

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

**DISEÑO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA UN TURBOGENERADOR DE
7.5 MW EN EL INGENIO LA UNION**

INFORME FINAL DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PRESENTADO
POR

JUAN FRANCISCO MENCHU IXCAQUIC

GUATEMALA, ABRIL DE 1,996.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
CARRERAS DE INGENIERIA EN MECANICA Y EN MAQUINARIA
CARRERAS DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD Y EN ELECTRONICA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

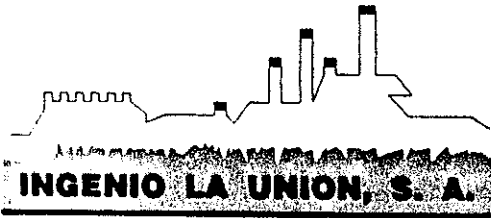
MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszueck.
VOCAL PRIMERO:	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra.
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.
VOCAL TERCERO:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.
VOCAL CUARTO:	Br. Fernando Waldemar de León Contreras.
VOCAL QUINTO:	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor.
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszueck.
EXAMINADOR:	Ing. Victor Eliú Linares.
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Figueroa Vásquez.
EXAMINADOR:	Ing. Oscar Maldonado de la Roca.
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López.



SANTA LUCIA COTZ., ESCUINTLA
TELS. 0845-365, 0846-075

30 de Agosto de 1,995.


Ingeniero
Pedro Quiroa Méndez
Coordinador De La Unidad
de Práctica de Ingeniería y E.P.S.
Facultad De Ingeniería
Universidad San Carlos De Guatemala
Presente.

Estimado Ing. Quiroa:

Muy atenta y respetuosamente me dirijo a usted para saludarle y al mismo tiempo aprovecho la oportunidad para comunicarle que revisé el informe de proyecto E.P.S. Titulado " Diseño de una torre de enfriamiento para un turbogenerador de 7.5 MW en el Ingenio La Unión ", del estudiante JUAN FRANCISCO MENCHU IXCAQUIC, con número de carnet 8430250, y éste satisface el protocolo propuesto, por lo que apruebo dicho informe para que tenga a bien realizar los trámites correspondientes.

Sin otro particular por el momento me suscribo su seguro servidor.

Atentamente,


Ing. Hugo Cabrera Cienfuegos
Jefe Del Departamento de
Cogeneración.



FACULTAD DE INGENIERIA
Unidad de Prácticas de Ingeniería
Ejercicio Profesional Supervisado
E.P.S

Ciudad Universitaria, Zona 12
01012 Guatemala, Centroamérica

REF.EPS.C.038.96
Guatemala, 13 de marzo de 1,996

Señor
Ing. Jorge Siguere Rockstroh
Director de la Escuela
de Ingeniería Mecánica
Presente

Señor Director:

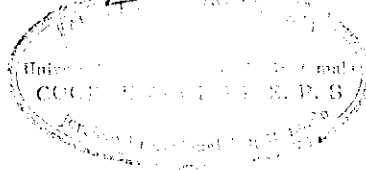
Atentamente por este medio, estoy trasladando para su Aprobación y trámite respectivo el Trabajo de Tesis titulado **DISEÑO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA UN TURBOGENERADOR DE 7.5 MW EN EL INGENIO "LA UNION"**, desarrollado bajo el marco de Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), por el estudiante universitario **JUAN FRANCISCO MENCHU IXCAQUIC**; el cual tiene la Aprobación del Asesor nombrado Ingeniero **Hugo Cabrera Cienfuegos**, y el dictamen favorable por parte de esta Coordinación.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

ING. PEDRO QUIROA MENDEZ
COORDINADOR DE E.P.S.



PQM/lgg.
c.c.: Archivo
Anexo: El trabajo de tesis mencionado.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador de E. P. S. al trabajo de tesis titulado DISEÑO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA UN TURBOGENERADOR DE 7.5 MW EN EL INGENIO "LA UNION", desarrollado por el estudiante Juan Francisco Menchú Ixcaquic, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge Siguere R.

DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, marzo de 1,996



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Jorge C. Siguere Rockstroh, al trabajo de tesis titulado **Diseño de una Torre de Enfriamiento para un Turbogenerador de 7.5 MW en el Ingenio "La Unión"**, presentado por el estudiante universitario **Juan Francisco Menchú Ixcaquic**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK

DECANO

Guatemala, marzo de 1,996.

/bedei.



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

ACTO QUE DEDICO

A DIOS,

Con amor y fe, ya que sin su ayuda hubiera sido imposible llegar a la meta.

A LA MEMORIA DE

Mi abuela,
María Ines Barreno de Menchú,
ya que fue el cimiento de mi carrera.

A MIS PADRES

Juan Narciso Menchú Barreno
Virginia Alejandra Ixcaquic,
Que esto sea una pequeña recompensa por su amor y dedicación.

A MIS ABUELOS

Jose Camilo Menchú Ramos,
Por ser un gran ejemplo de perseverancia.
Nicolas Ixcaquic y Rosa López
Por su apoyo y amor.

A MIS HERMANOS

María, Martha, Esteban, Rosa,
Salvador, Claudia y Lucrecia,
por su apoyo incondicional.

A MIS PRIMOS

Especialmente a María, Nino,
y Miguel, por su apoyo constante.

A MIS TIOS

Con respeto y cariño.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Jorge (Q.E.P.D), Juan Antonio,
Fredy, Héctor, Rubén, Estuardo,
José.

Y A USTED

Con respeto.

AGRADECIMIENTOS

AL ING. HUGO CABRERA CIENFUEGOS

Ya que por su medio logré realizar mi ejercicio profesional supervisado, además de su valiosa asesoría en la realización del presente trabajo de tesis.

AL ING. CARLOS RENE CIFUENTES

Por autorizar la realización de dicha práctica en las instalaciones del ingenio la Unión.

AL ING. EDGAR OCHOA

Por la ayuda brindada para la realización del mismo.

AL ING. EDWIN GAMBOA

Por el apoyo que me estuvo brindando.

AL PERSONAL DEL INGENIO LA UNION

Especialmente a los supervisores del departamento de cogeneración por la colaboración brindada.

A LOS INGENIEROS

Jorge de la Cruz,
Enio Melgar,
Victor Linares y
Jorge Ibáñez,
Por su ayuda y constante apoyo.

A TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA FORMA COLABORARON EN LA REALIZACION DEL PRESENTE TRABAJO DE TESIS.

INDICE GENERAL

Glosario.....	i
Introducción.....	iv

CAPITULO 1

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

1.1 Introducción.....	1
1.2 Fuentes de suministro.....	1
1.3 Sistemas abiertos de enfriamiento.....	2
1.4 " cerrados de enfriamiento.....	4
1.4.1 Estanques de aspersion.....	4
1.4.2 Torres de enfriamiento.....	5
1.4.3 Condensadores evaporativos.....	7
1.5 Utilización.....	7

CAPITULO 2

TORRES DE ENFRIAMIENTO

2.1 Condiciones de diseño.....	9
2.2 Tipos de torres.....	10
2.2.1 Torres de tiro natural.....	10
2.2.1.1 torres atmosféricas.....	10
2.2.2 Torres de tiro mecánico.....	12
2.2.2.1 Torres de tiro inducido.....	12
2.2.2.2 Torres de tiro forzado.....	14
2.2.2.3 torres de doble flujo.....	14
2.3 Materiales de construcción.....	16
2.3.1 Madera.....	16
2.3.2 Metales.....	17
2.3.3 Plásticos.....	18
2.3.4 Asbestos.....	19
2.4 Componentes.....	20
2.4.1 Empaquetado.....	20
2.4.1.1 tipo parrilla.....	20

2.4.2 Sistema de distribución de agua.....	23
2.4.2.1 tipo atomizado.....	23
2.4.2.2 tipo depósito.....	24
2.4.3 Eliminadores de brizado.....	24
2.4.4 Persianas de entrada del aire.....	26
2.4.5 Ventiladores.....	27

CAPITULO 3

ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE

3.1 Cómo se produce el enfriamiento.....	29
3.2 Temperatura de bulbo húmedo.....	30
3.3 Temperatura de bulbo seco.....	31
3.3.1 Análisis psicrométrico.....	32
3.4 Determinación de la carga de calor.....	34

CAPITULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL TURBOGENERADOR DE 7.5 MW

4.1 Condiciones de diseño.....	37
4.2 Cálculos.....	38
4.2.1 Area necesaria de la torre.....	39
4.2.2 Tubería de conducción.....	41
4.2.3 Bombas.....	44
4.2.4 Ventiladores.....	47
4.2.5 Agua de reposición.....	47
4.2.6 Depósito de agua fría.....	47

CAPITULO 5

AGUA DE ENFRIAMIENTO

5.1 Problemas del agua de enfriamiento.....	50
5.2 Efectos y tipos de impurezas.....	50
5.2.1 Incrustaciones.....	51
5.2.2 Corrosión.....	51
5.2.3 Ataque microbiológico.....	52
5.3 Tratamiento del agua.....	53
5.4 Agua para el proyecto de la torre.....	58

5.4.1 Cálculo de concentración de impurezas.....	60
Conclusiones.....	62
Recomendaciones.....	63
Bibliografía.....	64
Anexo.....	65

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA NO.	DESCRIPCION	PAGINA
1.3	Sistema abierto de enfriamiento.	3
1.4.1	Estanque de aspersion.	6
1.4.2	Torre de enfriamiento.	6
1.4.3	Condensador evaporativo.	8
2.2.1.1	Torre de tiro atmosférico.	11
2.2.2.1	Torre de tiro inducido.	13
2.2.2.2	Torre de tiro forzado.	15
2.2.2.3	Torre de tiro cruzado	15
2.4.1.1	Empaquetado tipo parrilla y otros tipos de empaquetado.	21
2.4.2	Diferentes tipos de distribución de agua.	25
2.4.3	Colocación de los eliminadores de brizado.	26
2.4.4	Persianas de entrada del aire.	27
3.3.1	Describe el análisis psicrométrico del enfriamiento del agua.	33
3.3.2	Muestra el análisis gráfico psicrometrico del comportamiento del aire dentro de la torre.	36
4.1	Describe el circuito del agua de enfriamiento.	37
5.3.3	Muestra un diagrama de flujo.	56

GLOSARIO

1. **TEMPERATURA DE AGUA CALIENTE (T1)**
Temperatura del agua de circulación que entra al sistema de distribución de la torre de enfriamiento.
2. **TEMPERATURA DE AGUA FRIA (T2)**
Temperatura de agua de circulación que sale de la torre de enfriamiento.
3. **CARGA DE AGUA (Q)**
Se conoce, así, al flujo de agua de circulación expresado en galones por minuto.
4. **TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO (TWB)**
Es la temperatura indicada por un psicrómetro, también se le conoce como la temperatura de saturación adiabática.
5. **TEMPERATURA DE BULBO SECO (TDB)**
Es la temperatura del medioambiente que se lee con un termómetro ordinario.
6. **EMPAQUETADO**
Serie de obstrucciones que se encuentran dentro de la torre que obliga al agua y al aire a permanecer un mayor tiempo en contacto, se le conoce, también, con el nombre de 'relleno'.
7. **CELDA**
Es la menor subdivisión de una torre de enfriamiento que puede funcionar como unidad independiente.
8. **ENVOLVENTE**
Es la parte exterior que cubre la torre de enfriamiento.

9. ELIMINADOR DE BRIZADO

Montaje construido de madera, plástico, acero u otro material que sirve para extraer la humedad arrastrada por el aire de descarga.

10. ACERCAMIENTO

Es la diferencia que hay entre la temperatura de agua fría y la temperatura de bulbo húmedo.

11. INTERVALO

Diferencia que hay entre la temperatura de agua caliente y la temperatura de agua fría.

12. ENTALPIA DE ENTRADA

Cantidad de calor que tiene el aire antes de entrar a la torre de enfriamiento.

13. ENTALPIA DE SALIDA

Cantidad de calor que absorbe el aire, después de haber pasado por la torre.

14. HUMEDAD

Vapor de agua en el aire, en un espacio dado.

15. HUMEDAD ABSOLUTA

Peso del vapor de agua por unidad de volumen.

16. HUMEDAD ESPECIFICA

Peso del vapor de agua expresado en lbs. o en granos asociados con cada lbs. de aire seco.

17. CALOR LATENTE

Calor asociado con la evaporación de humedad del cuerpo u otras fuentes de vapor de agua.

18.CALOR SENSIBLE

Calor transmitido al aire por otras fuentes productoras de calor.

19.FLUJO DE AIRE

Cantidad de aire necesario que pasa por la torre para producir el enfriamiento deseado.

20.CARTA PSICROMETRICA

Representación gráfica de las propiedades termodinámicas del aire.

21.CARGA DE BOMBEO

Presión mínima requerida para elevar el agua desde el borde del estanque hasta la parte superior del sistema.

22.AGUA DE REPOSICION

Agua que se agrega al sistema para reemplazar el agua perdida por evaporación, purga, arrastre, etc.

23.EVAPORACION

Cambio del estado líquido al estado gaseoso.

24.RECIRCULACION

Cuando una parte del aire de descarga (saturado) entra a la torre con el aire fresco.

25.BRIZADO

Pérdida de agua en la torre conforme las gotas del líquido, son arrastradas por el aire de escape.

26.CALOR

Flujo de energía que se obtiene al haber un gradiente del mismo.

INTRODUCCION

En la mayoría de plantas de procesos, el agua es un elemento importante, tanto para el consumo humano como para sistemas de enfriamiento de los distintos equipos que requieren disipar calor para mantener una temperatura de trabajo recomendado para su eficiente funcionamiento. Actualmente, debido a la escasez, alto costo y a que pocas plantas tienen la suerte de contar con una fuente de agua que sea inagotable, es que debe usarse un método que garantice que no se desperdicie.

Para los sistemas de enfriamiento se utilizaban, casi de manera predominante, sistemas de un solo paso; estos sistemas son aquellos que utilizan el agua por los equipos sólo una vez y, luego, es desechada, repercutiendo en la economía del proceso, ya que, este líquido es costoso y provoca, además, una fuerte contaminación térmica. Por eso es que se necesitó de otro método que proporcionara el agua de enfriamiento sin tener que tirarla en una sola pasada; este método es el sistema cerrado de enfriamiento, que no es más que hacer recircular el agua de enfriamiento. Se logra por medio de tres métodos que se mencionan a continuación: estanques de aspersión, torres de enfriamiento y condensadores evaporativos.

En este sistema de enfriamiento, las pérdidas que se producen son mínimas, comparadas con el sistema abierto, por lo que, la mayor parte del agua se recircula; las pérdidas que se producen en el sistema cerrado se dan, mayormente, por evaporación, arrastres, fugas, purga, etc. En el presente trabajo de tesis se describirán los métodos de enfriamiento, pero, se le dará mayor énfasis a los sistemas cerrados, específicamente, a las torres de enfriamiento.

Se hará un diseño de una torre de enfriamiento para el ingenio La Unión. El objetivo de ésta es darle enfriamiento al agua que utilizan dos intercambiadores de calor de un turbogenerador de 7.5 mW. La función de uno de estos intercambiadores es mantener una

determinada temperatura en el aceite que lubrica las chumaceras y el cojinete de empuje de la turbina; esto es muy importante, ya que, al aumentar mucho esta temperatura se pierden las propiedades del aceite, especialmente, la viscosidad, repercutiendo en el babbitt de las chumaceras; esto, a su vez, provoca que el eje de la turbina se dañe. El otro intercambiador tiene como objetivo, mantener la temperatura de trabajo en el aire que circula dentro del generador, lo cual es muy importante ya que dicho aire no debe ser ni muy caliente ni frío, pues de ser así, causaría daño al generador.

Algo que es muy, importante también, es el tratamiento del agua de enfriamiento ya que puede deteriorar las componentes de la torre de enfriamiento, la de los intercambiadores, de las bombas, etc. Por eso debe tenerse especial cuidado al tratarla.

CAPITULO 1

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

1.1 INTRODUCCION

El agua es un medio importante que permite a cualquier industria de procesos elaborar su producto, las características del agua requerida varían de acuerdo con los diferentes procesos que efectúan las industrias. Las funciones o usos en las que se puede utilizar el agua caen, usualmente, en uno o varios de los siguientes campos :

- uso personal, por los empleados o los clientes,
- preparación de alimentos u otros procesos de manufactura,
- enfriamiento para comodidad y proceso (estanque de aspersion, torre de enfriamiento, condensador evaporativo),
- calefacción para comodidad (por medio de una bomba de calor),
- reposición para generación de vapor o procesos de la planta,
- eliminación del desperdicio de la planta (se utiliza como medio de transporte),
- en las plantas generadoras de energía eléctrica con calderas de vapor y turbogeneradores.

1.2 FUENTES DE SUMINISTRO

Las fuentes que pueden satisfacer las necesidades de una planta en particular dependen de varios factores:

- a. cantidad de agua requerida,

- b. calidad de agua requerida,
- c. costo del agua de las fuentes disponibles,
- d. cantidad disponible de cada fuente,
- e. localización.

