de entrada (caliente) (°F).
- Temperatura ambiente de bulbo húmedo (°F).
- Temperatura ambiente de bulbo seco (°F).
- Análisis de agua.
- Velocidad promedio del aire y dirección.
- Diseño de la carga de aire.
- Diseño por cargas sísmicas.
- Intensidad de sonido.
- Tipo de torre.
- Materiales básicos.- Estructura, relleno, cubierta.
- Tipo de estructura.
- Tratamiento de la madera.
- Tubería de la torre incluyendo válvulas.
- Características de la base.
- Ventilador.
- Material de la flecha e impulsor.

- Altura de la chimenea.
- Descripción del motor.
- Previsiones de seguridad.
- Períodos de amortización.
- Costo unitario por evaluación.
- Prueba de aceptación.
- Alcance de servicios suministrados por el cliente.
- Fechas e instalación.
- Términos y condiciones de venta.

Cuando se cuenta con los requerimientos para diseñar la torre de enfriamiento, es posible obtener las características del equipo, pudiendo definir las dimensiones preliminares de la torre mediante un análisis general de la planta como capacidad, servicios y todas las condiciones del lugar y medio ambiente.

A continuación se exponen los parámetros de diseño más importantes, que permiten seleccionar la torre de enfriamiento más adecuada, para los fines requeridos en cualquier servicio.

La selección se hará de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Acercamiento.
- Rango de temperatura.
- Temperatura de bulbo húmedo.
- Gasto de agua por enfriar.
- Clima y condiciones ambientales.
- Recirculación de aire caliente y Húmedo.

3.2. Bases de diseño.

Datos del lugar:

Localización de la planta	Cangrejera, Ver.
Altitud sobre el nivel del mar	216.5 FT
Presión barométrica	756 mmHg

Temperatura:		
Promedio	77.2	°F
Bulbo seco de diseño	104.0	°F
Bulbo húmedo de diseño	80.6	°F
Humedad relativa:		
Promedio anual	81.3	%
Diseño	100.0	%
Viento:		
Velocidad máxima	250.0	Km/Hr
Velocidad de diseño	200.0	Km/Hr
Dirección	N-NE y N-NW	
Atmósfera:		
	Salada	
Coefficiente sísmico	0.21	
Zona sísmica (Rep. Mex.)	B	
Datos de Diseño:		
Capacidad total de la torre	10,000	GPM
Número de celdas	una	
Temperatura del agua:		
Caliente (entrada)	115.0	°F
Fría (salida)	90.0	°F
Rango	25.0	°F
Acercamiento	8.0	°F

3.3. Diseño y Construcción.

3.3.1. La torre de enfriamiento será de tiro inducido, flujo a contracorriente; por ser el tipo que proporciona una mayor eficiencia al contacto agua-aire. Relle-
no, divisiones, paredes laterales, persianas y estructura de concreto, incluyendo escaleras, puertas y pasad

llos necesarios para un adecuado acceso a la torre, -- sistema de distribución, equipo mecánico y chimeneas -- de descarga de aire.

3.3.2. La torre estará dividida en caso de tener más -- de una celda, cada una separadas entre sí por paredes -- intermedias. Las celdas deberán operar en forma inde -- pendiente entre sí, debiendo cada una poder ser puesta fuera de operación sin afectar el funcionamiento de -- las demás. No deberá existir flujo de vapor o de aire -- de una celda a otra.

3.3.3. El diseño y construcción de la torre será ade -- cuado para soportar con seguridad la velocidad de vien -- to horizontal, actuando en cualquier dirección de la -- superficie expuesta, sin que cause fugas, movimientos -- de partes o sobre esfuerzos en los componentes de la -- torre.

3.3.4. Eliminadores de rocío.- La torre deberá contar -- con eliminadores de rocío que minimizan el arrastre de agua, de tal manera que el máximo no exceda de 0.03% -- del flujo de agua a través de la torre, diseñados de -- tal forma que la caída de presión del aire sea la más -- baja posible. Los eliminadores de rocío deberán ser de P.V.C. que sean fácilmente removibles para facilitar -- su limpieza y separación, ya que el mantenimiento en -- este tipo de material es menos costoso y delicado.

3.3.5. Chimeneas.- Las chimeneas deberán ser de tipo -- venturi para recuperación de velocidad, diseñadas para minimizar la recirculación e interacción entre torres, la chimenea deberá tener puerta de acceso para el man -- tenimiento de equipo mecánico. Las chimeneas deberán -- ser construidas de poliéster reforzado o fibra de vi --

drio. Este tipo de material por su gran formalidad, ligereza y alta resistencia es uno de los mejores materiales para esta aplicación.

