

27

2oj.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS "ARAGON"

Posición Discutida

ANALISIS Y SELECCION DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA DE LA CENTRAL MERIDA III DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
JOSE FLORES LANDERO

ASESOR: ING. ARQUIMEDES SOLIS TELLEZ.



SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO.

1998.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

258620



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS.

A DIOS.

Por darme el don de la vida y poder disfrutar los grandes momentos

A MIS PADRES ROSALÍA ADORACIÓN Y MANUEL.

Por su gran apoyo y cariño en todo lo que he emprendido.

A MIS HERMANOS TERESA ROSALÍA, MANUEL ENRIQUE Y ADORACIÓN DEL CONSUELO.

Por su comprensión y apoyo.

A MIS TÍOS TERESA JOSEFINA, ROSAMARIA, MARÍA DEL CARMEN, MARGARITO Y MARIO.

Gracias por todo.

A MIS ABUELOS ADORACIÓN, JOSÉ ARABEY, ENRIQUETA Y MANUEL.

A donde quiera que se encuentren mi agradecimiento por darme unos padres maravillosos.

A MI ASESOR ING. ARQUÍMEDES SOLIS TELLEZ.

Gracias por todos los conocimientos transmitidos, su atención, su comprensión y apoyo.

A LOS ING. JUAN MANUEL DE LA BARRERA E ING. MANUEL HURTADO.

Por su aportación en la realización de este trabajo.

A TODAS LAS PERSONAS.

Que de alguna manera cooperaron para lograr finalizar mis estudios.

INDICE.

	Página
I.- GENERALIDADES.	
1.1 Descripción de la Central.	4
1.2 Definición.	10
1.3 Conceptos Fundamentales.	12
1.4 Balances Térmicos y de Masa.	16
1.5 Ecuación Fundamental de las T. E.	20
1.6 Representación del Proceso en la T. E.	22
II.- TIPOS DE TORRE DE ENFRIAMIENTO.	
2.1 Torre Atmosférica.	25
2.2 Torre de Tiro Hiperbólico.	29
2.3 Torre de Tiro Forzado.	31
2.4 Torre de Tiro Inducido.	33
III.- PARTES PRINCIPALES DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO.	
3.1 Relleno.	37
3.2 Sistema de Distribución de Agua.	44
3.3 Persianas de Entrada.	48
3.4 Eliminadores de Humedad.	50
3.5 Ventiladores.	52
3.6 Estructura y Envoltente.	58

IV.- ANALISIS DE UNA TORRE DE TIRO MECANICO.

4.1 Introducción.	67
4.2 Dimensiones de la Torre de Tiro Mecánico.	67
4.3 Ventajas.	69
4.4 Desventajas.	69
4.5 Método de Cálculo.	70

V.- SELECCION DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

5.1 Selección de la Torre de Enfriamiento.	96
5.2 Materiales de la Torre Seleccionada.	102
5.3 Análisis Económico.	105
5.4 Programa de Mantenimiento.	107

CONCLUSIONES.	109
---------------	-----

BIBLOGRAFIA.	111
--------------	-----

REFERENCIAS.	114
--------------	-----

ANEXOS.	116
---------	-----

INTRODUCCIÓN.

Una central de ciclo combinado esta constituido por una central turbogas (Ciclo Brayton) y una central termoeléctrica convencional (Ciclo Rankine), interconectadas por un recuperador de calor-generador de vapor.

La combinación de ambos ciclos permite utilizar el calor que poseen los gases de escape de la turbina de gas para alimentar el recuperador de calor (equivalente a un generador de vapor de una central termoeléctrica) y producir el vapor requerido por la turbina de vapor.

En la parte del ciclo de vapor el rechazo de calor se realiza al condensar el vapor que sale del ultimo paso de la turbina, proceso que realiza a presión y temperaturas constantes. El condensador es un aparato que utiliza agua como medio refrigerante.