Por otro lado, dependiendo de la ubicación en que se encuentre la planta y tomando en cuenta los incisos mencionados, anteriormente, se puede disponer de las siguientes fuentes:

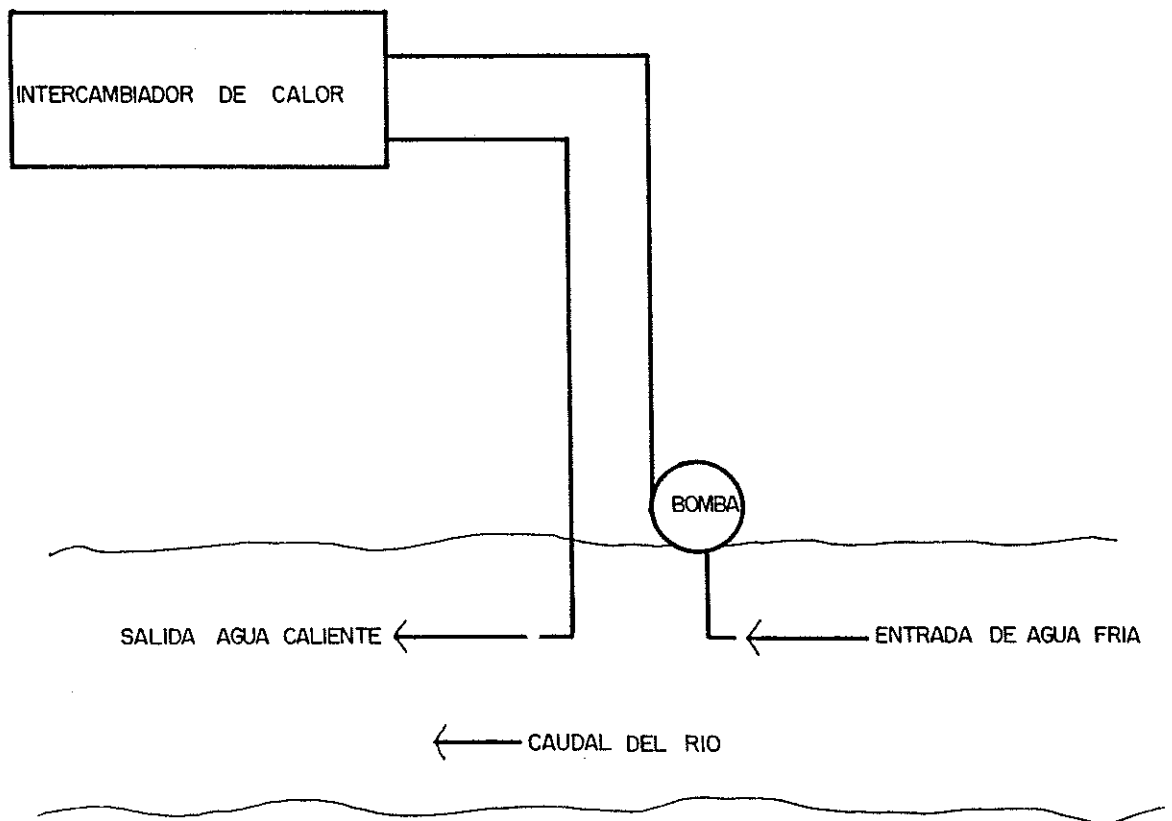
- suministro local o municipal,
- ríos o nacimientos,
- pozos,
- lagos o estanques, naturales o artificiales,
- áreas de recolección de aguas pluviales,
- efluentes de las plantas de tratamiento del agua de desecho.

Algunas de estas fuentes son de agua cruda o agua de baja calidad; que, para utilizarla debe dársele, primero, un tratamiento químico previo. Dependiendo de la utilidad que se le va a dar, el tratamiento debe ser más severo en algunas fuentes que en otras.

1.3 SISTEMAS ABIERTOS DE ENFRIAMIENTO

A estos sistemas de enfriamiento se les conoce, también, como sistemas de un solo paso, ya que, utilizan el agua de enfriamiento en los intercambiadores de calor solo una vez y, luego, es desechada ya caliente al río, al lago, al servicio de drenaje municipal, etc. Lo anterior no es conveniente ya que produce una contaminación térmica al lugar en donde es desechada (ríos, mar, lagos, etc.) además afecta la economía del proceso este líquido caliente puede ser aprovechado para utilizarlo en otro proceso de

la planta. La figura 1.3 muestra un sistema abierto de enfriamiento.



SISTEMA ABIERTO DE ENFRIAMIENTO
FIGURA 1.3

1.4 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO EN CICLO CERRADO

Este sistema es el alternativo al sistema abierto, en éste, el agua caliente no es desechada en un solo paso como en el sistema anterior, por varias razones: por ser muy costosa, escasa, prohibido, etc. Además, con este sistema se protege a los intercambiadores de calor de incrustaciones y óxidos, causada por agua sucia o cruda. Este sistema de enfriamiento puede hacerse por medio de estanques de aspersion, torres de enfriamiento y condensadores evaporativos.

1.4.1 ESTANQUES DE ASPERSION

Un estanque de aspersion consiste en un cierto número de boquillas aspersoras encima de un estanque recolector de agua. Funciona de la siguiente manera: se hace pasar agua a presión por las boquillas que la dispersan en el aire en forma atomizada; la aspersion pone en contacto directo las partículas de agua con el aire, la evaporación y el enfriamiento es rápido. Las boquillas o los aspersores son de un tipo especial que no se obstruye; pueden funcionar entre 3 y 15 lb/plg², pero, generalmente, trabajan a 6 lb/plg². La separación entre los aspersores en los tubos es de 8 a 15 pies y la de los tubos es de 15 a 20 pies. Como el agua debe estar en contacto directo con el aire, la colocación de las boquillas debe ser, de tal manera, que deje caminos o espacios libres para una fácil circulación del aire. Cuando se utiliza un estanque de aspersion para enfriar el agua de condensación de una planta de vapor, la energía utilizada para bombear el agua es del 1 al 2 % de la potencia total de la planta generadora. Para lograr un mejor enfriamiento se puede hacer de dos formas:

- a. usar un sistema de aspersion mixta en el cual se agrega agua que ya esté enfriada al agua caliente en proporciones definidas de aspersar.
- b. con nueva aspersion independiente o, sea, una doble aspersion con un sistema separado de distribución, quiere decir que se recircula el agua del depósito a la parte superior de la torre para tener mejor enfriamiento.

Las desventajas de este método es que requiere de más boquillas, tubos largos, superficie de estanque y más energía de bombeo, también se da una pérdida considerable de agua por brizado ya que cuando el viento es fuerte, arrastra las partículas de agua fuera del estanque. La figura 1.4.1 ilustra un estanque de aspersion.

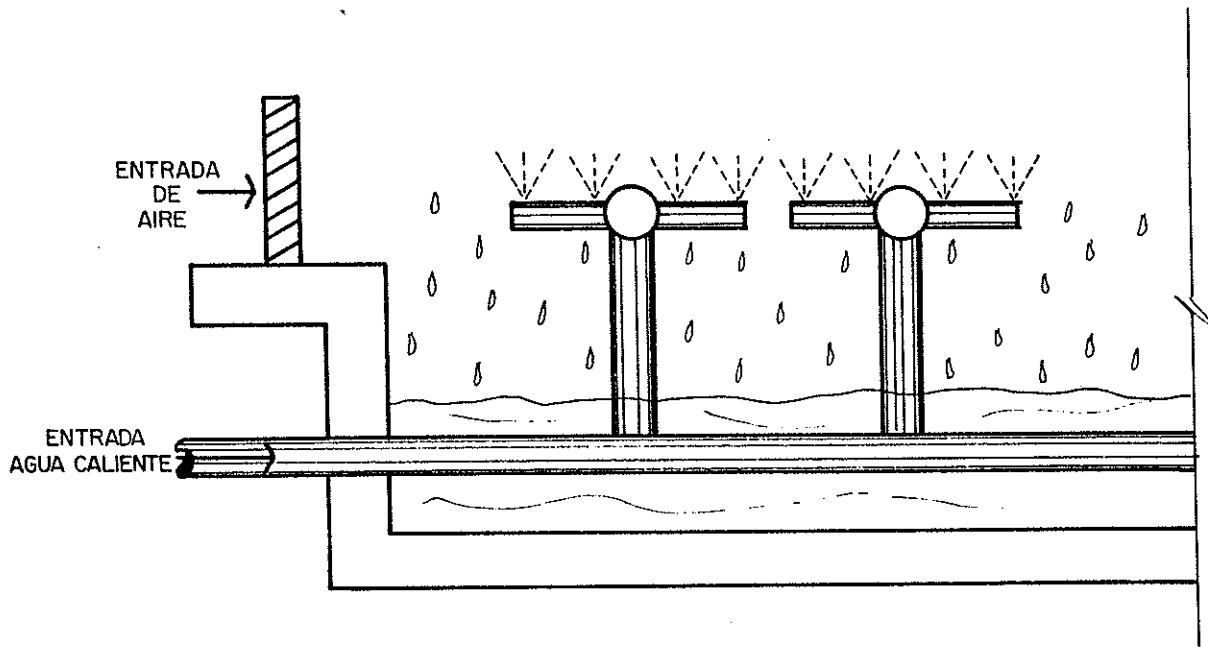
1.4.2 TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento se utilizan en lugares donde hay limitaciones en la cantidad de agua ya que remueven el calor con una pérdida pequeña, en comparación con el estanque de aspersion.

La torre de enfriamiento es una estructura con venteos que tiene una cubierta o envolvente que aloja una serie de obstrucciones o empaquetado. El agua que se va a enfriar se bombea hacia un sistema de distribución que se encuentra en la parte superior de la torre de donde cae en láminas delgadas hacia el empaquetado; este empaquetado está colocado, de tal forma, que las gotas al ir bajando exponen diferentes superficies al aire que circula dentro de la torre. El agua enfriada es recolectada en un depósito que se encuentra en la parte inferior de la estructura. A menudo se prefiere la torre de enfriamiento al estanque de aspersion; la razón es que da mayor efecto de enfriamiento por unidad de superficie ocupada; además, tiene mayor rango de enfriamiento, debido a que permanece mayor tiempo en contacto el agua atomizada con el aire, también tiene la ventaja de una fácil inspección y reparación. Las diferencias principales en las torres de enfriamiento estan en la forma de la cubierta y en los métodos para producir el tiro. Las clasificaciones usuales son:

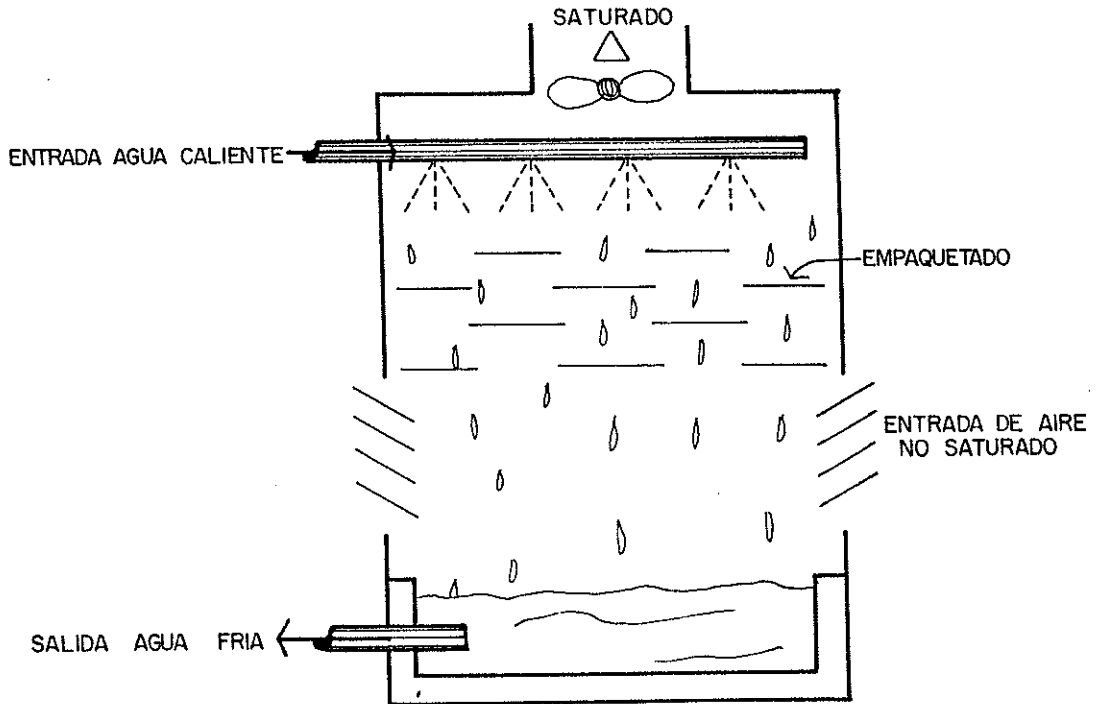
- torres atmosféricas,
- " con tiro de chimenea,
- " de tiro mecánico,
- " de tiro mecánico y natural combinados.

La figura 1.4.2 ilustra una torre mecánica de tiro inducido.



ESTANQUE DE ASPERSION

FIGURA 1.4.1
SALIDA DE AIRE



TORRE DE ENFRIAMIENTO

FIGURA 1.4.2

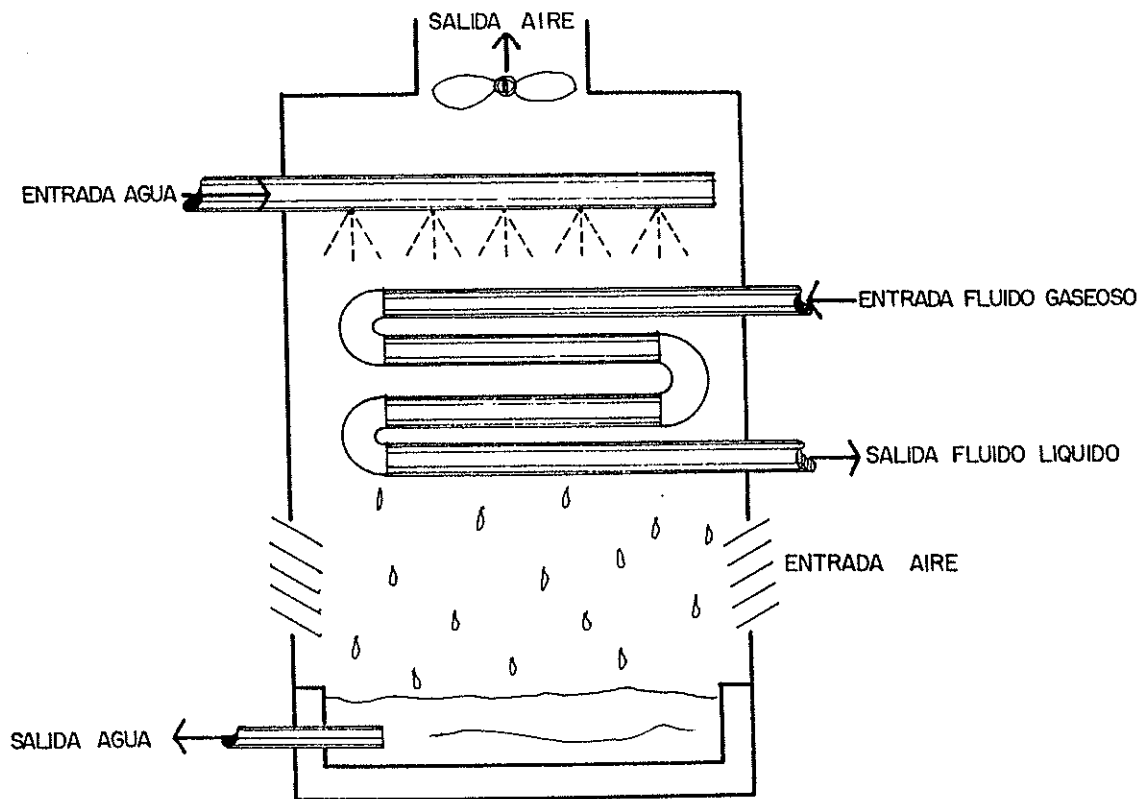
1.4.3 CONDENSADORES EVAPORATIVOS

Se puede decir que un condensador evaporativo combina las funciones de una torre de enfriamiento y un condensador. Consta de una carcasa que encierra un ventilador o una sección sopladora, eliminadores de agua, serpentín de evaporación del refrigerante, batea del agua, válvula de flotador y bomba de rociado, fuera de la carcasa. Básicamente, su funcionamiento es de la siguiente manera: la bomba de rociado hace circular el agua de la batea colectora que está en la parte inferior de la unidad y la envía a las toberas que se encuentran en la parte superior sobre el serpentín del refrigerante. Los ventiladores hacen pasar aire a través del serpentín y del agua que se está rociando sobre dicho serpentín. El calor del refrigerante es transmitido a través del serpentín metálico al agua que pasa sobre éste. El aire remueve el calor del agua por medio de una evaporación de una porción de ésta, los eliminadores evitan que las gotas de agua sean sacadas del condensador por el aire. Se puede decir que un condensador evaporativo es un intercambiador de calor entre dos líquidos y un gas cuyo objetivo es mantener una temperatura de los dos líquidos sin importar la del gas. La capacidad de un condensador evaporativo depende de la cantidad de superficie del serpentín, de la cantidad de aire que fluye sobre el serpentín y de la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra en la unidad. El calor total que debe ser disipado depende de la temperatura de bulbo húmedo. Representa la suma de calor sensible y del calor latente en el aire a determinada temperatura de bulbo húmedo, si se calcula ésta en el aire y también la que deja el condensador se puede determinar el contenido de calor en estos dos puntos. Mientras más baja sea la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra, mayor será la capacidad del condensador. La figura 1.4.3 muestra un condensador evaporativo.