3.3.6. Sistema de distribución.- El sistema principal de distribución de agua caliente deberá contar con una o dos válvulas para cada celda de la torre, con el propósito de igualar el flujo de agua en cada celda, o para poderlas sacar fuera de servicio.

El sistema de distribución del agua caliente a cada celda deberá ser de tipo abierto por gravedad, debiendo asegurar una distribución uniforme del agua sobre el área transversal de las celdas. Este sistema de distribución es el más comúnmente usado en este tipo de torre y brindan menos pérdidas por arrastre.

La tubería de distribución deberá tener acceso para drenarse completamente. Es conveniente que la pileta o base superior se pueda cubrir con capas removibles de asbesto o madera para protección y control por acción de los rayos solares sobre el agua.

3.3.7. Ventilador.- Debe ser de tipo axial especialmente diseñado para servicio continuo, suave y sin vibraciones. Las aspas del ventilador deberán ser de políester reforzado con fibra de vidrio, por ser tan resistente a la corrosión.

El ventilador deberá estar estáticamente balanceado en la planta del fabricante, y todas las partes deberán venir adecuadamente marcadas para su ensamble en el campo.

3.3.8. Reductor de velocidad.- El ventilador deberá estar acoplado para su operación a un reductor de velocidad de ángulo recto, para servicio pesado especialmente diseñados para torres de enfriamiento. El factor de

servicio deberá estar de acuerdo a las normas AGMA. Se permitirá una sola reducción para relaciones hasta de 5:1 para mayores reducciones se tendrá que hacer en dos o más pasos, permitiéndose en cada uno, una relación de 5:1 como máximo.

El reductor deberá estar provisto de un medio adecuado de lubricación, de tal manera que los baleros puedan ser lubricados a las velocidades de operación. También deberán ser provistos adecuadamente para drenar, llenar, muestrear y comprobar el nivel de aceite desde la plataforma del ventilador.

3.3.9. Flecha.- El acoplamiento del motor al reductor se hará mediante una flecha especialmente diseñada para el servicio de torres de enfriamiento. La flecha será de tubo y deberá estar dinámicamente balanceada y equipada en sus extremos con coples flexibles del tipo de hule no lubricado. La flecha tendrá bridas ciegas y deberá ser de acero al carbón (galvanizado por inmersión) con recubrimiento epóxico o con un recubrimiento anticorrosivo adecuado. La tornillería deberá de ser de acero inoxidable.

3.3.10. Motor.- El motor del ventilador deberá ser de tipo inducción jaula de ardilla, totalmente cerrado con ventilación (TEFC), tropicalizado y aislamiento clase B, para operar con corriente 460/60/3. Cada motor deberá estar dotado de resistencias calefactoras para 220 volts con el fin de evitar condensaciones cuando esté fuera de operación.

3.3.11. Acceso.- La torre deberá estar provista con una escalera como mínimo la cual se deberá extender hasta el nivel del piso, así como todas las puertas de acceso, barandales, pasillos, pasamanos que se requie-

ren para hacerla fácilmente accesible durante la operación, inspección y reparaciones mayores.

3.3.12. Protección.- Los proveedores deben proporcionar guardas metálicas de seguridad en todo el equipo móvil para protección del personal.

3.4. Instrumentación.

El ventilador deberá estar provisto de un interruptor de seguridad (para altas vibraciones) del tipo de alta sensibilidad al cual podrá dársele mantenimiento desde fuera de la chimenea del ventilador.

3.5. Nivel de Ruido.

La tabla No. 1 presenta los máximos niveles de presión del sonido, en decibeles referidos a 0.0002 micro bars, los valores de la tabla se deberán aplicar cuando se encuentren en operación el ventilador de la torre.

TABLA No. 1

BANDA DE FRECUENCIA, Hz.	MAX. NIVEL DE PRESION DEL SONIDO (EXPOSICION CONTINUA) DB
31.5/63	95
125	92
250	92
500	88
1 000	85
2 000	83
4 000	83
8 000	85
	90

CAPITULO CUATRO

4.1. EVALUACION TECNICO-ECONOMICA.

La selección final de una torre de enfriamiento se realizará en base al análisis técnico y al análisis económico.

4.1.1. Evaluación Técnica.

Como hemos explicado en el capítulo anterior, de acuerdo a las especificaciones de las torres de enfriamiento que son las que deben cubrir los requerimientos mínimos de diseño, los proveedores nos proporcionarán una serie de datos que nos permitirán realizar una tabulación técnica, la cual incluirá a los distintos proveedores y en la que se analizarán todas las ofertas presentadas para este equipo.

4.1.2. Evaluación Económica.

Para el diseño general se requiere experiencia del fabricante, flexibilidad de operación, disponibilidad de partes de repuesto y otras características físicas que también son consideradas, de cualquier modo la unidad óptima es una selección económica basándose en la evaluación del costo total. Esta evaluación se lleva a cabo por medio de una tabulación comercial como la exponemos posteriormente.