El agua que es usada en el condensador como refrigerante es enfriada con la de Torres de Enfriamiento, en los que el medio refrigerante es el aire atmosférico.

En México, debido a causas diversas, la mayoría de las plantas termoeléctricas existentes y en proyecto, se localizan en lugares estratégicos en donde es requerida su instalación pero desgraciadamente existen lugares en donde no se dispone de mucha agua, teniéndose que emplear sistemas con torres de enfriamiento.

no se dispone de mucha agua, teniéndose que emplear sistemas con torres de enfriamiento.

Este caso se presenta en la Central Mérida III ya que el predio en donde se encontrará ubicada es un lugar en el cual no se dispone de ningún río o laguna cercano por lo que es necesaria la instalación de una torre de enfriamiento.

Por lo anterior, he considerado conveniente presentar este trabajo de tesis sobre el cálculo de la torre de enfriamiento de esta Central el cual estará basado en criterios de diseño desarrollados por ASME, y que están fundamentados en experiencias reales en torres de enfriamiento de plantas termoeléctricas.

En el presente trabajo consistirá:

En el Capítulo I se presentará una breve descripción sobre la Central Mérida III, la definición de una torre de enfriamiento, los conceptos fundamentales que se relacionan con el proceso de disipación de calor y el funcionamiento, así como el balance de materia y energía, su ecuación fundamental y la representación del proceso dentro de la misma torre.

En el Capítulo II Consideramos los tipos de torres de enfriamiento, características principales de cada una de ellas es decir como están constituidas y las aplicaciones que estas tienen.

En el Capitulo III se hace una descripción detallada de los elementos que constituyen una torre de enfriamiento, los materiales de que se construyen, así como los diferentes arreglos con los cuales se puede lograr una mayor eficiencia de la torre.

En el Capitulo IV se realiza un análisis sobre una Torre de Enfriamiento de Tiro Mecánico Inducido para la Central Mérida III, en el cual consideramos una características determinadas en base a la presión de vacío del condensador y la aproximación de la torre y así determinar con el auxilio de gráficas los cálculos que nos servirán de apoyo para realizar una selección adecuada de la torre de enfriamiento.

En el Capitulo V hacemos un recuento de las características de las torres analizadas en el capítulo IV, y realizamos una evaluación para determinar la torre mas conveniente, los materiales y la normalización que los fabricantes deben emplear en su construcción, así como el costo de la torre seleccionada y un programa de mantenimiento de la misma.

CAPITULO I

GENERALIDADES.

1.1 Descripción de la Central.

La Central Mérida III va estar localizada como lo muestra la figura 1.1, a 8 Km. de la Ciudad de Mérida en Yucatán sobre la carretera a Campeche, con altura sobre el nivel del mar de a 22 m, con una Presión Barométrica de 758 mm Hg (14.62 lb/pulg²), una Temperatura de Bulbo Seco de 37°C (98.6°F), una Temperatura de Bulbo Húmedo de 27°C (80.6°F) y una Humedad Relativa del 45%

El proyecto Mérida III estará formado por 2 paquetes de ciclo combinado de 220 MW de capacidad cada uno, se tiene previsto que el paquete 1 inicie su construcción a finales del año de 1997 y entre en operación en Abril del año 2000, por lo que respecta al paquete 2, iniciara su construcción más adelante por lo que quedará como un proyecto a futuro.