1.5 UTILIZACION

Estos diferentes tipos de enfriamiento pueden ser utilizados

en diferentes aplicaciones. En el caso de los estanques de aspersión pueden ser utilizados en lugares donde el brizado no es molesto ya que la corriente de aire arrastra pequeñas gotas de agua fuera del estanque; también en lugares donde no hay problema de espacio ya que ocupan una considerable porción de terreno y donde las pérdidas no son muy importantes ya que, de los tres últimos, ésta es la que ocasiona mayor pérdida de agua. Las torres de enfriamiento se utilizan en lugares en los que el espacio es restringido, donde el agua es escasa, donde el exceso de brizado es molesto y en lugares donde no hay un flujo de aire constante. Por último, en el caso de los condensadores evaporativos, se utilizan en donde hay procesos en los que se necesita enfriar algún tipo de refrigerante, el enfriamiento de éste se da por medio de un contacto indirecto.



CONDENSADOR EVAPORATIVO

FIGURA 1.4.3

CAPITULO 2

TORRES DE ENFRIAMIENTO

2.1 CONDICIONES DE DISEÑO

Los parámetros que deben tomarse en cuenta para el diseño de una torre de enfriamiento son:

- a) temperatura de agua caliente (°F)
- b) temperatura de agua fría (°F)
- c) cantidad de agua a enfriar (GPM)
- d) temperatura de bulbo húmedo (°F)

Los datos anteriores son los que condicionan la capacidad térmica o de enfriamiento de una torre. El agua caliente es aquella que sale del equipo (intercambiadores de calor) luego de haber hecho su trabajo y es dirigida hacia la torre para su enfriamiento. El agua fría es aquel líquido que viene de la torre y que necesita el equipo para tener una eficiente transferencia de calor entre el medio caliente y el agua fría que está pasando por los intercambiadores. Otro de los factores es la cantidad de agua que debe pasar por estos equipos. Esta es la misma cantidad de agua que debe enfriar la torre aunque cada vez debe agregársele una cantidad adicional por las pérdidas que se producen por evaporación, purga, fugas, transferencia de calor del agua al aire, etc. Algunos de estos datos o información que se mencionaron antes son, generalmente, obtenidos en los catálogos o especificaciones de los equipos que requieren de este tipo de enfriamiento.

El siguiente dato que debe tomarse en cuenta es la temperatura de bulbo húmedo de diseño; para la selección de ésta debe tenerse especial cuidado ya que depende de las condiciones de operación

del equipo, condiciones climatológicas del lugar donde va a operar la torre de enfriamiento. Al seleccionar ésta debe hacerse un análisis de cómo varía respecto de las estaciones climatológicas del año ya que, de ello, depende que se realice el enfriamiento deseado. De este dato depende una de las dimensiones de la torre, ya que, de no seleccionarla bien puede tenerse una torre demasiado pequeña o demasiado grande repercutiendo en el enfriamiento o en la economía del diseño, respectivamente.

2.2 TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento se clasifican por la forma en que su alojamiento o empaquetado está arreglado y por su método de producir el tiro.

2.2.1 TORRES DE TIRO NATURAL

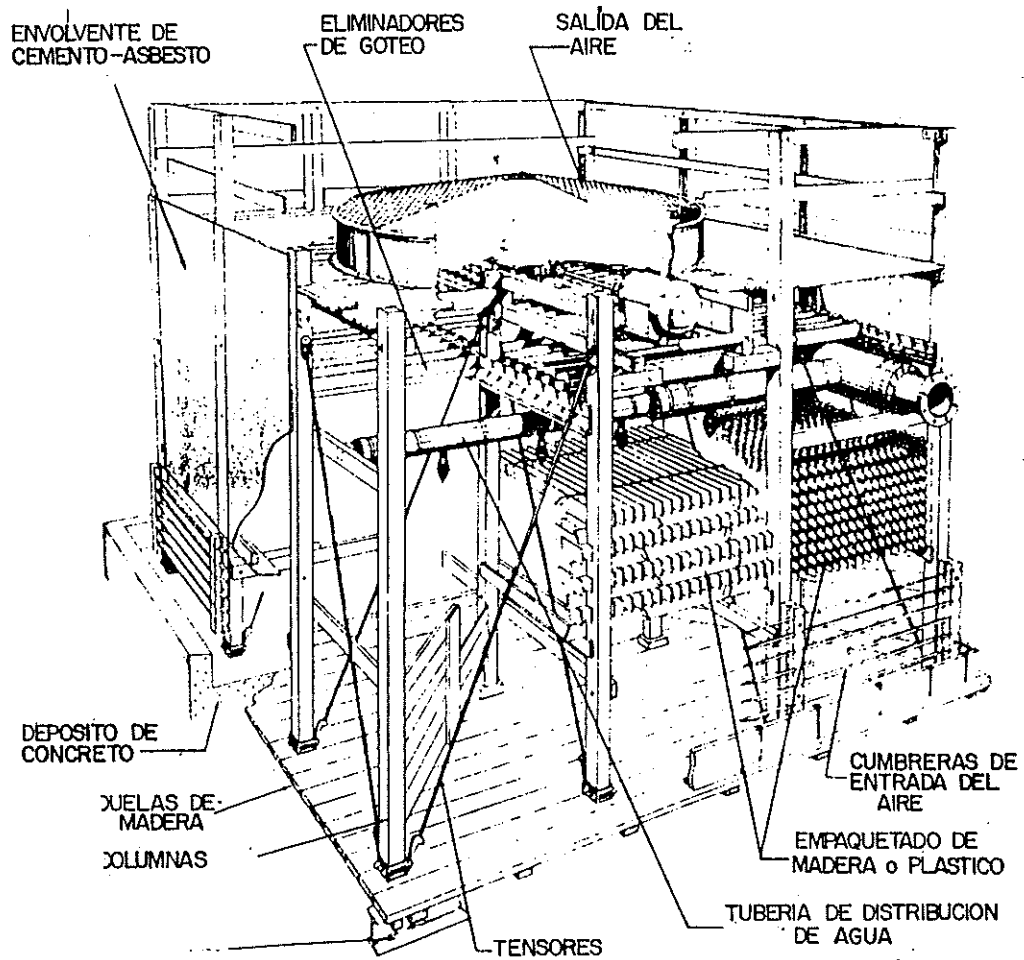
Este tipo de torres se caracteriza porque la entrada del aire en su interior se realiza de manera natural o, sea, sin la ayuda de un ventilador. Esta torre debe estar orientada de tal forma, que la corriente de aire debe tener una dirección perpendicular a las persianas de entrada; además, se requiere de una corriente de aire lo más constante para que se produzca el enfriamiento deseado.

2.2.1.1 TORRES DE TIRO ATMOSFERICO

Estas torres son de tiro natural, pero, además, se subdividen en torres llenas de rocío (caída libre) y en torres con empaquetadura, este tipo de torres se utilizan donde las necesidades de enfriamiento no llegan a las 30,000 Btu/min.

Normalmente, tienen una altura que varía de 6 a 15 pies, en ambos casos, se pueden utilizar aspersores para rociar el agua dentro de la torre. En la primera, el agua cae en caída libre desde las toberas hasta el tanque recolector que se encuentra en la parte inferior de la torre, en su caída el agua atraviesa el flujo de aire que pasa a través de la torre. En el segundo caso, en la parte interior de la torre está colocado el empaquetado, de tal

forma, que al salir el agua de los aspersores cae sobre el empaquetado, teniendo así el agua, un mayor tiempo de contacto con el aire, produciendo el enfriamiento deseado. La figura 2.2.1.1 muestra una torre de este tipo.



TORRE DE TIRO ATMOSFERICO

FIGURA 2.2.1.1

2.2.2 TORRES DE TIRO MECANICO *

Se conocen así estas torres porque la entrada de aire a través de ellas se realiza por medios mecánicos y no de una manera natural como las del tipo anterior. El medio que se utiliza para hacer entrar el aire al interior de la torre es un ventilador accionado por medio de un motor eléctrico. Estas torres no requieren de un lugar donde haya corrientes de aire ya que el ventilador es el encargado de forzar un flujo de aire constante al interior de la torre y, así, producir el enfriamiento deseado. Este tipo de torre, normalmente, tiene una altura de bombeo que varía de 11 a 26 pies y trabaja con una velocidad de flujo que fluctúa entre 300 y 700 pies/min. Estas torres son más eficientes que las atmosféricas ya que requieren de menos espacio y de una menor cantidad de tubería. Existen formas de aumentar la eficiencia de una torre de enfriamiento:

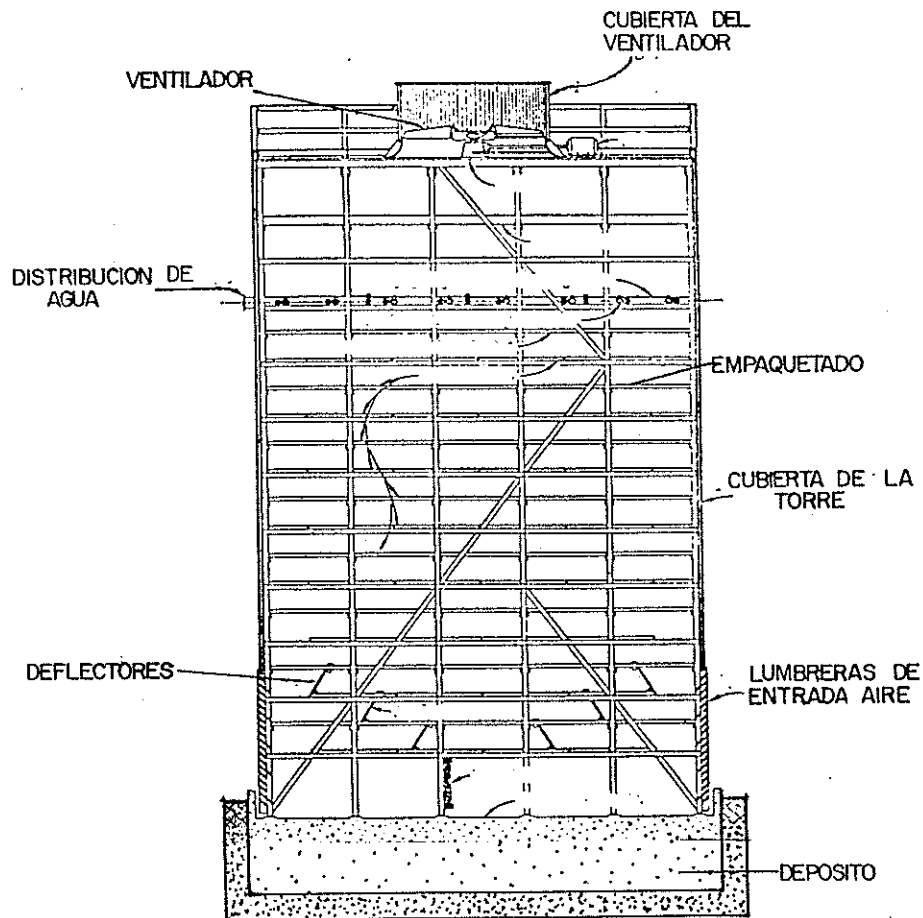
- aumentando el empaquetado,
- " la altura de la torre,
- " el área de contacto,
- " el tiempo de contacto entre el agua y el aire,
- disminuyéndole velocidad al ventilador.

A las torres de tiro mecánico se les conoce, también, como torres de contraflujo porque los flujos van en sentidos opuestos. Subdivisión de éstas.

2.2.2.1 TORRES DE TIRO INDUCIDO *

Estas subdivisiones se hacen por la forma en que están colocados los ventiladores en la torre, en este caso el ventilador se encuentra localizado en la parte superior y central de cada celda de la torre. El flujo de aire entra por los costados, succionado por el ventilador y es guiado, verticalmente, hacia arriba por el mismo efecto de la succión, pasando por el entramado o relleno. Una torre de enfriamiento puede tener varias celdas y éstas a su v

vez pueden funcionar, independientemente, ya que tienen su propio ventilador, entramado, sistema de distribución de agua caliente, depósito de agua fría, etc. Los ventiladores para este tipo de torre pueden llegar a medir hasta 60 pies de diámetro. La figura 2.2.2.1 muestra una torre de este tipo.



TORRE DE TIRO INDUCIDO

FIGURA 2.2.2.1

2.2.2.2 TORRES DE TIRO FORZADO

En ésta, a diferencia de la anterior, el ventilador se encuentra localizado en la parte inferior de la torre, en tal caso, el aire entra y es forzado a subir por medio del ventilador ya que no tiene persianas de entrada de aire, está provista como los otros de eliminadores de arrastre que evitan que pequeñas gotas de agua salgan de la torre por el efecto de la corriente de aire reduciendo en una cantidad considerable las pérdidas.

Algunas de las desventajas de las torres de este tipo son los costos altos de mantenimiento y depreciación de los ventiladores, muchas veces se necesita de más motores, arrancadores y en lo que respecta al alambrado, éstos utilizan una mayor cantidad que lo que utiliza una torre de tiro inducido del mismo tamaño, debido a que los ventiladores de este tipo de torre no pueden ser tan grandes. Además, tienen una reducción de un 20 % de su capacidad por el efecto de la recirculación del aire caliente a la entrada del ventilador. Las ventajas de estas torres es que son ideales para procesos donde se utilizan aguas corrosivas, tienen un aspecto más atractivo y son más adaptables a las exigencias arquitectónicas. La figura 2.2.2.2 ilustra una torre de este tipo.

2.2.2.3 TORRES DE DOBLE FLUJO

A estas torres se les conoce, también, como torres de flujo cruzado ya que es una combinación de tiro inducido sólo que con dos cámaras. Aquí, el flujo de aire entra horizontalmente en cada una de las cámaras y es succionado por un ventilador que está centrado en la parte superior de la torre, estas torres también están provistas de eliminadores de arrastre para dirigir el aire hacia la parte superior donde se encuentra el ventilador, además, estos eliminadores evitan que se arrastren pequeñas gotas de agua devolviéndolas al depósito. Las cargas de bombeo, generalmente, están entre 3.3 y 8 mts. algunas de las ventajas de este tipo de torre son: diseño compacto, mejor construcción, su bajo costo, de mayor capacidad, de operación más flexible y de un mejor

rendimiento. Un diseño de este tipo de torre es el que se muestra en la figura 2.2.2.3

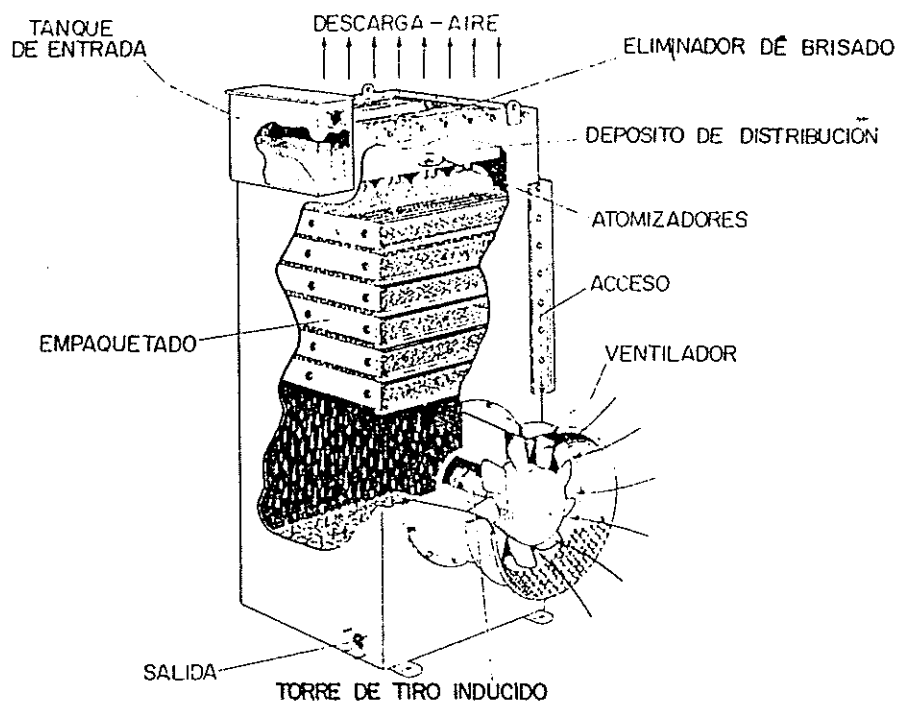


FIGURA 2.2.2.2

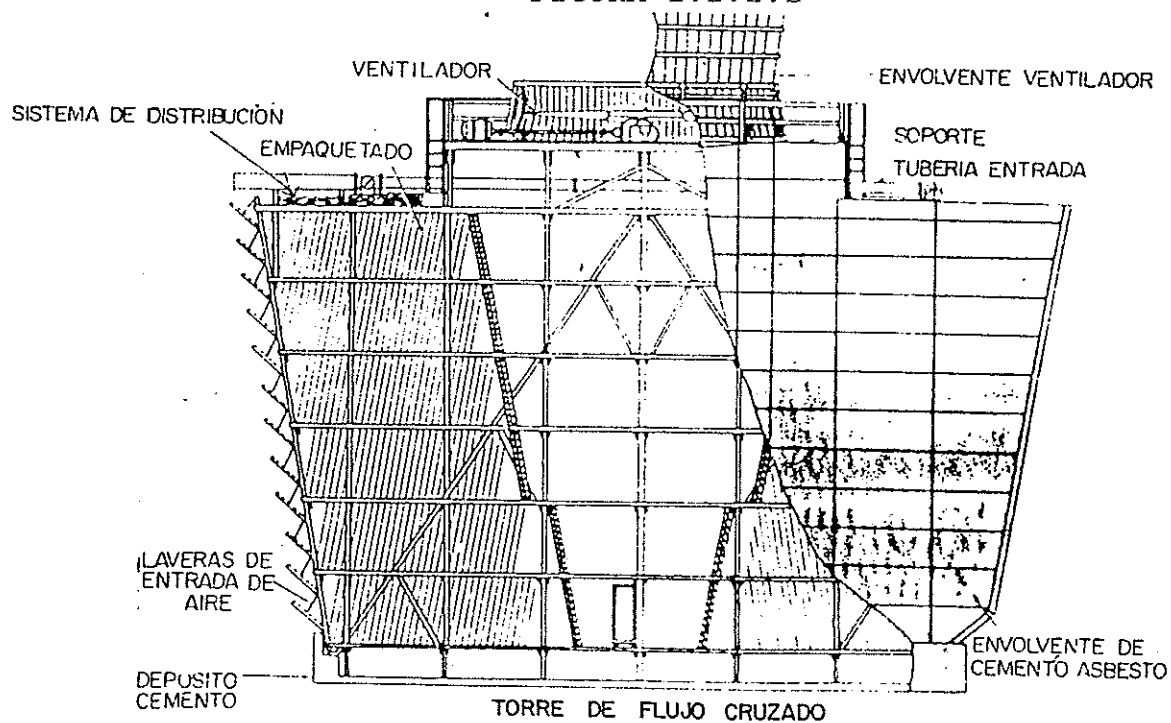


FIGURA 2.2.2.3

2.3 MATERIALES DE CONSTRUCCION

Para la construcción de una torre de enfriamiento debe tomarse en cuenta el material con el que se va a realizar ya que debe procurarse un balance entre durabilidad y costo. Excluyendo el equipo mecánico, la principal selección debe ser para la empaquetadura (relleno o entramado) y la envolvente de la torre. Los materiales, regularmente usados para la empaquetadura y la envolvente son:

2.3.1 MADERA

Antiguamente, el material que se seleccionaba y que predominaba en la construcción de torres de enfriamiento era la madera porque, además de su relativo bajo costo, es resistente. Se comprueba que las maderas más comerciales para dichas construcciones son: maderas suaves, éstas pueden ser de variedad conífera y cuando se usan maderas duras, deben ser de hoja ancha. Las maderas más usadas para torres en los países Europeos son : madera roja, cedro rojo del Oeste, abeto, roble.