La evaluación del costo total debe incluir los valores mostrados en la tabla No. 2, y están basados en

DESCRIPCION	PROVEEDORES		
	"A"	"B"	"C"
TABULACION COMERCIAL			
I. DESCRIPCION Y PRECIOS EN M.N.			
CANT. EQUIPO N° DESCRIPCION			
1 TE-100 TORRE DE ENERTAMIENTO.	\$ 8,600,000.00	\$10,100,000.00	\$13,800,000.00
PRECIO TOTAL	\$ 8,600,000.00	\$10,100,000.00	\$13,800,000.00
PRECIO POR PARTES DE REPUESTO	\$ 124,760.00	\$ 173,512.00	\$ 145,800.00
PRECIO TOTAL INCLUYENDO PARTES DE REPUESTO.	\$ 8,724,760.00	\$10,273,512.00	\$13,945,800.00
CONDICIONES DE PAGO	20% ANTICIPO RESTO 30 DIAS.	20% ANTICIPO RESTO 30 DIAS.	15% ANTICIPO RESTO 30 DIAS.
TIEMPO DE ENTREGA	12 MESES	14-18 MESES	13 MESES
GARANTIA	12 MESES DE OPERACION O 24 MESES DESPUES DE EMBARQUE.	12 MESES DE OPERACION O 24 MESES DESPUES DE EMBARQUE.	12 MESES DE OPERACION O 24 MESES DESPUES DE EMBARQUE.

PLANTA CANGREJERA, VER.

DESCRIPCION	PROVEEDORES			
	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE.	"A"	"B"	"C"
TABULACION TECNICA				
LAS CONDICIONES QUE SE MARCAN A CONTINUA- CION SON POR CELDA DE 10,000 GPM.				
I. GENERAL.				
EQUIPO N°/CANTIDAD		TE-100 / UNA	TE-100 / UNA	TE-100 / UNA
TIPO	FLUJO A CONTRA CORRIENTE.	FLUJO A CONTRA CORRIENTE.	FLUJO A CONTRA CORRIENTE.	FLUJO A CONTRA CORRIENTE.
II. CONDICIONES DE OPERACION.				
TEMPERATURA DE AGUA DE ENTRADA (°F)	115	115	115	115
TEMPERATURA DE AGUA DE SALIDA (°F)	90	90	90	90
RANGO DE ENRIAMIENTO (°F)	25	25	25	25
TEMPERATURA DE BUBLO HUMEDO (°F)	82	82	82	82
ACERCAMIENTO (°F)	8	8	8	8
MAXIMO FLUJO DE AGUA POR CELDA (GPM)		13,000	14,000	17,215
CONCENTRACION DE AGUA EN EL RELLENO (GPM/ FT2)		7.71	7.96	0.15
RELACION LIQUIDO A GAS (L/G)		1.22	1.024	1.198
PERDIDAS POR EVAPORACION (%)		2.5	2.5	1.87
PERDIDAS POR ARRASTRE (%)	0.1 MAX.	0.006	0.004	0.1
PARTES DE REPUESTO		SI	SI	SI
III. DISEÑO Y CONSTRUCCION.				
NUMERO DE CELDAS	UNA	UNA	UNA	UNA

PLANTACANGREJERA, VER.

DESCRIPCION	PROVEEDORES			
	REQUERIMIENTOS	"A"	"B"	"C"
	DEL CLIENTE.			
DIMENSION DE LA CELDA (LxAXH)		36'x78'8"x51'	33'x02'7"x53'	32'x71'x51'10"
MEDIDA DE LAS PARRILLAS DE RELLENO		1'3/4"x4"x6"	47"x40" ASBES- TO. CORRUGADO.	2'3/8"x2'3/8" x4'
VOLUMEN TOTAL EMPACADO (FT ³)		38,880	43,953	41,472
SUPERFICIE TOTAL EFECTIVA MOJADA (FT ²)		125,400	95,000	66,789
CARGA DINAMICA DE BOMBEO (FT)		33.2	39.25	39.0
ALTURA DE LA CHIMENEA (FT)		14.0	18.0	18.0
TIPO DE CHIMENEA	VENTURI	SI	SI	SI
AREA DE PERSIANAS (FT ²)		2,160	2,254	2,304
TIPO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION DEL AGUA	ABIERTO POR GRAVEDAD.	SI	SI	SI
DIAMETRO NOMINAL DEL CABEZAL (IN)		24.0	24.0	24.0
NUMERO DE ESCALERAS	UNA	UNA	UNA	UNA
IV. MATERIALES.				
MATERIAL DE LA CHIMENEA	POL. REFOR. O FIBRA VIDRIO.	SI	SI	SI
MATERIAL DE LAS PERSIANAS		CONCRETO	CONCRETO	ASBES. CEMENTO
MATERIAL DE LAS BOQUETAS DE DISTRIBUCION	POLIPROPILENO	SI	SI	SI
MATERIAL DE LOS ELIMINADORES DE ROCIO	PVC	PVC	PVC	PVC
MATERIAL DEL EMPAQUE	PVC	PVC	POLIPROPILENO	PVC
V. VENTILADOR.				
NUMERO DE VENTILADORES	UNO	UNO	UNO	UNO
DIAMETRO DEL VENTILADOR (FT)		28	28	28
NUMERO DE ASPAS DEL VENTILADOR	8 MINIMO	SI	SI	SI