Con la puesta en marcha de esta central la Comisión Federal de Electricidad pretende aumentar para la próxima década la capacidad efectiva de 969 MW a 1409 MW en la región peninsular y a nivel estado de Yucatán de 572 MW a 1012 MW. Con este aumento de capacidad efectiva se podrá dar un mejor servicio a la industria henequenera, textil, poblaciones rurales y lograr un avance significativo en la

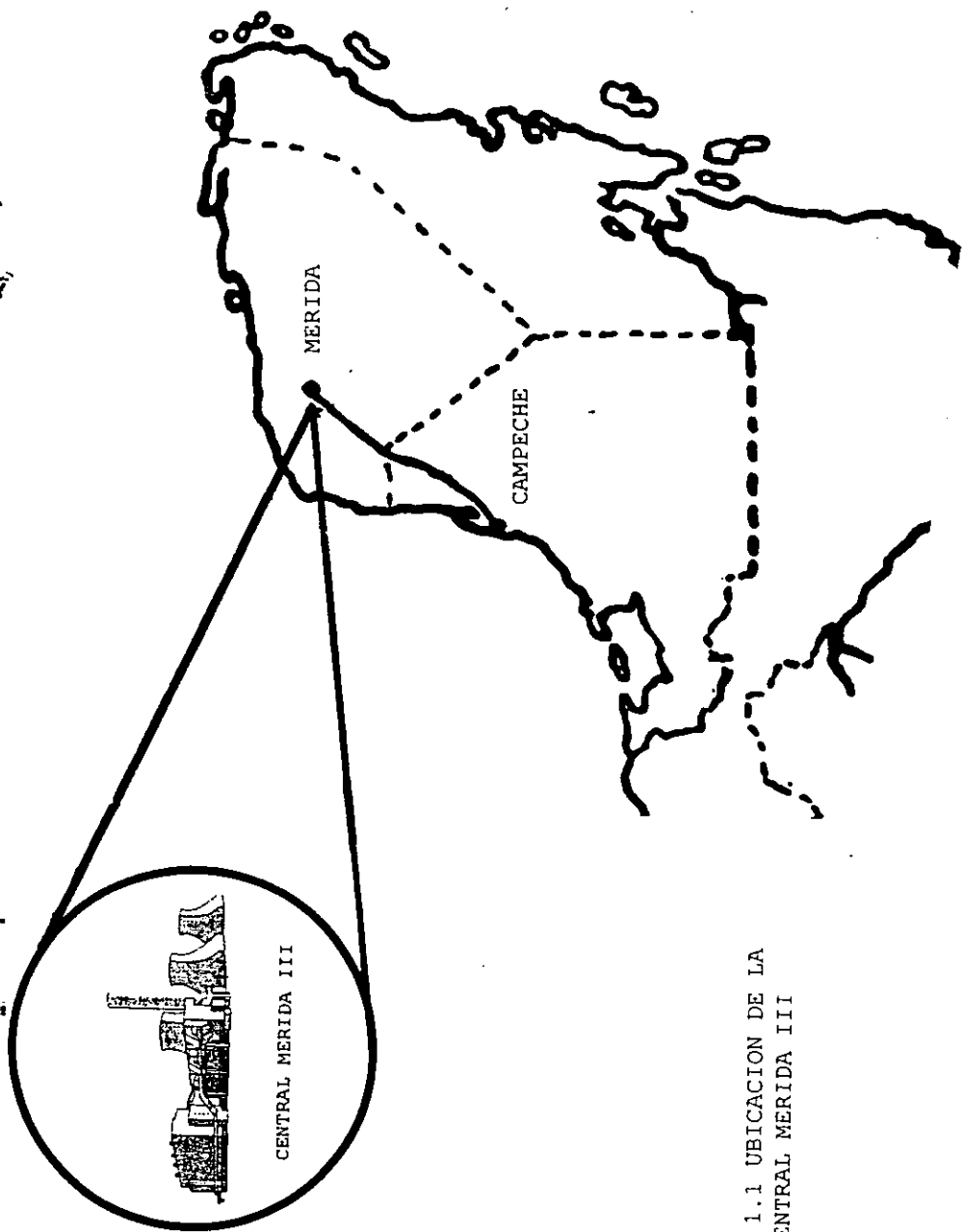


FIG. 1.1 UBICACION DE LA
CENTRAL MERIDA III

electrificación de la región peninsular llegando a un total del 96%.