Casi todo lo que se ofrece, comercialmente, está basado en la madera de abeto que se conoce comúnmente como pino, todas las maderas por ser de materia orgánica están expuestas a descomponerse, aunque algunas son de naturaleza más resistente que otras. El abeto, por ejemplo, es una buena madera estructural, pero, puede pudrirse, aunque puede hacerse bastante resistente con la aplicación de un buen preservativo. La madera puede deteriorarse, principalmente, por dos formas de ataque

- a) degradación alcalina;
- b) hongos y bacterias.

Agua alcalina con un valor de Ph cerca de 7.5 a 8 reduce el contenido de adherencia de las fibras de la madera, provocando un serio debilitamiento en la resistencia mecánica de la misma. Por

eso, debe tenerse cuidado en el tratamiento del agua de enfriamiento de las torres ya que la degradación alcalina puede aparecer pronto.

Por las investigaciones hechas se determinó un deterioro general en servicio y una pudrición suave o, sea, un ataque de hongos. Muestran, además, una penetración de cerca de 0.01 pulgadas por año. El hongo que destruye la madera y otras plantas requiere de aire y humedad para su desarrollo y puede crecer rápido, tanto en condiciones calientes como frías. Las principales ventajas de la madera para torres de enfriamiento son:

- la durabilidad,
- el bajo y conveniente costo inicial,
- la flexibilidad para la fabricación,
- la maquinabilidad.

A menudo, cuando se analizan los posibles problemas con la madera u otros materiales, causan cierto desaliento, pero, hay innumerables torres en las incontables instalaciones existentes cuya vida se aproxima a los 30 años de duración.

En lo que se refiere al tratamiento de la madera, los preservativos disponibles aumentan considerablemente o incrementan efectivamente la vida del material. Estos preservativos pueden ser: ácido cromato de cobre, ácido arsénico de amoníaco, creosata y modernos métodos de aplicación de preservativos por presión líquida. Para torres destinadas a lugares tropicales se requiere impregnación alta que es lo normal. Muchas torres son tratadas con una solución de cobre, pero, la madera tratada que se sumerge completamente en creosata por espacio de 6 horas muestra una remarcada penetración y duración.

2.3.2 METALES

Este material es, frecuentemente, usado en la manufactura de las partes constitutivas de una torre de enfriamiento,

particularmente, cuando la torre es del tipo de empaquetado pequeño. El acero dulce es muy usado en la envolvente de la torre y gran variedad de metales son usados para el empaquetado. Los metales son muy populares en el empaquetado debido a que pueden construirse con láminas con gran superficie, esta proposición puede prevalecer y esto es debido a lo fácil que pueden formarse figuras y estilos especiales. Siempre que se utilice espesores adecuados, las figuras formadas son económicamente razonables. Los materiales más usados son: acero dulce, aluminio y acero inoxidable. Ocasionalmente, uno puede ir a través de uno u otro diseño usando un empaquetado manufacturado de cobre o latón, esto es normalmente de origen Europeo.

2.3.3 PLASTICOS

Los plásticos tiene gran resistencia, por lo que, son muy utilizados en trabajos de este tipo de aplicación a causa de su natural resistencia a operar bajo condiciones atmosféricas severas. Los plásticos comúnmente utilizados en la envolvente y en la empaquetadura son varios de los cuales se pueden mencionar:

- poliestireno,
- polipropileno,
- polietileno de alta densidad,
- pvc reforzado con fibra de vidrio.

Todo este material es adecuado para refrigeración normal, para propósitos de aire acondicionado y para muchas otras plantas de procesos. Por ejemplo, en lugares donde hay contaminación del agua con el aceite debería usarse un material semejante al p.v.c. o al polipropileno. Algunas de las ventajas y desventajas son ilustradas en la tabla que se verá adelante.

Refuerzos de fibra de vidrio son, generalmente, usados para la envolvente de la torre y éstos son fabricados en pequeños espesores que van de 1/8 a 3/16 pulgadas, dependiendo del tamaño

de la torre. Tomando en cuenta el espesor requerido sobre la envolvente de la torre, generalmente, es construida con dos o tres capas de fibra de vidrio y resina sobre su superficie.

Ventajas de los Plásticos.	Desventajas de los Plásticos.	Temperatura de operación.
El viento es inerte en rangos de condiciones de operación.	No se humedecen fácilmente.	P.V.C. 115 °F
Algunos plásticos semejantes al pvc tienen bajo riesgo de incendiarse como la madera seca.	Algunos plásticos no deben estar en contacto con aceite o aceite en soluciones.	Poliestireno 115 °F
No son un soporte natural de las algas.	Algunos son riesgosos con el fuego como el poliestireno.	Polipropileno 115 °F
		Poliestireno de alta densidad 115 ° F

2.3.4 CEMENTOS DE ASBESTOS

Los asbestos utilizados, comercialmente, forman una variedad de fibras minerales que pueden ser muy distintas en su composición, resistencia y utilidad. Existen tres principales grupos pero el más interesante es el Chrysolite o variedad de asbestos blancos. Los asbestos estan, usualmente, contruidos por capas rocosas y en un estado fibroso, que, actualmente, comprende cristales que varían en 1/8 de pulgada en varias pulgadas de longitud. El cemento de asbesto es una mezcla de cemento portland con fibras de asbesto.

Para una máxima efectividad en los espaciamientos, en la colocación y en la mezcla de las fibras se dependerá mucho de un

buen refuerzo. La ventaja de usar asbesto en las torres de enfriamiento es la economía que se obtiene al tener una mayor resistencia a la corrosión, putrefacción, fuego, lixiviación y erosión. El acabado de casi un 95 % de las torres de enfriamiento que son hechas en los Estados Unidos están construidas de cemento de asbesto aunque en la actualidad ya no se utilizan.

2.4 COMPONENTES \times

Las partes constitutivas más importantes de una torre de enfriamiento son:

2.4.1 EMPAQUETADO \angle

A esta parte de la torre también se le conoce como entramado o relleno y el propósito principal de esta parte de la torre es crear una obstrucción al paso del agua al ir cayendo de la parte superior de la torre; esto se hace con el objeto de incrementar el tiempo de contacto que hay entre el agua caliente que cae de los aspersores y el aire que circula dentro de la torre. Además, se utiliza también para dividir las gotas de agua, ya que al caer éstas sobre el empaquetado se hacen más pequeñas favoreciendo el enfriamiento requerido. Existen varios tipos de empaquetado, de los cuales se mencionaran los siguientes:

2.4.1.1 EMPAQUETADO TIPO PARRILLA $+$

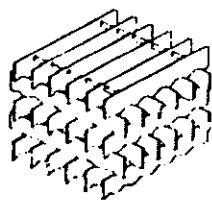
El empaquetado usual es una parrilla de madera de 3/8 por 2 pulgadas de profundidad, corrugado en la parte inferior, aunque también las parrillas de plástico son muy utilizadas comercialmente. La desventaja de este tipo de empaquetado es el gran volumen utilizado para una determinada área, aunque la presión de goteo y la potencia del motor son bajas, comparados con otros empaquetados. La figura 2.4.1.1 muestra este tipo de empaquetado

2.4.1.2 EMPAQUETADO TIPO ROCIO Y ESPARCIDO \circ

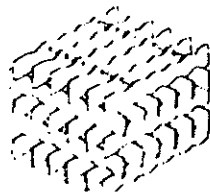
Este tipo de empaquetado depende en gran medida del principio

de rompimiento o división del agua que cae en un mayor número de gotas y, de ese modo, crear un área de contacto diferente. El empaquetado tipo esparcido es usualmente de madera, de una sección transversal fuerte. Se han hecho investigaciones para determinar el funcionamiento de la construcción de un empaquetado con un volumen de madera determinado, este empaquetado tiene un alto funcionamiento para una gran presión de goteo.

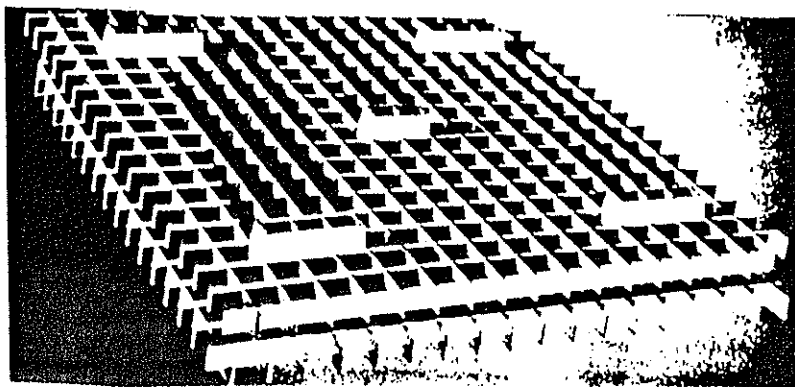
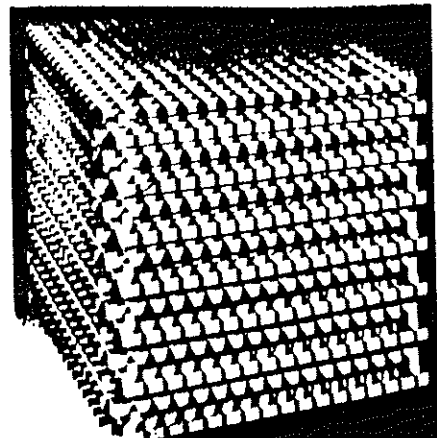
Si no se tiene un buen diseño y una correcta operación en la velocidad del líquido, los empaquetados tipo rociado o tipo esparcido deben ser enteramente fuertes, pero, a causa del alto servicio para determinados volúmenes, este tipo de empaquetado puede ser solamente apropiado para algunas instalaciones. La figura 2.4.1.2 ilustra el empaquetado de este tipo.



Grid by Norman

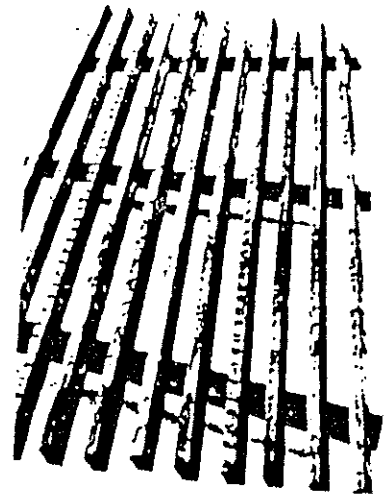
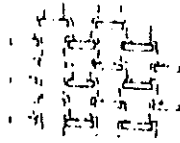
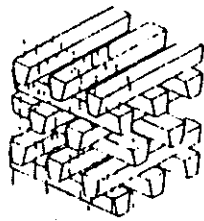


Grid by Mullin

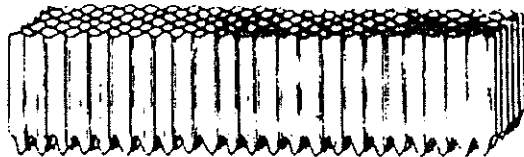


EMPAQUETADO TIPO PARILLA

FIGURA 2.4.1.1

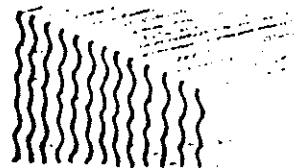
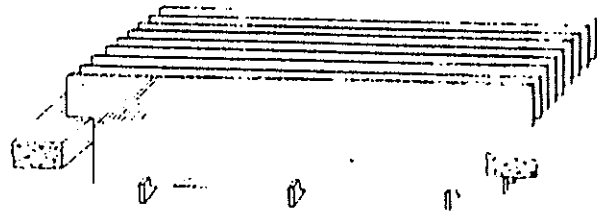


EMPAQUETADO TIPO ROCIO Y ESPARCIDO
 FIGURA 2.4.1.2



EMPAQUETADO TIPO
 CELULAR

EMPAQUETADO DE
 ASBESTO



EMPAQUETADO TIPO
 LAMINAR

OTROS TIPOS DE EMPAQUETADOS

2.4.2 SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA

Al diseño de la distribución de agua debe dársele una considerable importancia, debe diseñarse de tal forma que la concentración de agua sobre el área de la torre sea la correcta. Los requerimientos para los sistemas de distribución de agua son los siguientes:

- a. este sistema deberá distribuir el agua, uniformemente, sobre la superficie del empaquetado,
- b. el sistema deberá ser autoajutable, al menos deberá ser capaz de ajustarse, manualmente, para evitar que llegue a rebalsarse por las diferentes velocidades del flujo,
- c. el sistema será capaz de operar sin ningún mantenimiento, aún después de vencido su período de servicio para su mantenimiento.

Los sistemas de distribución de agua se dividen en dos grupos:

- tipo pulverizado o atomizado,
- tipo tanque o depósito.

2.4.2.1 DISTRIBUCION TIPO ATOMIZADO

Este tipo de distribución se usa de manera predominante en los empaquetados tipo esparcido o rocío. La presión de la corriente de agua, prácticamente, varía de 5 a 15 lb/plg² y para un mejor propósito es usado un sistema de espaciado bajo con su autodrenado, aunque por la baja presión del sistema, los tubos rociadores (éstos pueden tener orificios en la parte superior de los mismos) necesitan la ayuda de eyectores en la salida, se hace para una efectiva distribución del agua. Generalmente, en la práctica, los aspersores son de un diámetro de 5/16 a 3/8 de pulgada para prevenir obstrucciones, estos aspersores son, usualmente, de un diseño centrífugo, también pueden ser utilizados en el tipo de distribución de aspersado o salpicadura (splash).

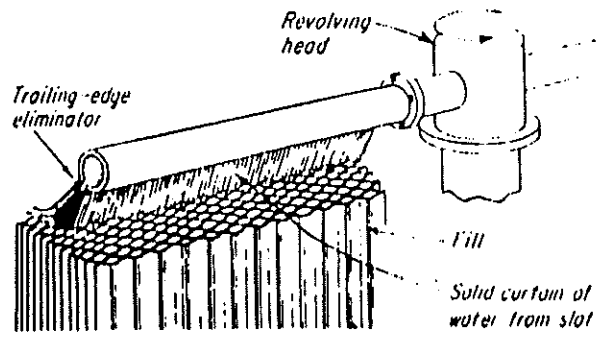
Las cargas de agua en el campo son rangos que van de 2.5 a 5 GPM/por cada 1.5 pies² , aunque puede variar con la altura de diseño.