DESCRIPCION	PROVEEDORES			
	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE.	"A"	"B"	"C"
VELOCIDAD LINEAL (FT/MIN)	12,000 MAX	SI	11,875	SI
MATERIAL DE LAS ASPAS	POL. REFOR. CON FIBRA VIDRIO	SI	SI	POL. REFOR. O AL. FUNDIDO.
BHP DE DISEÑO DEL VENTILADOR		80.6	102	82.35
CAPACIDAD DEL VENTILADOR DISEÑO (FT ³ /MIN)		1,135,623	1,263,000	1,071,899
CAPACIDAD MAXIMA DEL VENTILADOR (FT ³ /MIN)		1,250,000	1,256,000	1,138,000
EFICIENCIA DEL VENTILADOR		80.5	79.7	78.0
PRESION ESTATICA (IN H ₂ O)		0.209	0.274	0.248
PRESION DE VELOCIDAD (IN H ₂ O)		0.228	0.156	0.209
PRESION TOTAL (IN H ₂ O)		0.437	0.430	0.380
PRESION DE VELOCIDAD RECUPERADA (IN H ₂ O)		0.354	0.086	0.132
TEMPERATURA DEL AIRE QUE SALE DE LA TO- RRE (°F).		102.5	101.8	102.2
VI. MOTOR ELECTRICO.				
TIPO		TREC	TREC	US O SIMILAR
POTENCIA HP		100	125	100
± BHP ARRIBA DE LO REQUERIDO		24	26.5	20
VELOCIDAD R.P.M.		1800	1800	1800
CORRIENTE VOLTS/CICLOS/FASES		460/60/3	440/60/3	440/60/3
INTERRUPTOR DE VIBRACION		MURPHY	ROBERT SHAW	NELSON
VII. REDUCTOR DE VELOCIDAD				
TIPO	ENGRANES HELT- COIDA, CONICOS	SI	SI	SI

los siguientes parámetros.

4.1.2.1. Costos Fijos.

4.1.2.2. Costos de operación.

4.1.2.1. Costos Fijos.

-Costo total de la instalación de la torre de enfriamiento incluyendo el motor.

-Costo de instalación de la base de agua fría incluyendo el cárcamo y la rejilla.

-Costo de instalación de las bombas y accionadores.

-Costo de instalación de los tubos, alambrado, arrancadores y accesorios.

-Costos de instrumentación.

4.1.2.1.1. Aplicación al sistema analizado.

La siguiente memoria tiene por objeto calcular los costos fijos anuales de las propuestas recibidas para la torre de enfriamiento. Estos costos servirán de base para la evaluación económica de dichas propuestas.

Bases

Los costos fijos de obra civil se estimaron considerando los siguientes costos unitarios.

-Costo concreto colado en obra.

-Costo concreto precolado.

-Costo acero de refuerzo.

La relación de interés que vamos a considerar es del 18 % anual.

El tiempo de amortización del equipo será de 11 años.

Ecuaciones

$$C_{tc} = C_{cc} + C_{cp} + C_{ar} \quad (4.1)$$

Donde:

C_{tc} = Costo Total de Construcción (\$).

C_{cc} = Costo de Concreto Colado en Obra (\$/m³).

C_{cp} = Costo de Concreto Precolado (\$/m³).

Car = Costo de Acero de Refuerzo (\$/Ton).

$$A = VP \left[\frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} \right]^{-1} \quad (4.2)$$

Donde:

A = Anualidad (\$/año).

i = Relación de Interés Fraccional.

n = Tiempo de Amortización (años).

Datos y Resultados

Los datos de la tabla siguiente fueron proporcionados por los proveedores para evaluar los costos de obra civil y mano de obra.

D A T O S		"A"	"B"	"C"
Concreto Colado en Obra	(m ³)	33.22	35.6	27.1
Concreto Precolado	(m ³)	24.82	26.0	20.2
Acero de Refuerzo	(Ton)	73.71	75.6	66.80

Los costos siguientes fueron proporcionados por diferentes contratistas que se dedican a la construcción de estos equipos.