El paquete 1 que esta próximo a iniciar su construcción constará de 2 turbinas de gas y una turbina de vapor, a continuación se presentaran algunas características de este paquete. En la figura 1.2 se muestra el diagrama de flujo de un ciclo combinado, así como en la figura 1.3 se mostrará la distribución de la central.

Recuperador de calor

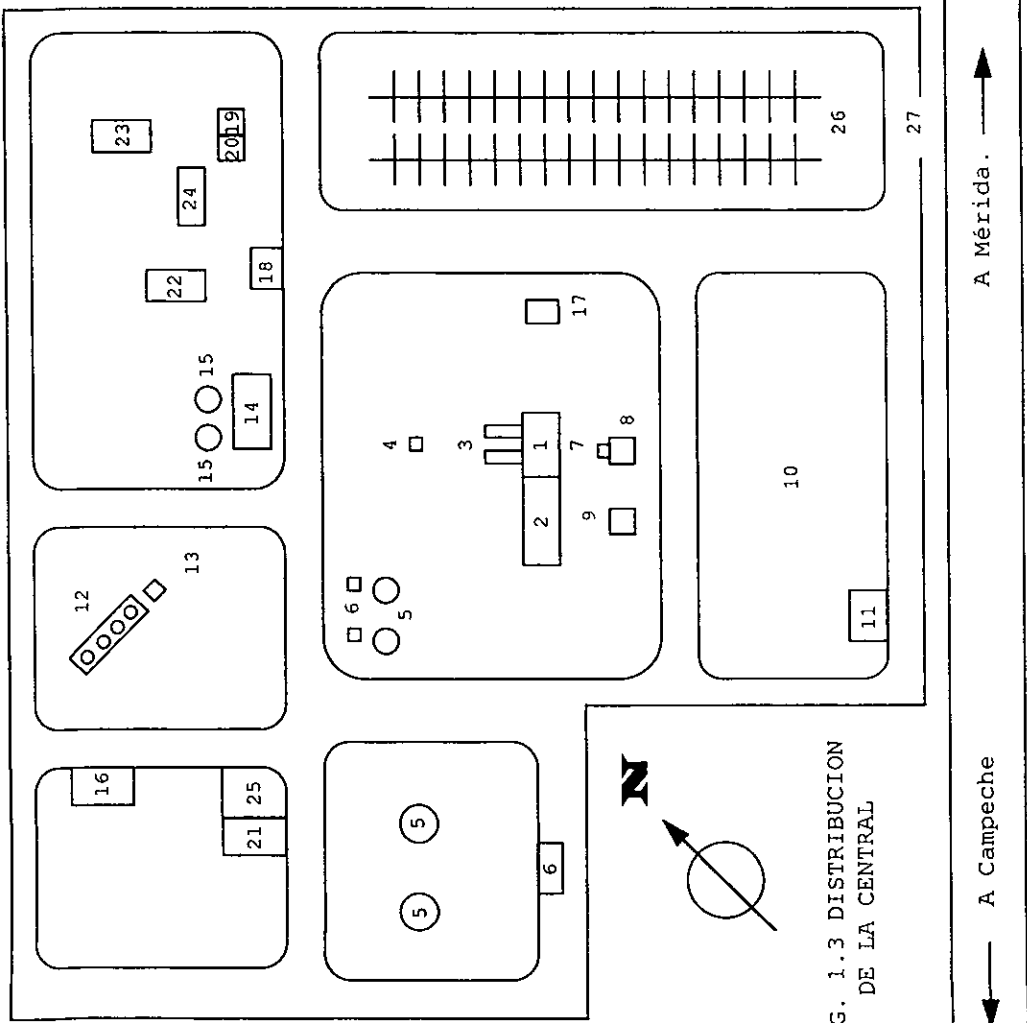
El recuperador de calor es el equipo que sirve como eslabón entre la turbina de gas y la de vapor. Serán 2 recuperadores y tendrán unos quemadores adicionales que funcionaran con gas, para la producción de vapor de 1500 Ton/hr cada uno.