2.4.2.2 DISTRIBUCION TIPO DEPOSITO

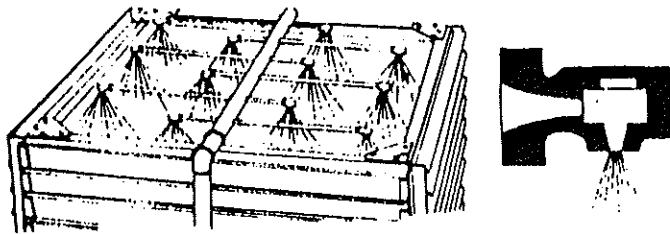
La ventaja de la distribución tipo canal o depósito es la baja presión requerida y con la cubierta abierta, el sistema puede operar continua y uniformemente bajo condiciones de intemperie, aunque una de sus desventajas es el cuidado que debe tenerse al usarse en un ambiente alto y la distribución no puede ser improvisada con los incrementos en la velocidad del flujo debido a que su gradiente de velocidad es para tipos pequeños de canal, aunque con un tipo de salpicadura, los incrementos en el flujo no pueden hacer mucha diferencia, la velocidad al final del canal no debe exceder más de 20 pies/min, para una pareja distribución de agua y es usual tener uno o dos canales intermedios para cuando el flujo es irregular y se agite fuera del primer canal. La figura 2.4.2 que se muestra nos ilustra varios tipos de distribución de agua.

2.4.3 ELIMINADORES DE BRIZADO

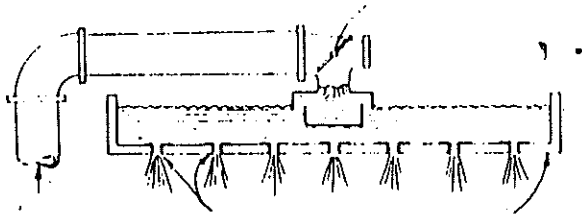
Los eliminadores son requeridos en algunos empaquetados de salpicado o esparcido para remover la humedad; es determinado por la profundidad del empaquetado; se encuentra localizado encima del sistema de distribución de agua; algunos empaquetados no requieren de eliminadores. Las aletas de los eliminadores pueden ser hechas de madera, metal, plásticos o asbestos, aunque la madera es el mejor material y además el más utilizado. Las gotas son removidas por el vapor de agua que asciende dentro de la torre, pero, al chocar contra estos deflectores caen nuevamente al depósito, este dispositivo puede ser hecho para trabajar más efectivamente, reduciendo el libre arrastre de las gotas de agua a una insignificante cantidad, dando una descarga de aire libre del molesto n



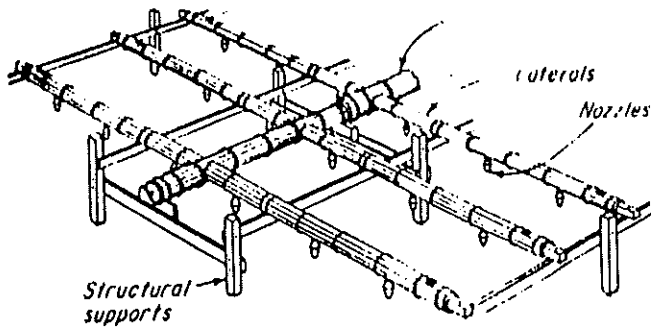
DISTRIBUCION TIPO
CABEZAL GIRATORIO



DISTRIBUCION TIPO
EYECTOR



DISTRIBUCION TIPO
DEPOSITO

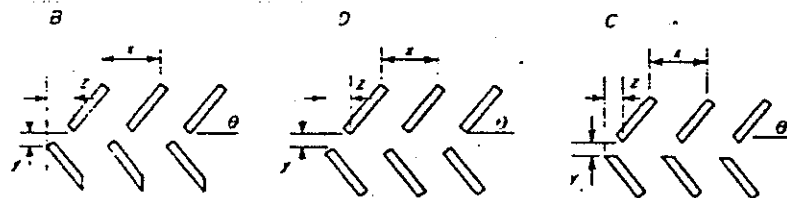


DISTRIBUCION POR
ASPERSION

FIGURA 2.4.2

efecto de lluvia. Muchas veces se puede establecer la presión de goteo en los eliminadores casi tanto como a través del empaquetado. La presión de goteo en los eliminadores es de 0.25 pulgadas, que no es poco común con aletas a 45°. Los eliminadores, generalmente, son hechos de 3 X 1/2 pulgada, de madera roja las aletas. La siguiente tabla muestra los tres diferentes tipos de eliminadores que hay :

TIPO	O	X	Y	Z
B	70°	2 1/4 in.	1/2 in.	1.0 in.
D	70°	2 1/4 in.	1/2 in.	1.0 in.
c	60°	2 1/4 in.	1/2 in.	3/4 in.



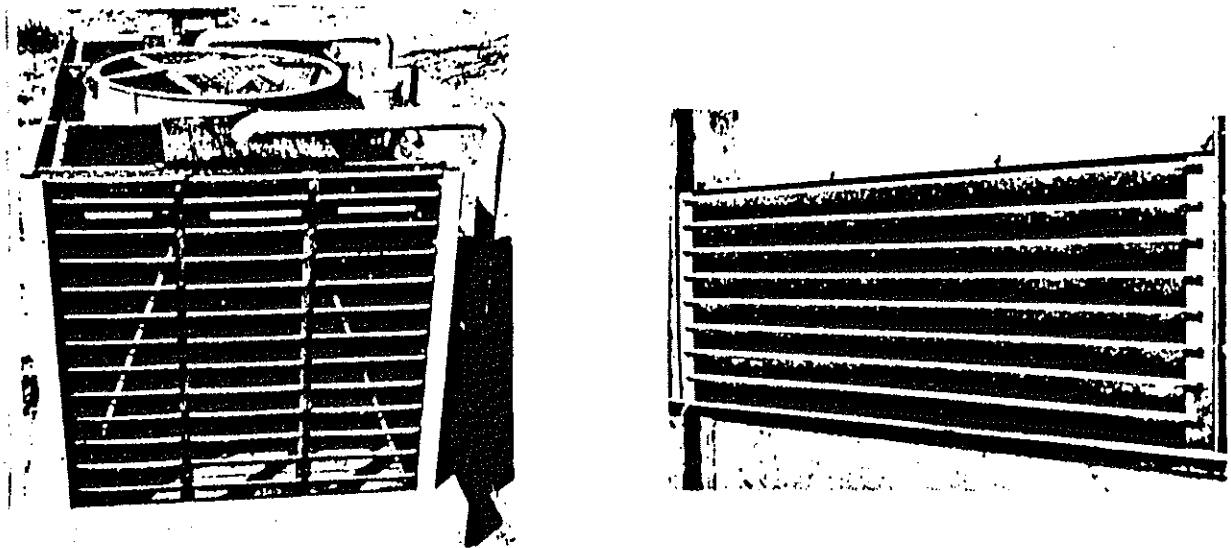
ELIMINADORES DE BRIZADO

FIGURA 2.4.3

2.4.4 PERSIANAS DE ENTRADA DEL AIRE

Estas persianas o lumbreras se utilizan por dos razones, primero, para dirigir el flujo de aire dentro del cuerpo de la torre y, así, prevenir el soplo del viento a través del agua, el cual provoca que dicha agua abandone la torre; la otra razón es para prevenir el regreso del rociado. Debido a que ocurren remolinos, las gotas pueden regresar y al ir a chocar contra las lumbreras se evita que dejen la torre, algunas veces, el viento puede causar una alta solidificación (hielo). Las grandes torres no son asociadas con procesos de refrigeración debido a lo descrito

anteriormente. Los postes de las lumbreras son, a menudo, inclinados hacia atrás para neutralizar esto, aunque en algunos empaquetados de plantas que se encuentran localizados en los campos no es demasiado problemático, cuando las temperaturas son más moderadas. La prevención del hielo se puede hacer por medio de un control sobre la velocidad del ventilador. Una sección de las lumbreras debe hacerse removible para dar un mejor acceso al tanque o depósito. La figura 2.4.4 muestra la lumbreira típica de una torre.



PERSIANAS DE ENTRADA DE AIRE

FIGURA 2.4.4

2.4.5 VENTILADORES

Los ventiladores de las torres de enfriamiento son, generalmente, requeridos para trabajos contra la presión estática entre 0.25 plg de Hg. y 2.5 plg de Hg.

Torres de flujo cruzado ----- cerca de 0.35 plg de Hg

Torres de empaquetado fino

(aplicaciones de aire acondicionado) ---- cerca de 0.60 plg de Hg

Torres de aspersion o de salpicadura -----cerca de 0.80 plg de Hg

Torres de empaquetado compacto-----cerca de 0.75 a 1.25
plg de Hg

Estos datos están basados en velocidades normales que van en rangos de 450 a 600 pies/min. Para aplicaciones de aire acondicionado cuando se requieren torres pequeñas, el máximo volumen de aire para un tipo de impulsor axial es del orden de 30,000 cfm (pies³/min.) que representa cerca de 60 pies² de la torre. Cuando el alto de la torre es restringida, el aire entra en un ángulo, inicialmente, alrededor de 30°, de aquí que el volumen de aire es severo para un ventilador axial simple. Para grandes torres, cuando la altura no es importante, los volúmenes de aire son, considerablemente, altos.

ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE

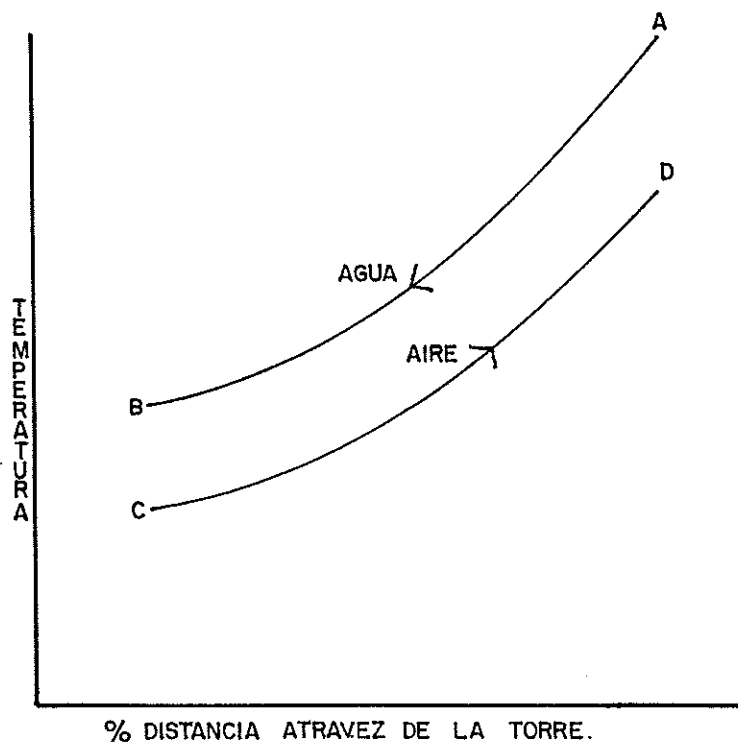
3.1 COMO SE PRODUCE EL ENFRIAMIENTO

Debido al contacto directo que tiene el agua caliente que entra a la torre con el aire circundante que pasa dentro de la misma, se produce el enfriamiento que se necesita. Este enfriamiento se realiza por medio de una transferencia tanto de calor como de masa, dicho de otra manera, tanto transferencia de calor latente como sensible, aunque la mayor transferencia que se da es la de calor latente o, sea, un enfriamiento por evaporación y el otro tipo de enfriamiento se da por la transferencia de calor sensible o, sea, propiamente por la diferencia de temperaturas aunque se da en un menor porcentaje. Se cree que, aproximadamente, el 80 % del enfriamiento se realiza por transferencia de calor latente (evaporación) y el restante 20 % por medio de calor sensible (diferencia de temperaturas).

La temperatura más baja a la que puede enfriarse el agua , es la temperatura de bulbo húmedo del aire, aunque esto es ideal ya que nunca se va a llevar una transferencia total de calor del agua al aire que pasa a través de la torre. Un parámetro que define esto, es el Acercamiento, que no es más que la diferencia que hay entre la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de agua fría. Este parámetro depende de varios factores muy importantes, por ejemplo :

- tiempo de contacto entre el agua y el aire,
- la cantidad de superficie de llenado,
- la separación del agua en gotas pequeñas.

En la práctica, las torres de enfriamiento, rara vez se diseñan para acercamientos menores de 2.8°C (5°F) la figura 3.1 muestra el comportamiento tanto del agua como del aire que circula en el interior de la torre.



Puntos A y B indican el enfriamiento del agua
 Puntos D y C indican el calentamiento del aire
 Acercamiento = $B - C$
 Intervalo = $A - B$

Figura 3.1

3.2 TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO: †

Esta temperatura es la base para el diseño de una torre de enfriamiento, es muy importante por que de ello depende el tamaño de la misma, ya que si escogemos una temperatura de bulbo húmedo alto entonces obtendremos una torre de un tamaño considerable, repercutiendo en la economía del diseño, por otro lado, si esco-

gemos una temperatura de bulbo húmedo demasiado baja, se obtendrá una torre relativamente pequeña, teniendo como consecuencia la no obtención del enfriamiento requerido.

Por eso es que debe realizarse un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y de la ubicación geográfica, esta temperatura de diseño, normalmente, está cerca de la temperatura de bulbo húmedo máxima promedio durante los meses de verano.

Generalmente, la temperaturas de bulbo húmedo, la de bulbo seco y la humedad relativa están relacionados entre sí, por medio de lo que se conce como carta psicométrica, ya que al conocer dos datos se puede obtener la tercera por medio de la carta; por ejemplo, si se conocieran las temperaturas de bulbo humedo y seco de un determinado lugar, se podría obtener la humedad que contiene el aire de ese lugar al relacionarla en la carta psicométrica. Estas dos temperaturas se obtienen por medio de dos termómetros, uno que detecta directamente la temperatura de bulbo seco y el otro que detecta la temperatura de bulbo húmedo, este termómetro tiene un paño mojado en la punta. Mientras mayor sea la humedad de un determinado lugar, entonces, las temperaturas tienden a igualarse o sea que mientras más seco es el aire que circula, mayor será la diferencia de temperaturas.

Para que una torre de enfriamiento funcione, eficientemente, es importante tener una temperatura de bulbo húmedo bajo, lo que indica que es un aire muy frío, humedad relativa baja o una combinación de las dos. Por esto es que es conveniente tener un aire frío y no un aire caliente. Como se mencionó, anteriormente, mientras más pequeña es la aproximación, entonces, más alta va a ser la torre que se obtendrá, por lo que se debe tener especial cuidado en la selección del mismo.

3.3 TEMPERATURA DE BULBO SECO *

La temperatura de bulbo seco es la temperatura que se lee con un termómetro ordinario, es la lectura que se obtiene sin ninguna limitación. Esta, al igual que la temperatura de bulbo húmedo es

necesaria para establecer el contenido de humedad que tiene determinado lugar. En este caso, es necesario establecer este contenido de humedad para tener un eficiente enfriamiento.

3.3.1 ANALISIS PSICROMETRICO:

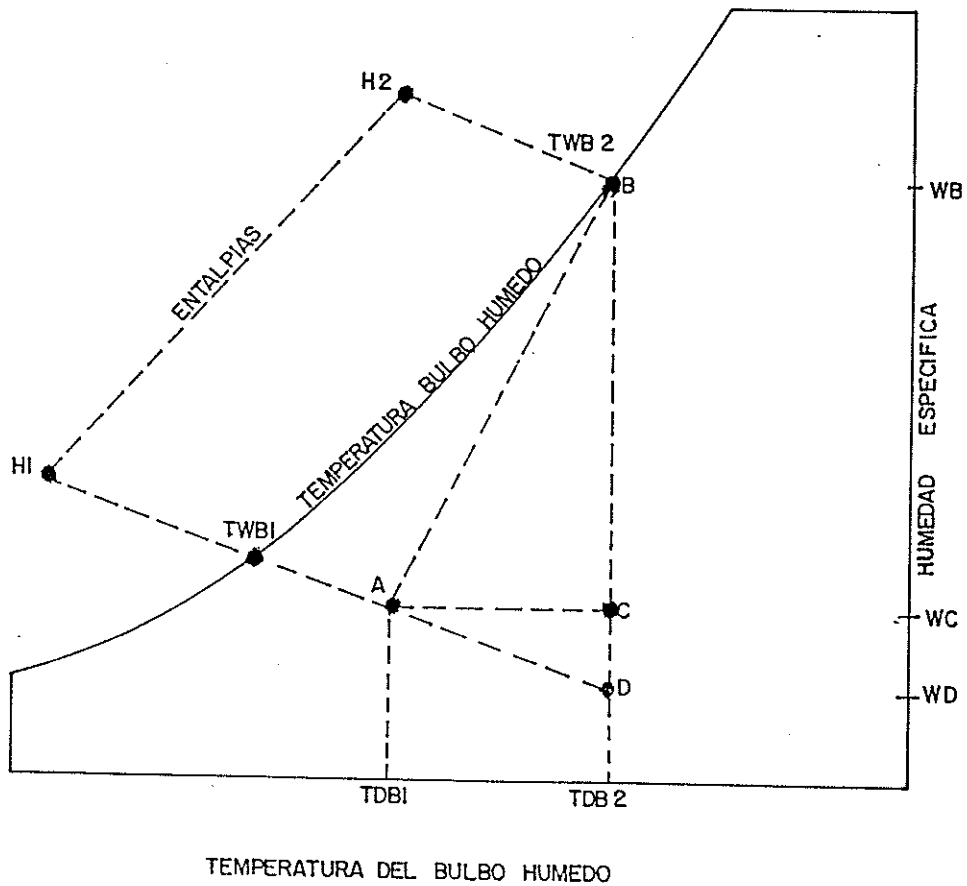
El análisis que se realiza en esta etapa es la determinación del comportamiento del aire que pasa a través de la torre, este efecto se ilustra en la figura 3.3.1; aquí el aire entra a las condiciones ambientales; punto A, absorbe calor y masa (humedad) del agua y sale en una condición saturada; punto B, (con cargas muy ligeras, la descarga del aire puede no ser saturada). La cantidad de calor transferida del agua al aire es proporcional a la diferencia de entalpías entre las condiciones de salida y entrada del aire ($h_B - h_A$) ya que las líneas de entalpia corresponden casi, exactamente, a las líneas de temperatura de bulbo húmedo, el cambio de entalpía del aire puede ser determinado solamente por el cambio de temperaturas de bulbo húmedo del aire.