Costo de Concreto Colado en Obra	\$20,000.00 \$/m ³ .
Costo de Concreto Premezclado	\$22,500.00 \$/m ³ .
Costo de Acero de Refuerzo	\$36,250.00 \$/Ton.

Con los datos anteriores y utilizando la ecuación No. 4.1, obtenemos el costo total de construcción. Este costo más el de la torre que incluye accesorios e instalación nos da el costo total de inversión fija.

PROVEEDOR	COSTO TOTAL DE CONSTRUCCIÓN (\$)	COSTO DE LA TORRE (\$)	COSTO TOTAL (\$)
"A"	3,894,837.50	8,600,000.00	12,494,837.00
"B"	4,037,500.00	10,100,000.00	14,137,500.00
"C"	3,418,000.00	13,800,000.00	17,218,000.00

Con los costos totales anteriores calculamos la anualidad a 11 años (tiempo de amortización del equipo) y los valores obtenidos se tabulan en la tabla No. 2.

4.1.2.2. Costos de Operación.

Para estimar los costos de operación de la torre de enfriamiento para la evaluación económica de las propuestas, se consideró lo siguiente:

- Energía del Ventilador.
- Energía por Carga Estática de Bombeo.
- Pérdidas por Arrastre.

Los costos unitarios a considerar son los siguientes:

- Energía Eléctrica.
- Agua de Enfriamiento.

4.1.2.2.1. Aplicación al sistema analizado.

Bases

Estos costos se consideran para el primer año de operación, para los años siguientes, se considerará un incremento del 20% para cada año.

Se considerarán 8,000 Hs., de operación por año.

Los costos se calcularán para once años (que es el

tiempo de amortización que se le da a la torre).

Ecuaciones

Costo de Energía del Ventilador

$$CEV = 5968 \times BHPV \times CE \times \frac{1.2^n}{1.2} \quad (4.3)$$

Donde:

CEV = Costo de Energía del Ventilador (\$/año).

BHPV = Potencia del Ventilador (BHP)

CE = Costo Unitario de la Energía Eléctrica (\$/Kw-Hs).

n = Años.

5968 = Factor de Conversión de Unidades (\$/año).

Desglose del factor

$$5968 \frac{\$}{\text{año}} = BHP \times 0.746 \frac{KW}{HP} \times \frac{\$}{KW-Hs} \times 8000 \frac{Hs}{\text{año}}$$

Potencia de la Bomba

$$BHPB = \frac{Q \times H \times SG}{3960 \cdot n} \quad (4.4)$$

Donde:

BHPB = Potencia de la Bomba (HP)

H = Carga Estática de Bombeo (FT)

SG = Gravedad Específica

n = Eficiencia de la Bomba (%)

Q = Gasto de la Bomba (GPM)

3960 = Factor de Conversión (3960 GPM x FT = 1 HP).

Energía por Carga Estática de Bombeo

$$CEB = 5968 \times BHPB \times CE \times \frac{1.2^n}{1.2} \quad (4.5)$$

Donde:

- CEB = Costo de Energía por Carga Estática de Bombeo (\$/año).
- BHPB = Potencia de la Bomba (HP).
- CE = Costo Unitario de Energía Eléctrica \$/Kw-Hs.
- n = Años.
- 5968 = Factor de Conversión de Unidades (Desglosado en ecuación 4.3).

Pérdidas Por Arrastre

$$CPA = 4.8 \times 10^9 \times PA \times CAE \times \frac{1.2^n}{1.2} \quad (4.6)$$

Donde:

- CPA = Costo de Pérdidas por Arrastre (\$/año).
- PA = Por Ciento de Pérdidas por Arrastre Fraccional.
- CAE = Costo Unitario de Agua de Enfriamiento - (\$/Gal.).
- n = Año.
- 4.8×10^9 = Factor de Conversión de Unidades.

Desglose del Factor

$$4.8 \times 10^9 \frac{\$}{\text{año}} = 10,000 \frac{\text{Gal}}{\text{Min}} \times 60 \frac{\text{Min}}{\text{Hs}} \times \frac{\$}{\text{Gal}} \times 8,000 \frac{\text{Hs}}{\text{año}}$$

Datos y Resultados

PROVEEDOR	BHP VENTILADOR	CARGA ESTÁTICA DE BOMBEO (FT)	PÉRDIDAS POR ARRASTRE (%)
"A"	80.6	33.2	0.008
"B"	102.0	39.25	0.004
"C"	82.35	39.00	0.10

Costos Unitarios.

Costo de la Energía Eléctrica \$ 0.93 \$/Kw-Hs.

Costo de Agua de Enfriamiento \$ 0.58 \$/Gal.

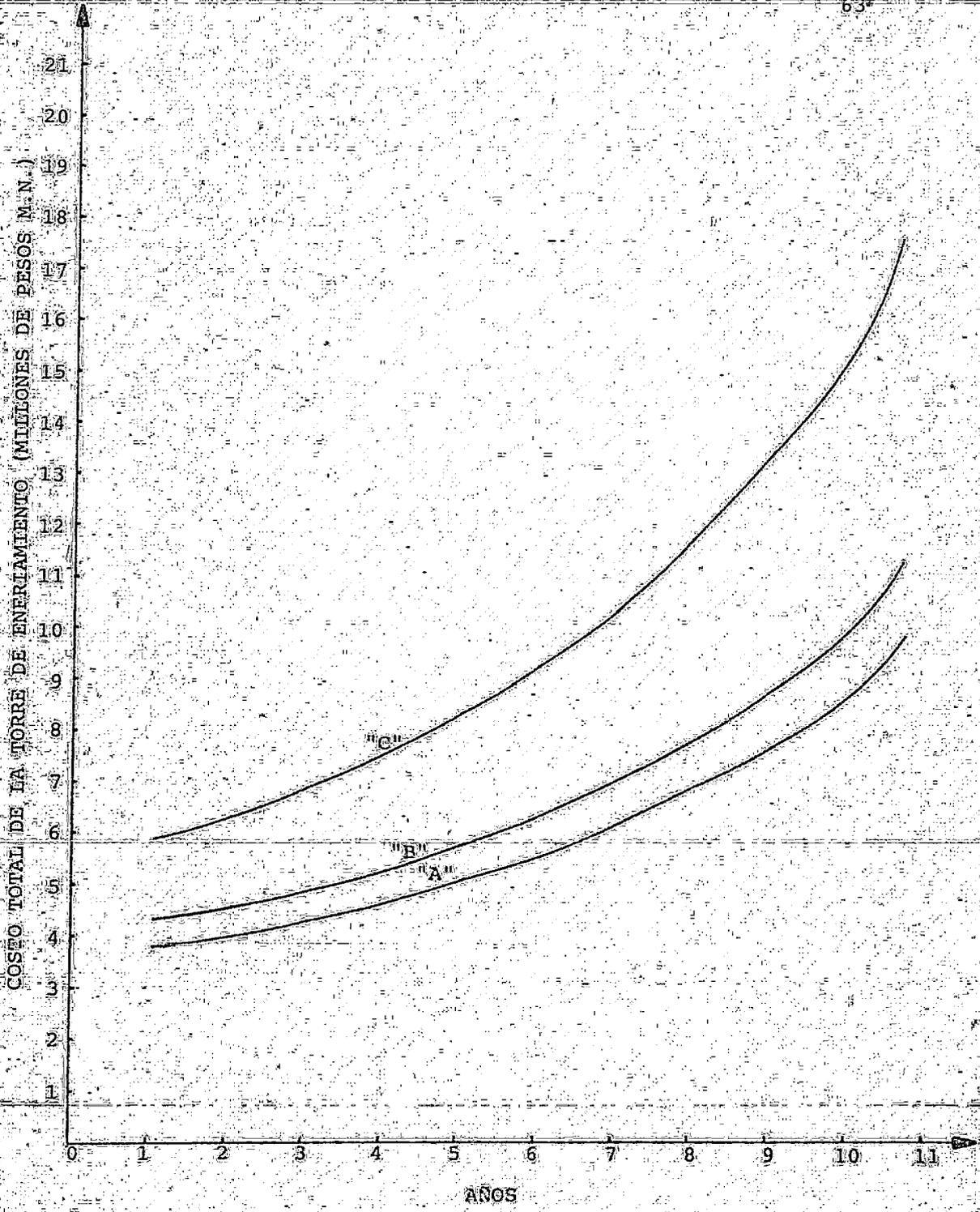
El costo de la energía eléctrica fue proporcionado por la Comisión Federal de Electricidad y del agua de enfriamiento de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

Con lo anterior y el uso de las ecuaciones 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 obtenemos los resultados de la tabla No. 2 con la cual realizamos la gráfica, costo contra tiempo que nos permite observar cual es el equipo más económico a través de los años.