El vector AB que se muestra en la figura, puede ser separada en componentes AC, que representa el calor sensible del aire (enfriamiento sensible del agua) y en componentes CB, que representa el calor latente del aire (enfriamiento latente del agua), si las condiciones de entrada del aire son cambiadas al punto D, a la misma temperatura de bulbo húmedo, pero, con una alta temperatura de bulbo seco, la transferencia total de calor permanece igual, pero, las componentes latentes y sensibles son diferentes. AB representa el enfriamiento sensible del agua por evaporación y también el calentamiento sensible y latente del aire. Así, para la misma carga de enfriamiento de agua, la cantidad de evaporación depende de la cantidad de calentamiento o enfriamiento del aire.

Las proporciones de calor latente y sensible son importantes de analizar en el agua de una torre de enfriamiento. La transferencia de masa (evaporación) ocurre en la porción latente del proceso de transferencia de calor y es proporcional al cambio en

humedad específica. A causa de esto la temperatura de bulbo seco del aire de entrada o de la humedad relativa afecta la transferencia de calor latente a sensible, esto también afecta la velocidad de evaporación. La velocidad de evaporación es bajo en el caso AB (WB - WA) a causa de que el calor latente transferido (transferencia de masa) representa una pequeña porción del total.

La velocidad de evaporación de algunas condiciones de diseño típico es, aproximadamente, el 1 % de la velocidad del flujo del agua por cada 12.6 °F (7°F) de rango en la temperatura del agua.



ANALISIS PSICROMETRICO DEL ENFRIAMIENTO DEL AGUA

FIGURA 3.3.1

3.4 DETERMINACION DE LA CARGA DE CALOR

En este caso Las condiciones para el análisis psicométrico son las siguientes:

AIRE

ENTRADA:

$$TWB1 = 75 \text{ } ^\circ \text{ F}$$

$$TDB1 = 93 \text{ } ^\circ \text{ F}$$

Estos datos fueron obtenidos luego de hacer varias lecturas en el campo y de información que se obtuvo, tanto en el Ingenio como, también, por parte del INSIVUMEH.

SALIDA:

$$TDB2 = 112 \text{ } ^\circ \text{ F}$$

$$HR = 100 \%$$

Aquí, por la cantidad de humedad que absorbe el aire que entra a la torre, ésta sale en una condición de aire saturado, por lo que, su humedad relativa es del 100%.

De la carta Psicometrica, se deduce que :

$$H1 (TWB1 \text{ y } TDB1) = 100 \text{ Granos/lb. de aire seco.}$$

$$H2 (HR2 \text{ y } TDB2) = 430 \text{ Granos/lb. de aire seco.}$$

$$\text{Humedad Agregada} = H2 - H1$$

$$H = 430 - 100$$

$$H = 330 \text{ Granos/lb. de aire seco.}$$

Entalpia de la humedad agregada H_w

$$H_w = 2.5 \text{ Btu/lb. de aire seco.}$$

Entalpia del aire de entrada h_1

$$h_1 = 39.1 \text{ Btu/lb. de aire seco.}$$

Entalpia del aire de salida h_2

$$h_2 = 95 \text{ Btu/lb. de aire seco.}$$

Calor Disipado = $h_2 - h_1 - HW$

$$\text{Calor Disipado} = 95 - 39.1 - 2.5$$

$$q = 53.4 \text{ Btu/lb. de aire seco.}$$

Volumen específico (v) del aire a la entrada

$$v = 14.25 \text{ ft}^3/\text{lb. de aire seco.}$$

Calor total disipado Q

$$Q = (q * q') / v$$

$q' =$ Flujo de aire necesario, es igual a 58,450 ft^3/m .
Este cálculo se hará posteriormente.

$$Q = (58,450) (53.4) / 14.25$$

$$Q = 2.2 \times 10^5 \text{ Btu/min.}$$

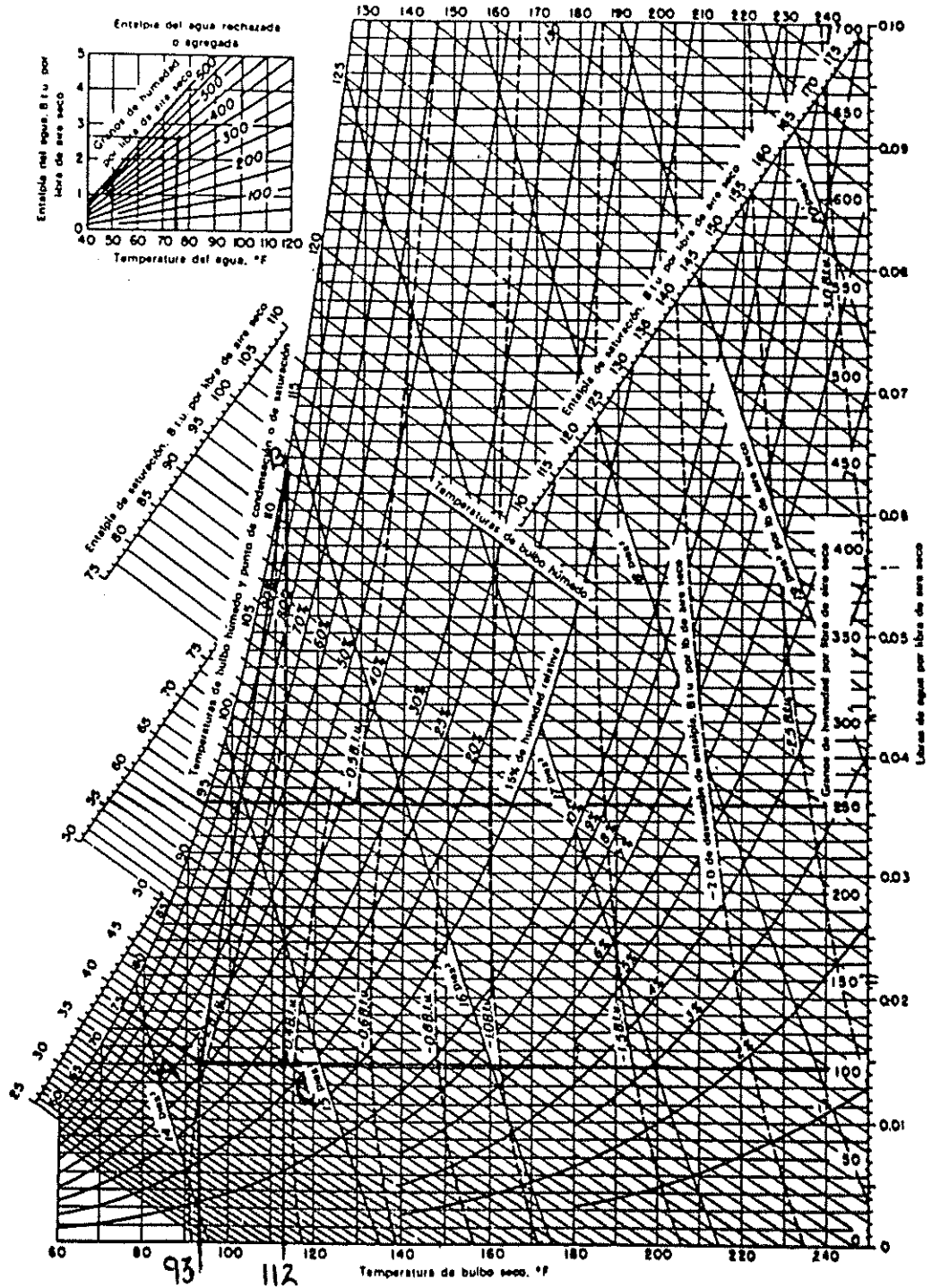


Figura 12-3. Carta psicrométrica de temperaturas elevadas. Presión barométrica, 29.92 pulg de Hg.

CAPITULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL TURBOGENERADOR DE 7.5 MW

4.1 CONDICIONES DE DISEÑO

En este caso, el agua de enfriamiento se va a distribuir, de tal forma que pase a través de los dos intercambiadores de manera simultánea, esto se logra por medio de un cabezal, de donde se distribuye el agua para los intercambiadores. De igual manera se procede con el agua de la descarga, la cual va a la torre de enfriamiento como se muestra en la figura 4.1

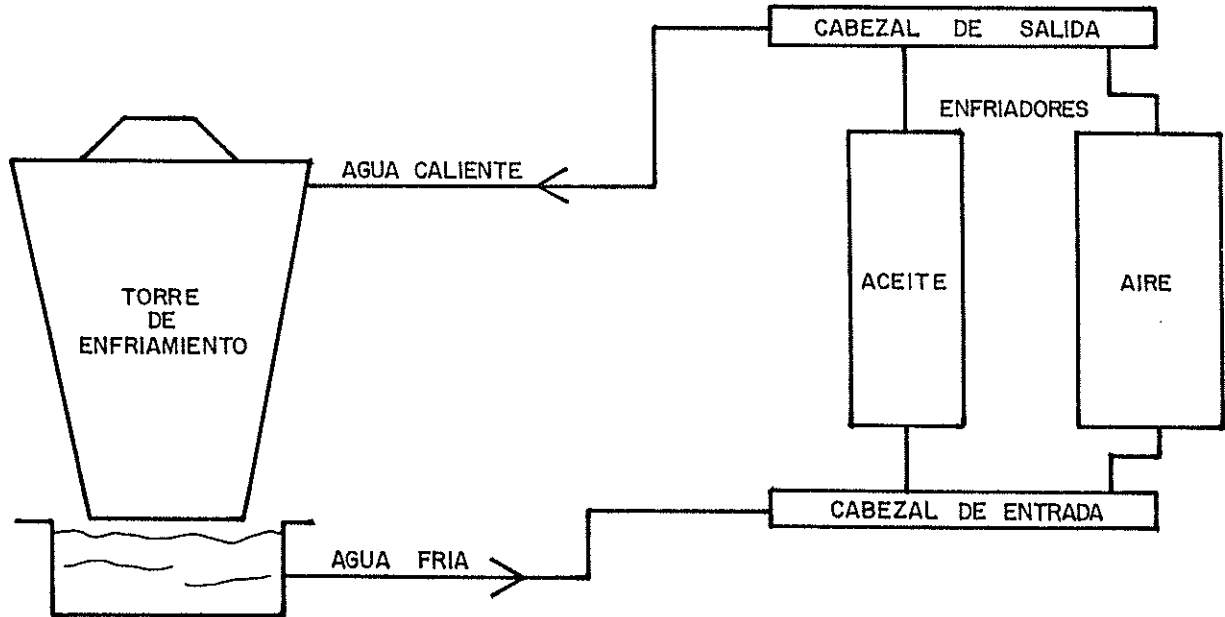


FIGURA 4.1

De las cuatro condiciones que se tienen para el diseño de una torre de enfriamiento, tres de ellas deben ser proporcionadas por el fabricante del equipo, en este caso se trata de dos intercambiadores de calor. Uno de estos intercambiadores de calor es el

encargado de enfriar el aceite que lubrica las chumaceras y el cojinete de empuje de la turbina y el otro intercambiador es el encargado de enfriar el aire que circula dentro del generador; según el fabricante, estos datos son:

$$\begin{aligned}T1 &= 40^{\circ} \text{ C} \\T2 &= 29.4^{\circ} \text{ C} \\Q &= 1892.5 \text{ lt/min.}\end{aligned}$$

T1 = temperatura de agua caliente,
T2 = " " fría,
Q = agua de circulación.

Todos los datos anteriores pueden mantenerse constantes, pero, en lo que respecta al cuarto dato, no ocurre lo mismo; este dato es la temperatura de bulbo húmedo. Esta temperatura no permanece constante ya que depende de las condiciones climatológicas del lugar donde va a funcionar la torre como del período de tiempo en que funcionará la misma. Para obtener esta información se debió estudiar el comportamiento de la temperatura, tanto de bulbo húmedo como de bulbo seco, durante el tiempo de zafra, que es el período en que funcionará la torre de enfriamiento.

De las temperaturas de bulbo húmedo y de bulbo seco se tomaron varias lecturas de las cuales se les saco una lectura promedio.

$$\begin{aligned}\text{TWB} &= 23.89^{\circ} \text{ C} \\ \text{TDB} &= 33.89^{\circ} \text{ C}\end{aligned}$$

TWB = temperatura de bulbo húmedo,
TDB = " " seco.

4.2 CALCULOS

Para llevar a cabo el presente proyecto se debieron realizar varios cálculos entre los que se pueden mencionar:

4.2.1 AREA NECESARIA DE LA TORRE

$$\text{Intervalo} = T_1 - T_2$$

$$\text{Intervalo} = 40 - 29.4$$

$$\text{Intervalo} = 10.6^\circ \text{ C}$$

$$\text{Acercamiento} = T_2 - T_{WB}$$

$$\text{Acercamiento} = 29.4 - 23.89$$

$$\text{Acercamiento} = 5.51^\circ \text{ C}$$

Se debe determinar el área necesaria para tener un intervalo de enfriamiento de 10.6° C y un caudal de $1,892.5 \text{ lt/min}$ ($Q=500 \text{ lt/min}$).

FLUJO DE AIRE

De la relación líquido a gas (L/G) se tiene que:

Líquido:

$$L = Q * d \quad \text{donde} \quad d = 994 \text{ kg/m}^3 \\ \text{(densidad del agua)}$$

$$L = (Q \text{ lt/min.})(0.001 \text{ m}^3/\text{lt})(994 \text{ kg/m}^3)$$

$$L = Q * (0.994 \text{ kg/m}^3)$$

Gas:

$$G = q * d_1 \quad \text{donde} \quad d_1 = 1.146 \text{ kg/m}^3 \\ \text{(densidad del aire)}$$

$$G = (q \text{ m}^3/\text{min}) (1.146 \text{ kg/m}^3)$$

Entonces, de la relación L/G se tiene que:

$$L/G = (Q * 0.994) / (q * 1.146) \quad \text{de donde}$$

$$L/G = (Q / q) * 0.867$$

De acuerdo al tipo de torre se tiene que la relación de L/G es igual a 1.

$$L/G = (Q / q) * 0.867 = 1$$

entonces,

$$q = Q * 0.867 \quad \text{pero si } Q = 1892.5 \text{ lt/min}$$

$$q = 1892.5 * 0.867 = 1641.5$$

$$q = 1641.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

Por lo tanto, se necesita un flujo de aire de, aproximadamente,

$$1641.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

Por el tipo de ventilador y de torre se tiene que la velocidad del aire que pasa a través de la torre es de, aproximadamente, 153 m/min.

$$\text{area necesaria} = \text{Flujo de aire} / \text{Velocidad del aire}$$

$$A = (1641.5 \text{ m}^3/\text{min}) / (153 \text{ m/min})$$

$$A = 10.73 \text{ mts}^2$$

El área necesaria de la torre para el enfriamiento deseado es de:

$$A = 11 \text{ mts.}^2$$

UNIVERSIDAD DE LOS RIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE AGUAS
CATEDRA DE HIDRAULICA

ALTURA DE LA TORRE

La altura de la torre depende del acercamiento y del intervalo que se requiere; la tabla que se muestra a continuación presenta datos experimentales que proporcionan las alturas recomendadas, de acuerdo al acercamiento y al intervalo.

ACERCAMIENTO	INTERVALO	ALTURA APROXIMADA
8 a 11 °C	13 a 20 °C	4.6 a 6.1 mts
Moderado	13 a 20 °C	7.6 a 9.1 mts
4 °C	13 a 20 °C	10.6 a 12.6 mts
3 °C	13 a 20 °C	10.6 a 12.6 mts

El acercamiento que se necesita está dentro de un rango moderado, ya que éste tiene un valor de 5.51 °C, por lo que, la torre va a tener una altura de:

$$H = 7.6 \text{ mts}$$

4.2.2 TUBERIA DE CONDUCCION

En lo que respecta a este cálculo, se debe tener la distancia que hay entre la torre de enfriamiento y el equipo que necesita el enfriamiento, además del caudal necesario. Con base en esto, se procede a calcular el diámetro de la tubería necesaria; éstos datos son los siguientes:

$$L = 366 \text{ mts.}$$

$$Q = 1892.5 \text{ lt/min (0.032 mt}^3\text{/seg)}$$

$$v = 0.897E-6 \text{ m}^2\text{/S}$$

L = longitud real del tubo,

Q = caudal del agua de circulación,

v = viscosidad cinemática (obtenida de tabla).

ENTONCES:

de la ecuación de Darcy-Weisbach, que sirve para el cálculo de diámetro de tuberías, se tiene que:

$$D = C1 * 5 \sqrt{f} \quad \text{de donde}$$

D = diámetro de la tubería,

C1 = constante,

f = coeficiente de pérdida de carga primaria.

$$C1 = 5 \sqrt{[(8 * L * Q^2) / (H_f * g * \pi^2)]}$$

H_f = pérdida de carga primaria.

g = gravedad del lugar.