T A B L A N° 2

A N O	PROVEE DOR.	C O S T O S V A R I A B L E S (\$)			C O S T O S D E O P E R A C I O N T O T A L E S (\$)	C O S T O S F I J O S T O T A L E S (\$)	C O S T O S T O T A L E S (\$)
		E N E R G I A D E L V E N T I L A D O R .	C A R G A E S T A T I C A D E B O M B E O .	P E R D I D A S P O R A R R A S T R E			
1	"A"	447,349.34	620,428.02	84,288.00	1,152,065.30	2,683,591.10	3,835,656.40
	"B"	566,124.48	733,464.21	42,144.00	1,341,732.60	3,036,395.70	4,378,128.30
	"C"	457,062.26	728,812.01	1,053,600.00	2,239,464.20	3,698,013.10	5,937,477.30
2	"A"	536,819.20	744,513.62	101,145.60	1,382,478.40	2,683,591.10	4,066,069.50
	"B"	679,349.37	880,157.05	50,572.80	1,610,079.20	3,036,395.70	4,646,474.90
	"C"	548,474.71	874,562.41	1,264,320.00	2,687,357.10	3,698,013.10	6,385,370.20
3	"A"	644,183.04	893,416.34	121,374.72	1,658,974.00	2,683,591.10	4,342,565.10
	"B"	815,219.25	1,056,188.40	60,687.36	1,932,094.90	3,036,395.70	4,968,490.60
	"C"	658,169.65	1,049,474.80	1,517,184.00	3,224,828.40	3,698,013.10	6,922,841.50
4	"A"	773,019.65	1,072,099.60	145,649.66	1,990,768.80	2,683,591.10	4,674,359.90
	"B"	978,263.10	1,267,426.10	72,824.83	2,318,514.00	3,036,395.70	5,354,970.00
	"C"	789,803.58	1,259,369.80	1,820,620.80	3,869,794.10	3,698,013.10	7,567,807.20
5	"A"	927,623.59	1,286,519.50	174,779.59	2,388,922.50	2,683,591.10	5,072,513.60
	"B"	1,173,915.70	1,520,911.30	87,389.79	2,782,216.70	3,036,395.70	5,818,612.40
	"C"	947,764.30	1,511,243.80	2,184,744.90	4,643,753.00	3,698,013.10	8,341,766.10
6	"A"	1,113,139.30	1,543,811.00	209,733.83	2,866,684.10	2,683,591.10	5,550,275.20
	"B"	1,408,687.50	1,825,078.90	104,866.91	3,338,633.30	3,036,395.70	6,375,029.00
	"C"	1,137,308.00	1,813,478.00	2,621,672.80	5,572,458.80	3,698,013.10	9,270,471.90
7	"A"	1,335,740.30	1,852,536.00	251,675.53	3,439,951.80	2,683,591.10	6,123,542.90
	"B"	1,690,391.00	2,190,050.70	125,837.76	4,006,279.40	3,036,395.70	7,042,675.10
	"C"	1,364,742.20	2,176,129.90	3,145,944.20	6,683,816.30	3,698,013.10	10,384,829.40

8	"A"	1,602,897.40	2,223,055.60	302,012.33	4,127,965.30	2,683,591.10	6,811,556.40
	"B"	2,028,480.60	2,628,075.60	151,006.16	4,807,562.30	3,036,395.70	7,843,958.00
	"C"	1,637,699.70	2,611,370.40	3,775,154.10	8,024,224.20	3,698,013.10	11,722,237.30
9	"A"	1,923,512.60	2,667,716.40	362,421.54	4,953,650.50	2,683,591.10	7,637,241.60
	"B"	2,434,222.00	3,153,749.40	181,210.77	5,769,182.10	3,036,395.70	8,805,577.80
	"C"	1,965,276.30	3,133,702.80	4,530,269.20	9,629,248.30	3,698,013.10	13,327,261.40
10	"A"	2,304,699.00	3,196,383.10	434,243.34	5,935,325.40	2,683,591.10	8,618,916.50
	"B"	2,916,616.70	3,778,734.20	217,121.67	6,912,472.50	3,036,395.70	9,948,868.20
	"C"	2,354,739.00	3,754,715.00	5,428,041.80	11,537,495.00	3,698,013.10	15,235,508.10
11	"A"	2,769,852.90	3,841,504.10	521,886.00	7,133,243.00	2,683,591.10	9,816,834.10
	"B"	3,505,272.90	4,541,390.00	260,943.00	8,307,605.90	3,036,395.70	11,344,001.60
	"C"	2,829,992.30	4,512,523.40	6,523,575.10	13,866,090.00	3,698,013.10	17,564,103.10



RECOMENDACION

Comentarios.

Proveedor "A". Cumple en general con todas las especificaciones y materiales. La inversión fija total es la más baja así como los costos de operación de la torre, ya que la energía dinámica de bombeo y la potencia del ventilador son los menores.

Proveedor "B". Cumple con las especificaciones excepto en la velocidad lineal máxima del ventilador y el material del relleno es polipropileno y no PVC. Las dimensiones de la torre son las más grandes así como los costos de la energía del ventilador y la carga estática de bombeo, los costos de inversión fija son intermedios entre los otros dos proveedores. En pérdidas por arrastre es el menor.

Proveedor "C". También cumple con las especificaciones pero es el que tiene mayor pérdidas por arrastre y más altos costos de operación y de inversión fija. En cuanto a materiales no cumple con el de las persianas ofrece asbesto cemento y no concreto.

Con los comentarios anteriores podemos concluir que el que cumple con todas las especificaciones, los tipos de material y no presenta ninguna desviación técnica es el proveedor "A".

La recomendación comercial se hace considerando los aspectos siguientes:

1° Tabulación comercial en la cual observamos el Proveedor "A" que es el de más bajo costo y mejor tiempo de entrega.

2° Gráfica de costos totales. En la que observamos que a los 11 años de amortización que se le da a la torre, los costos totales que incluyen los de operación-

y los costos fijos de inversión, sigue siendo más económico el Proveedor "A" con lo cual llegamos a la conclusión de recomendar a dicho Proveedor comercialmente.

De acuerdo a la tabla comparativa técnica y comercial, curvas de costos, gráfica y especificación original, el proveedor seleccionado para la compra de la torre de enfriamiento es el "A".

CAPITULO CINCO

5.1. CONCLUSIONES.

El objetivo principal de esta información general de torres de enfriamiento sobre todo lo que involucra el enfriamiento de agua, es llegar a la selección de compra más adecuada.

La selección depende de dos factores importantes que son técnico y comercial, por ejemplo en el técnico analizamos todos los equipos e instrumentos que involucra el funcionamiento de la torre, así como, materiales y características. En el comercial se estudiaron dos tipos de costos que fueron los fijos y los de operación. Los costos fijos que son basados en la construcción (base y estructuras) y los de operación que son referentes al equipo a un tiempo dado de amortización. Con esto se llegó a la selección del proveedor "A" que es el que nos ofreció el equipo que se apega más a las especificaciones requeridas en el capítulo tres, el cual también comercialmente es el de la oferta más atractiva en precio y tiempo de entrega, que son dos puntos muy importantes en la selección de compra de este equipo.

Podemos concluir que este trabajo nos proporciona las bases necesarias para la correcta secuencia de compra de un equipo tan importante en cualquier planta de proceso como lo es una torre de enfriamiento.

También explicamos de una manera general que es, que partes la integran y que función realiza cada una y en conjunto.

CAPITULO SEIS

6.1. BIBLIOGRAFIA.

Principios de Operaciones Unitarias.

A.S. Foust.

C.E.C.S.A.

Agosto 1976.

Cap. 17.

Manual del Ingeniero Químico.

John H. Perry.

U.T.E.H.A.

Tomo I.

1976.

Pag. 1225 a 1232.

Chemical Engineers Hand Book.

Perry & Chilton.

Mc. Graw Hill.

Fifth Edition.

Pag. 12-12

Procesos de Transferencia de Calor.

Donald Q. Kern.

C.E.C.S.A.

1976.

Pag. 660-668.

Cooling Tower Fundamentals and Application Principles.

Published by the Marley Company.

222 West Gregory.

Kansas City, Missouri 64114.

Cooling Tower Institute.

Houston, 1976.

Principios de Refrigeración.

Roy J. Dossat.

C.E.C.S.A.

Septiembre de 1890.

Cap. 5 Pag. 79 a 106.

Cap. 14 Pag. 334 a 346.

Principios de los Procesos Químicos I.

Balances de Materia y Energía.

Hougen Watson Ragatz.

Editorial Reverté, S.A.

Cap. 5 Pag. 119 a 142.

Applied Process Design for Chemical and Petrochemical
Plants.

Volumen 2.

Ernest E. Ludwig.

Gulf Publishing Company.

Second Edition.

Pag. 212 a 239.

Practical Tips on Cooling Tower Sizing.

Roy W. Mize.

The Marley Co., Houston.

Hydrocarbon Processing.

Febrero 1967 Vol. 46 No. 2.

Especificaciones Generales para Proyecto de Obras.

Torres de Enfriamiento.

Norma No. 2.613.07.

Primera Edición 1970.

Trends in Cooling Tower Construction.

Jerry R. Castle Berry.

Managing Editor.

Marzo 1969.

Costos de Operación.

Chemical Engineers.

Octubre 5, 1959.

Progress 52, 263 (1956).

Chemical Engineers.

R-54-P-5, R-58-P-5.

Marley Co.

Kansas City, Mo.

1957.

Indicadores Económicos 112, Cuaderno Mensual.

Banco de México.

Marzo 1982.

"NEC" (Código Nacional Eléctrico).

Catálogos de Proveedores de Torres de Enfriamiento.