Si la pérdida que se tendrá en todo el sistema es de, aproximadamente, 10 Mts. y el coeficiente de fricción es de f= 0.021, entonces, el diámetro es:

$$C1 = 5 \sqrt{[(8 * 366 * 0.032^2) / (10 * 9.81 * \pi^2)]}$$

$$C1 = 0.31491$$

$$D1 = 0.31491 * 5 \sqrt{0.021}$$

$$D1 = 0.14542 \text{ mts. (5.73 Pulgadas)}$$

Cálculo del número de Reynolds:

$$R = C2 * (1/D)$$

Donde:

$$C2 = (4 * Q) / (\pi * v)$$

$$C2 = (4 * 0.032) / (3.1416 * 0.897e^{-6})$$

$$C2 = 45422.14$$

$$R = 45422.14 / 0.14542 \quad \text{de donde}$$

$$R = 3.1 \text{ E } 5$$

$$E = K/D \quad \text{donde}$$

E = rugosidad relativa,

K = coeficiente de rugosidad absoluta (está en función del material).

$$K = 175 \text{ E-}6 \text{ mts.}$$

$$E = 175 \text{ E-}6 / 0.14542$$

$$E = 0.00120$$

los valores de $E = 0.00120$ y $R = 3.1E5$ se intersectan en el diagrama de Moody y se ve que:

$$f = 0.022$$

Con este valor se puede calcular un segundo diámetro y ver si es mucha la variación respecto del primero.

$$D2 = 0.31491 * 5 \sqrt{0.022}$$

$$D2 = 0.14678 \text{ mts. (5.7788 Pulgadas)}$$

Se puede observar que este diámetro no tiene una variación considerable respecto del primero que se calculó, por lo que es un diámetro aceptable. El diámetro comercial es:

$$D = 6 \text{ pulgadas}$$

4.2.3 BOMBAS

Estas bombas son las encargadas de hacer circular el agua de la torre de enfriamiento hacia el equipo y viceversa, debido a que es un circuito cerrado. Se utiliza una sola bomba para este propósito, pero, se debe tener otra de repuesto por si ocurriera una falla en la primera.

$$H_p = (Q * H * t) / (6116 \text{ e}3 * n)$$

t = densidad del agua en kg/m^3 ,

H = altura de presión de bombeo en mts,

Q = caudal en lt/min,

n = eficiencia de la bomba.

$$H = h_t + x + y + z$$

h_t = pérdida de carga primaria,

x = pérdida en los enfriadores,

y = pérdida en los aspersores,

z = altura estática.

$$h_t = f * (L_e/D) * (V^2/(2*g))$$

$$Q = V * A \quad \text{entonces} \quad V = Q / A$$

$$V = (0.032 * 4) / (\pi * 0.1467^2)$$

$$V = 1.89 \text{ m/s}$$

L_e = longitud equivalente.

$$L_e = L_{\text{real}} + L_{\text{accesorios}}$$

$L_{\text{accesorios}}$ = longitud imaginaria de los accesorios que se utilizan en la línea, estos accesorios son codos de 90° , válvulas de compuerta, codos de 45° , etc.

ACCESORIOS

12 CODOS DE 90° -----5.4 mts.
4 VALVULAS DE COMPUERTA -----1.2 mts.
3 CODOS DE 45° -----1.0 mts.

$$L_{\text{accesorios}} = 12 (5.4) + 4 (1.2) + 3 (1.0) \\ = 72.6 \text{ mts.}$$

$$L_e = 366 + 72.6 = 438.6 \text{ mts.}$$

$$h_t = 0.022 * (438.6/0.14678) * (1.89^2/19.62) \\ h_t = 11.96 \text{ mts.}$$

De los catálogos de la máquina se tiene que la pérdida de presión en los intercambiadores es de 3.5 pies de agua.

$$x = 3.5 \text{ pies de H}_2\text{O} * (12 \text{ plg}/1 \text{ pie}) = 42 \text{ plg. de H}_2\text{O} \\ x = 42 \text{ plg. de H}_2\text{O} * (3.613 \text{ e-}2 \text{ lb/plg}^2/1 \text{ plg de H}_2\text{O}) \\ x = 1.52 \text{ lb/plg}^2 \\ x = (1.52 \text{ lb/plg}^2)(2.304 \text{ pie/lb/plg}^2) = 3.496 \text{ pie} \\ x = (3.496 \text{ pie}) (0.3048 \text{ mts/pie}) \\ x = 1.065 \text{ mts.}$$

La pérdida en los aspersores, según los catálogos, es de 10 lb/plg².

$$y = (10 \text{ lb/plg}^2)(2.304 \text{ pie/lb/plg}^2)(0.3048 \text{ mts/pie}) \\ y = 7 \text{ mts.}$$

La altura estática es de:

$$z = 7 \text{ mts.}$$

ENTONCES:

$$H = 11.96 + 1.065 + 7 + 7$$

$$H = 27.025 \text{ mts.}$$

$$\text{Potencia} = (1892.5 * 27.065 * 994) / (6113e3 * 0.8)$$

$$\text{Potencia} = 10.387 \text{ kW.}$$

4.2.4 VENTILADOR

Se necesita un ventilador con una potencia que sea capaz de proporcionar el flujo de aire que se calculó anteriormente

$$\text{Potencia} = (Q_1 * P_{\text{total}}) / n$$

Q_1 = gasto en m^3/min ,

P_t = presión total en Pascales.

Datos:

$$Q_1 = (1641.5 \text{ m}^3/\text{min})(0.0167 \text{ min}/\text{seg}) = 27.35$$

$$Q_1 = 27.35 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Por el tipo de torre y el empaquetado se tiene que la presión $P_t=0.8$ plg de agua.

$$P_t = (0.8 \text{ plg de agua})(3.613e-2 \text{ lb/plg}^2/\text{plg de agua})$$

$$P_t = (0.029 \text{ lb/plg}^2)(6895 \text{ Pascales/lb/plg}^2)$$

$$P_t = 199.955 \text{ Pascales}$$

$$\text{Potencia} = (27.35 * 199.955) / 0.70$$

$$= 7812.53 \text{ W}$$

Se necesita, entonces, un ventilador de:

$$\text{Potencia} = 8.0 \text{ kW}$$

4.2.5 AGUA DE REPOSICION

Aquí se determinará el agua de reposición para compensar las diferentes pérdidas que se tendrá en todo el sistema.

$$W_m = W_e + W_q$$

W_m = agua de reposición,

W_e = pérdidas por evaporación,

W_q = pérdidas por arrastre.

$$W_e = 0.00085 * W_c * \text{Intervalo}$$

W_c = caudal de agua de circulación.

$$W_e = 0.00085 * 1892.5 * 10.6$$

$$W_e = 17.0 \text{ lt/min}$$

Se cree que la pérdida de agua por arrastre es de, aproximadamente, el 0.2% del agua de circulación.

$$W_q = 0.2 \% \text{ del agua de circulación.}$$

$$W_q = (0.2 / 100) * 1892.5$$

$$W_q = 3.79 \text{ lt/min}$$

$$W_m = 17.0 + 3.79$$

$$W_m = 21 \text{ lt/min .}$$

ENTONCES:

Se necesita un total de 21 lt/min. de agua de reposición.

4.2.6 DEPOSITO DE AGUA FRIA

Este depósito es el que se encuentra en la parte inferior de la torre, deberá ser capaz de almacenar una cantidad considerable de agua, para suministrarla sin ninguna limitación al equipo. Se toma como base un volumen de agua que pasa por la tubería.

$$A_1 = (\pi * D^2) / 4$$

$$A_1 = (3.1416 * (0.15)^2) / 4$$

$$A_1 = 1.767 \text{ e-2 mts}^2$$

$$V = A_1 * L \quad \text{si} \quad L = 366 \text{ mts.}$$

$$V = 1.767 \text{ e-2} * 366$$

$$V = 6.4672 \text{ mts}^3$$

Este será el volumen de agua que se necesita para el depósito, por lo tanto, es también el volumen de dicho depósito.

$$\text{Si } V = A_2 * L_2 \quad ; \quad \text{donde}$$

A_2 = área del depósito, el cual es igual al área de la torre,
 L_2 = altura del depósito.

$$L_2 = V / A_2 = 6.4672 / 10.73$$

$$L_2 = 0.603 \text{ mts}$$

Si se le dá un margen de seguridad en la altura del depósito, se tiene que:

$$L_2 = 0.90 \text{ mts.}$$

CAPITULO 5

AGUA DE ENFRIAMIENTO

5.1 PROBLEMAS DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

En todas las industrias, el agua es un fluido vital que debe reunir ciertas condiciones mínimas como: estar libre de olor, turbidez, radioactividad, etc. En el caso del agua de enfriamiento estas condiciones son más severas para proteger el equipo que requiere de este enfriamiento, ya que el agua de baja calidad produce incrustaciones, óxidos, y otros en los intercambiadores de calor. La calidad del agua se mide en términos de sólidos de cualquier carácter que estén disueltos en el agua, por lo general, estos sólidos se expresan en partes por millón o en granos por galón, en el caso del agua potable debe tener un límite recomendado de 500 ppm, además de estar libre de olor, turbidez y ser bacteriológicamente segura.

Como se dijo anteriormente los requisitos de calidad en el agua para procesos suelen ser más estrictos que las normas para el agua potable, aunque esto hace que los costos aumenten en forma considerable. Por lo tanto, la calidad del agua de enfriamiento que circula a través del sistema evaporativo tiene un significativo efecto en la eficiencia global del sistema, tanto en el nivel de mantenimiento requerido como en la vida útil de todos los componentes del equipo. Otro de los aspectos que se deben tomar en cuenta son los económicos, ya que éstos son muy importantes tanto en la selección de los sistemas de enfriamiento como en los métodos de tratamiento del mismo.

5.2 EFECTOS Y TIPOS DE IMPUREZAS *

Los efectos y tipos de impurezas en el agua de alimentación, van desde lo que son taponamientos, incrustaciones, oxidación, corrosión. En lo que a tipos de impurezas se refiere están: sólidos en suspensión, microorganismos, ensuciamiento, etc.

5.2.1 INCRUSTRACIONES

Las incrustaciones, generalmente, se ven en los intercambiadores de calor, la más común es el bicarbonato de calcio del agua, a temperaturas altas. Los compuestos de magnesio y el sulfato de calcio rara vez causan incrustaciones en los sistemas de enfriamiento; las incrustaciones varían según las temperaturas, régimen de transferencia de calor, concentración de calcio, magnesio, sílice, sulfatos, la alcalinidad y el ph. Para medir la tendencia a que se precipita el carbonato de calcio del agua en condiciones dadas de contenido de calcio, alcalinidad, ph, temperaturas y sólidos disueltos totales, se utiliza lo que se conoce como el índice de Langelier. Se pueden utilizar gráficas, monogramas y reglas de cálculo especiales para hacer el cálculo de este índice, con rapidez, de cualquier suministro de agua de la cual se tiene el análisis. Un índice positivo significa que el agua tiene tendencia a depositar incrustaciones, mientras un índice negativo indica disolución de incrustaciones y corrosión; el índice no mide la cantidad o rapidez de las incrustaciones, esto sólo depende del contenido de carbonato o bicarbonato de calcio.

5.2.2 CORROSION

Se conoce, así, a un ataque destructivo de los metales que puede ser, ya sea de naturaleza química o electroquímica; la corrosión química directa sólo se ejecuta en condiciones extraordinarias que comprende un ambiente altamente corrosivo o una elevada temperatura o ambas cosas. La mayoría de fenómenos que comprende la corrosión de metales que contienen agua o están sumergidos en ella o su corrosión en la atmósfera por película de humedad, son de naturaleza electroquímica. Otro de los causantes de la corrosión es el oxígeno gaseoso disuelto en el agua que reacciona con el hidrógeno atómico protector que se encuentra sobre las zonas catódicas de las superficies metálicas; destruye la película de despolarización y permite que continúe la corrosión. La velocidad de difusión del oxígeno disuelto hacia la superficie

metálica y, como consecuencia, se produce un amplio ataque del oxígeno al nivel del agua o cerca de él.

En la mayoría de los problemas de corrosión, el oxígeno disuelto es el que domina y muchos de ellos pueden resolverse por completo mediante la Deareación del agua por medios mecánicos, térmicos o químicos. La corrosión se puede estimular de diferentes maneras, por ejemplo porque los metales son desiguales (ocasionan la corrosión de uno de ellos) atmósferas húmedas, otros factores son gases ácidos en la atmósfera o compuesto de azufre de escoria, coque, polvo de carbón, sales que se disocian para producir una reacción ácida y oxígeno disuelto en la película de agua.

5.2.3 ATAQUE MICROBIOLÓGICO

Este tipo de impureza es aquel que se produce por la acción de millones de células vegetales diminutas que se multiplican y producen grandes masas de plantas en un tiempo relativamente corto, éstas pueden producir algas, lamas, etc. Estos microorganismos se aferran a superficies inaccesibles del sistema haciendo difícil su remoción y, a la vez, atrapan materia orgánica e inorgánica junto con basura y materiales formadores de incrustaciones. Esta formación de microorganismos en las superficies producen una seria interferencia en la eficiencia de los intercambiadores de calor. En el caso de una torre de enfriamiento de madera se debe tener un especial cuidado con el ataque biológico por microorganismos que se alimentan de la madera, estos hongos que destruyen la madera se reproducen por medio de esporas que están contenidas en el aire y se depositan en la superficie de la madera. El ataque no está restringido a un área en particular, pero, es más notorio en el área de pulverización y ocurre tanto en la superficie como en el interior de la madera.

5.2.4 ENSUCIAMIENTO

Los sólidos suspendidos en el agua de enfriamiento también pueden causar problemas al equipo. Ensuciamiento es el término

que se utiliza para describir la formación de depósitos en la superficie de transferencia de calor causados por sólidos, normalmente suspendidos en el agua de enfriamiento, los sólidos suspendidos entran al sistema en un gran número de formas: limo arenoso en el agua de recuperación, como partículas que acarrea el aire que entra a la torre y como fuga de otras corrientes de procesos. Las partículas suspendidas son muy pequeñas y cada una está rodeada de una carga eléctrica negativa y esto causa que se repelen unas con otras y no resistan el asentamiento. Cuando el agua se pone en contacto con la superficie de un metal, el hierro en el metal se va a la solución, creando una carga positiva en la superficie de transferencia de calor. Los sólidos suspendidos cargados negativamente son atraídos a la superficie cargado, positivamente; con el tiempo, las partículas se agrupan disminuyendo la transferencia de calor y ensuciando el intercambiador de calor y el equipo de la torre de enfriamiento.

5.3 TRATAMIENTO DEL AGUA

El tratamiento del agua puede hacerse de tres formas: físico, químico y biológico. El tratamiento físico incluye el tamizado, sedimentación, flotación, centrifugación y lo que es filtración; en lo que se refiere al tratamiento químico incluyen la coagulación, neutralización de los ácidos con sosa comercial (carbonato de sodio anhidro) sosa cáustica o cal; los desechos alcalinos se tratan con ácido sulfúrico o con ácidos baratos de desecho. Por último, el tratamiento biológico se logra por la acción de dos tipos de microorganismos, los cuales son: los aeróbicos, que actúan en presencia de oxígeno disuelto y los anaeróbicos que actúan en ausencia de oxígeno; la mayoría de desechos inorgánicos se pueden destruir con el tratamiento biológico. La siguiente tabla muestra alguno de los diferentes tipos de tratamiento.

TRATAMIENTO	METODO	OBJETIVO
Clarificación	Presedimentación coagulación sedimentación filtrado	Elimina sólidos Suspendidos y reduce la turbidez, color y la materia orgánica.
Desinfección	Adición de cloro 5 a 6 ppm o alimentación continua para mantener 0.2 a 0.3 ppm de Cl ² libre de residuos.	Evitar el crecimiento de algas.
Ablandamiento	Proceso de cal fria Proceso con soda y cal caliente, zeolite.	reduce la dureza temporal a 0.5 ppm, ademas, reduce el hierro y el mangane- neso. Reduce la dureza total a 25 ppm.
Procesos con membranas.	Electrólisis por Osmosis inversa.	Elimina en forma parcial los iones. Puede reducir agua soluble de 1000 ppm a 500 ppm o menos.
Desmineraliza- ción.	Permutación de iones Dos etapas o lechos mixtos.	Elimina iones posi- tivos y negativos (cationes y aniones) para proveer agua muy pura.
Destilación	Evaporación con calor de vapor de agua.	Produce agua muy pura con 10 ppm o menos de sólidos totales.

5.3.1 PROCESOS DE SEDIMENTACION

Estos procesos, normalmente, se usan para clarificar las aguas turbias, coloradas, sucias y tambien para eliminar las impurezas disueltas como el hierro, manganeso, calcio, etc.

Este método de tratamiento del agua suele hacerse con o sin tratamiento químico, aunque rara vez se emplea la sedimentación simple para eliminar los sólidos en suspensión. Las partículas suspendidas en el agua producen una apariencia sucia, turbia o colorada que no es aceptable en los sistemas de enfriamiento; esto puede ser, debido a que muchas partículas tienen una carga estática; generalmente negativa, lo cual provoca que éstos se repelen unos a otros y que permanezcan en suspensión. Los químicos orgánicos como el sulfato de aluminio, sulfato ferroso, cloruro férrico y aluminato de sodio son utilizados para la coagulación y la flaculación de la materia suspendida en el agua.

La temperatura y los cambios de ésta en el líquido que se está tratando son consideraciones de extrema importancia en el diseño y operación de las unidades de sedimentación. La rapidez a la cual se decanta una partícula en el agua es inversamente proporcional a la viscosidad cinemática, una propiedad que varía con la temperatura.

Por otra parte, la floculación, normalmente, requiere períodos de detención de 20 a 45 minutos y, a su vez, que se han agregado sustancias, debe realizarse por un mezclado relativamente lento. El mezclado se lleva a cabo en un estanque de floculación y su propósito es obtener el máximo de colisiones entre las partículas suspendidas sin cortar ni romper las partículas más grandes que ya se han formado.

5.3.2 FILTRACION

Los filtros de medios granulares se emplean en el tratamiento del agua para eliminar cantidades de materia suspendida relativamente pequeñas cuando es necesario un alto grado de claridad en el agua.

Los sólidos se colectan en el filtro hasta que en cierto momento la caída de presión a través de la unidad se vuelve excesiva o la unidad empieza a romperse y pasan demasiados sólidos al efluente. Cuando se alcanza este punto la unidad se retrolava a altas velocidades de flujo para arrastrar los sólidos colectados y el filtro se vuelve al servicio, normalmente el volumen de agua requerido para lavado es menos del 5% del agua filtrada producida.

Las partes internas de un filtro ya sea de acero o de concreto, de presión o de gravedad, abierto o cerrado, consisten en un distribuidor de entrada y un sistema de colección de retrolavado, lecho de los medios granulares y un sistema de drenaje interior.

5.3.3 AGUA RECICLADA

El agua reciclada no es más que la utilización del agua que ya ha sido utilizada por algún proceso o por el simple uso doméstico. Las plantas de tratamiento de agua de desecho, sobre todo las que emplean tratamiento biológico, están sujetas ocasionalmente a dificultades, y esto puede ocasionar problemas en el funcionamiento de la planta de tratamiento para reuso, debe incluir facilidades adecuadas de almacenamiento, reciclado o derivación necesaria. La siguiente figura nos muestra el diagrama de flujo de una planta que utiliza el agua del drenaje doméstico tratado como una fuente y luego es tratada posteriormente para emplearse en una estación generadora de electricidad.

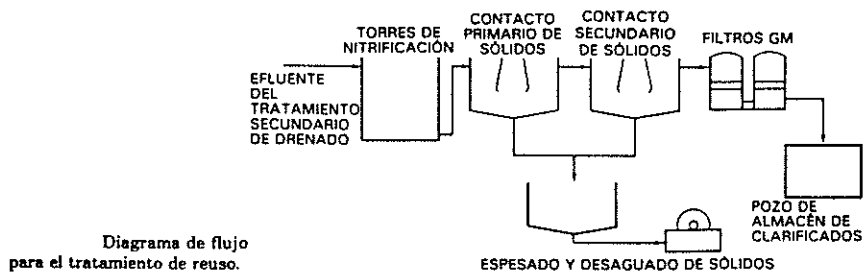


FIGURA 5.3.3

5.4 AGUA PARA LA TORRE

El agua que se utilizará en el proyecto de la torre de enfriamiento será obtenida por medio de un pozo que se perforará en las cercanías del ingenio, debido a que no cuenta con una fuente que nos proporcione la cantidad de agua necesaria ya que el agua que se utiliza para el proceso de la fábrica y para el enfriamiento de las otras máquinas, se obtiene de un río que pasa por el ingenio, pero este líquido, inicialmente, es de muy baja calidad ya que viene muy turbia, además de traer sólidos ya que este líquido es utilizada por otros ingenios que operan en el lugar y también por el municipio. Debido a lo anteriormente expuesto, es que debe tratarse esta agua por medio de un clarificador para utilizarla. Por esta razón se utilizará el agua de pozo, aunque signifique una mayor cantidad de impurezas solubles que las que tiene el agua del río ya clarificada, por lo que se recomienda que se le de un pretratamiento antes de entrar al sistema de la torre de enfriamiento, ya que de no ser así, se tendría una excesiva concentración de impurezas como sulfatos, cloruros, carbonatos, ph alto, etc. Las impurezas que afectan en mayor grado son los dióxidos y los carbonatos de calcio, magnesio y sílice ya que son las que vienen en un porcentaje alto en el agua cruda; normalmente, la cantidad de impurezas se mide o viene dado en partes por millón (ppm).

El agua, al pasar por la torre de enfriamiento, parte de ésta se evapora, pero, lo que se evapora es solamente agua pura dejando todas las impurezas al agua restante aumentando, así, su concentración; debido a esto es que se requiere de una purga para desalojar todas estas impurezas ya que de no ser así se estaría aumentando cada vez más ya que el proceso de evaporación es continuo. Se recomienda que al agua de dicho pozo se le de un pretratamiento para que las impurezas dentro del sistema sean las mínimas posibles y dentro del estanque de la torre debe tratarse con un floculante para que todas las impurezas se aglomeren y, a su vez, se sedimenten para que puedan ser fácilmente drenados del sistema.

El análisis que se hizo al agua del pozo es el que se muestra a continuación y, a la vez, se compara con el análisis que se le hizo al agua del río, clarificada; con esta información se procederá a calcular la cantidad de concentración de las impurezas más perjudiciales que afectarán el sistema.

RESUMEN DE ANALISIS DE AGUA

Muestra de pozo profundo.

ANALISIS	PARTES POR MILLON
SILICA (como SiO_2)	46.9
CALCIO (como CaCO_3)	34.9
MAGNESIO (como CaCO_3)	74.1

Muestra de río clarificado.

ANALISIS	PARTES POR MILLON
SILICA (como SiO_2)	42.2
CALCIO (como CaCO_3)	24.9
MAGNESIO (como CaCO_3)	20.6

Estas son las impurezas que podrían dar problemas de incrustaciones en el sistema, por eso es que se les da mayor importancia en el análisis del agua. Como se ve el agua del pozo es la que trae una mayor cantidad de impurezas que el agua que se obtiene del río clarificado, pero, por ser escasa la del río se debe trabajar con el primero.

5.4.1 CALCULO DE LA CONCENTRACION DE IMPUREZAS

Según el análisis que se le hizo al pozo, la suma de las impurezas que son más dañinas en el sistema son las siguientes:

SiO₂ CaCO₃ CaCO₃

$$46.9 + 34.9 + 74.1$$

$$155.9 \text{ ppm}$$

Esto equivale a decir que se tienen 155.9 gramos/m³ de impurezas perjudiciales en el agua de enfriamiento. Según los cálculos que se hicieron en el capítulo 4, la cantidad de agua evaporada en el sistema es de:

$$W_e = 8.075 \text{ gal./min.}$$

$$(8.075 \text{ Gal./Min. }) * (1440 \text{ Min./Dia. }) = 11628 \text{ Gal./Dia}$$

$$(11628 \text{ Gal./Dia }) / (264.2 \text{ Mts.}^3/\text{Gal.}) = 44.012 \text{ Mts.}^3/\text{Dia}$$

La concentración de las impurezas mencionadas, en un día de trabajo es de:

$$(44.012 \text{ Mts.}^3/\text{Dia. }) * (155.9 \text{ Gr./Mt.}^3) = 6861.48 \text{ Gr./Dia}$$

La concentración expresada en libras es de :

$$15.10 \text{ Lbs. / Dia}$$

La cantidad de purgado por esta concentración es de:

$$B = M_u / N \quad \text{Donde:}$$

N = Número de concentración

M_u = Agua de repuesto agregada al sistema.

B = Cantidad de agua a purgar.

$$\text{Si: } N = (\text{CaCO}_3\text{dc} / \text{CaCO}_3\text{Mu}) \quad \text{Donde:}$$

CaCO_{3c} = Contenido de carbonatos en el agua circulante.

CaCO_{3Mu} = Contenido de carbonatos en el agua de reposición.

Si la circulación del agua en todo el sistema es de 500 Gal/Min, entonces, la concentración de carbonatos es de:

$$\begin{aligned}\text{CaCO}_{3c} &= (500 \text{ Gal/Min}) * (1440 \text{ Min/Dia}) = 720000 \text{ Gal/Dia} \\ &= (72000 \text{ Gal/Dia}) * (264.2 \text{ M}^3/\text{Gal}) = 1.90 \text{ E } 8 \text{ M}^3/\text{Dia} \\ &= (1.90\text{E}8 \text{ M}^3/\text{Dia}) * (155.9 \text{ Gr/M}^3) = 2.96 \text{ E } 10 \text{ Gr/Dia}\end{aligned}$$

Si el agua de reposición es de 10 Gal/Min entonces tenemos que:

$$\begin{aligned}\text{CaCO}_{3Mu} &= (10 \text{ Gal/Min}) * (1440 \text{ Min/Dia}) = 14400 \text{ Gal/Dia} \\ &= (14400 \text{ Gal/Dia}) * (264.2 \text{ M}^3/\text{Gal}) = 3.8 \text{ e } 6 \text{ M}^3/\text{Dia} \\ &= (3.8 \text{ e } 6 \text{ M}^3/\text{Dia}) * (155.9 \text{ Gr/M}^3) = 5.9 \text{ e } 8 \text{ Gr/Dia}\end{aligned}$$

Entonces:

$$N = (\text{CaCO}_{3c} / \text{CaCO}_{3Mu}) = (2.9 \text{ E } 10 / 5.9 \text{ E } 8)$$

$$N = 49.20$$

Por lo tanto:

$$B = (10 \text{ Gal/Min}) / 49.20$$

$$B = 0.20 \text{ Gal./Min.}$$

Entonces, se aproxima la cantidad de purgado a una cantidad de 1 Gal/Min.

Dependiendo del análisis de laboratorio se da el tratamiento adecuado al agua de enfriamiento, en este caso se hace el análisis cada 24 horas, si la concentración de las impurezas más perjudiciales aumenta; se le agrega al agua una solución en la que contiene fosfatos, cromatos, soda cáustica, etc. Esto depende de los resultados del análisis que se mencionó; anteriormente, aproximadamente la cantidad de solución que se le agrega al flujo de agua de circulación que se tiene (500 Gal/Min.) es de 4 a 5 galones. Esta solución se estaría agregando al sistema en el depósito de la torre ya que es éste el lugar en donde la velocidad del flujo es mínima, esto es debido a que se requiere de una baja velocidad para que la solución se diluya en toda el agua de enfriamiento y haga el efecto deseado, la solución se agrega al agua una vez cada 24 horas.

CONCLUSIONES

1. Este es el método (torre de enfriamiento) más apropiado para los sistemas de enfriamiento que debe utilizarse en los intercambiadores de calor.
2. Para el diseño de una torre de enfriamiento se debe tomar en cuenta un balance entre lo que es durabilidad y bajo costo
3. Debe hacerse un estudio de las condiciones climatológicas del lugar donde funcionará la torre de enfriamiento para obtener los resultados deseados.
4. La ubicación de la torre debe ser en un lugar en donde el bagacillo, polvo, el brizado y otras suciedades no afecte su buen funcionamiento.
5. Al agua de enfriamiento debe dársele un tratamiento apropiado para reducir las impurezas que vienen dentro de ella ya que éstas podrían provocar problemas de incrustaciones, oxidación, etc.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar un sistema cerrado en todos los intercambiadores de calor, para que éstos funcionen, eficientemente, y, evitar, así, pérdidas excesivas de agua.
2. Para tener un diseño correcto debe tomarse muy en cuenta las condiciones climatológicas (temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, humedad, etc.) del lugar donde funcionará la torre de enfriamiento.
3. Al diseñarse una torre de enfriamiento, debe hacerse de tal manera que pueda ampliarse en su capacidad cuando así se requiera.
4. Para proteger los turbogeneradores se recomienda utilizar una torre de enfriamiento, ya que el agua, al final de la zafra, viene demasiado sucia, razón por la cual éstos no funcionan eficientemente, repercutiendo en un aumento en la temperatura del aceite que lubrica las chumaceras, los cojinetes de empuje, etc.
5. Cuando no se dispone de una fuente de agua que brinde ésta en abundancia, se recomienda utilizar agua recirculada.

BIBLIOGRAFIA

- ELONKA, Steve. Equipos industriales, guía práctica para reparación y mantenimiento . México: Mc Graw Hill
- ELONKA/MINICH. Refrigeración y aire acondicionado. Tercera edición, México Mc Graw-Hill
- GURNEY J.D. AND COTTER I.A. Cooling tower
Maclaren and Sons Ltd.
LONDON.
- MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Segunda edición, México, editorial Harla.
- MARKS. Manual del ingeniero mecánico. Segunda edición en español. México: Mc Graw-Hill.
- MARLEY COMPANY. Cooling tower, fundamentals and application principles. Kansas city, Missouri.
- PERRY. Manual del ingeniero químico. Sexta edición, México:Mc Graw-Hill.
- STANFORD, W. Cooling tower, principles and practice.

ANEXO

MONOGRAFÍA DEL LUGAR

Santa Lucía Cotzumalguapa es un municipio del departamento de Escuintla, está ubicada en el kilómetro 90 de la ciudad capital, es un área de clima cálido donde sus principales cultivos son: maíz, algodón, frijol y una amplia variedad de frutas, pero, actualmente, se cultiva de manera casi predominante la caña de azúcar. Esta caña de azúcar es procesada por los ingenios azucareros que operan en el lugar.

En el caso del ingenio La Unión, ésta se encuentra ubicada a 12 km. del municipio, en la carretera que conduce a una aldea conocida como Cerro Colorado. El funcionamiento del ingenio, prácticamente, se divide en dos períodos que duran cerca de los seis meses cada uno.

El primer período es el conocido como tiempo de zafra y es cuando el ingenio empieza a moler la caña de azúcar, en este período se generan, aproximadamente, 600 empleos, esto es solamente en el ingenio sin tomar en cuenta las otras dependencias que operan en la misma área, por ejemplo: división agrícola (cortadores, riego, administradores, etc) en lo que se refiere a los empleos generados por el ingenio, se dividen en personal de operación, administrativos, mantenimiento, cogeneración. Además, es en el período de zafra cuando el ingenio puede cogenerar electricidad, aprovechando el excedente de bagazo de caña que se produce. Actualmente, La Unión esta cogenerando en una hora de trabajo un promedio de 1 mW, en la línea de 13.8 kV. de la Empresa Eléctrica, esperando cogenerar más al estar instalada una línea de transmisión de mayor capacidad (69 kV.). Actualmente la fábrica cuentan con tres turbogeneradores con capacidades de 3.5, 5.0 y 7.5 MW, estando en montaje un turbogenerador de 26 MW.

Al agotarse la caña, el ingenio detiene su funcionamiento, iniciándose, así, el segundo período; éste se conoce, comúnmente, como período de reparación. En este lapso se desmontan casi

todas la máquinas para su mantenimiento preventivo y para la reparación o cambio de maquinaria que esté en mal estado.

En el tiempo de reparación, los empleos se reducen, ya que muchos puestos dejan de existir al finalizar la zafra; aproximadamente, el número de empleos en este período es de 400 personas. Por otro lado, el ingenio le está dando importancia al nivel educativo de sus empleados, ya que no aceptan personal nuevo si no tiene una escolaridad mínima, obligando, así, a las personas jóvenes que quieran optar a un empleo a estudiar. Esto se está complementando con las personas que actualmente trabajan en el ingenio y que tienen un bajo nivel de escolaridad; se les invita a que continúen estudiando en una escuela que funciona dentro del ingenio; el tiempo que utilizan para este fin, se encuentra dentro de las horas de trabajo. A los trabajadores que se encuentran estudiando a nivel universitario se les proporciona el 75 % de sus gastos al presentar su correspondiente promoción.

PARTES QUE COMPONEN EL INGENIO

La planta del ingenio está constituida por varios departamentos que funcionan dentro de las instalaciones del mismo, pero, hay otros departamentos que funcionan también dentro de la planta pero que están administrados por otra sección de la empresa. Los departamentos que pertenecen a la administración de la planta son: maquinaria, calderas, fabricación, eléctrico y cogeneración. Los que pertenecen a otra administración y que funcionan dentro de la planta están: obra civil, bodega de materiales y bodega de azúcar.

MAQUINARIA

Este departamento es el encargado de darle mantenimiento a todas las turbinas de los molinos y de las picadoras, además de los molinos y las picadoras en sí, reparándoles masas, coronas, cuchillas, etc. Además, en tiempo de zafra el personal de este departamento es el encargado de operar toda esta maquinaria.

CALDERAS

Son los que tiene bajo su responsabilidad el buen funcionamiento de las calderas, por ello, son los encargados de darles el mantenimiento necesario a las cinco calderas con que cuenta el ingenio; además, como el departamento anterior, son los encargados de hacerlas operar en el tiempo de zafra.

FABRICACIÓN

Este departamento tiene por objeto el mantenimiento, operación y control del proceso del azúcar, desde que el guarapo es extraído de la caña hasta que se cristaliza, pasando por todos los equipos que corresponden a dicho proceso.

ELECTRICO

El departamento eléctrico es el responsable del buen estado de todos los motores, alambrado, protecciones y accesorios de la

fábrica; además, es el que proporciona los operadores eléctricos de los turbogeneradores en el tiempo de zafra, realiza también trabajos en el área donde residen los ingenieros y los supervisores.

COGENERACION

Este es el departamento más reciente y tiene a su cargo el mantenimiento y operación de los tres turbogeneradores con que actualmente, cuenta el ingenio; además del montaje de nuevos turbogeneradores que se piensa instalar. Otra de sus responsabilidades es hacer todas las conexiones en donde requiere de alto voltaje, haciendo todas las transformaciones que se requieran para el uso dentro de la fábrica.