Ciclo de Turbogás

Turbo compresor.

El compresor es el equipo encargado de aumentar la presión del aire succionado de la atmósfera, para su utilización en la cámara de combustión.

La cámara de combustión, también conocida con el nombre de combustor, es el lugar en donde se lleva a cabo la transferencia de la energía química del combustible a los gases producto de la combustión, en forma de energía térmica.



IDENTIFICACION.

- 1.- Paquete 1.
- 2.- Turbina de Vapor.
- 3.- Recuperadores de Calor.
- 4.- Cuarto de Control.
- 5.- Tanque de Combustible.
- 6.- Caseta de Bombas.
- 7.- Transformador Auxiliar.
- 8.- Transformador Turbogás.
- 9.- Transformador T. Vapor.
- 10.- Subestación.
- 11.- Caseta de Subestación.
- 12.- Torre de Enfriamiento
- 13.- Carcamo de B. Agua de C.
- 14.- Bombas de Agua Cruda.
- 15.- Tanques de Agua Cruda.
- 16.- Planta de Trat. de Aguas Negras.
- 17.- Taller y Oficinas Técnicas.
- 18.- Oficina del Jefe de Turno.
- 19.- Caseta del Velador.
- 20.- Oficinas Administrativas.
- 21.- Taller Eléctrico.
- 22.- Almacén.
- 23.- Unidad Mécica.
- 24.- Comedor.
- 25.- Taller Mecánico.
- 26.- Estacionamiento del Personal
- 27.- Acceso.

FIG. 1.3 DISTRIBUCION DE LA CENTRAL

← A Campeche

A Mérida. →

En la Turbina de gas, la energía térmica de los gases es transformada en energía mecánica o de movimiento en la flecha de la turbina mediante la expansión de los productos de la combustión.

Las unidades turbogeneradoras de gas con una capacidad nominal de 70 MW y una velocidad de 3600 r.p.m., son del tipo industrial de cámaras de combustión del tipo silo separadas del cuerpo de la turbina, las cuales usaran gas, con compresores acoplados directamente de 17 pasos de compresión y 4 pasos de expansión, el generador eléctrico se encuentra también acoplado a la misma flecha de la turbina, y es del tipo sincrónico para generar a 13.8 KV.

Ciclo de vapor

La Turbina de vapor es el dispositivo que convierte la energía térmica del vapor seco que sale del recuperador a energía cinética y finalmente en trabajo mecánico.

La unidad turbogeneradora es del tipo de un cilindro en expansión de condensación, con una capacidad nominal de 80 MW y una velocidad de 3600 r.p.m., acoplada directamente a la unidad generadora eléctrica del tipo sincrónico para generar a 13.8 KV.

Sistema de Condensado.

El Condensador es un intercambiador de calor localizado en el escape de vapor de la turbina será del tipo superficie de cajas divididas de dos pasos.

También tendrá 3 bombas de condensador del 50 % cada una, estando 2 en operación normal y una respaldo.

Sistema de Agua de Circulación.

2 líneas de conducción que suministran agua cruda del cenote de San Francisco, para servicios y repuesto de la torre de enfriamiento.

Una torre de enfriamiento de madera para la unidad de vapor, equipada con 2 bombas verticales.

Sistema de Agua de Alimentación.

El sistema para los dos recuperadores consiste:

3 bombas centrífugas horizontales de alta presión de velocidad constante 2 en operación normal y una de reserva, cada una alimenta a un recuperador de calor.

3 bombas centrífugas horizontales de baja presión de velocidad constante 2 en operación normal y una de reserva, cada una alimenta a un recuperador de calor (el economizador).

1.2 Definición.

La torre de enfriamiento es una cámara en la cual el aire exterior fluye a través del rocío del agua caliente de entrada que se va a enfriar. La temperatura del agua se reduce en parte por la evaporación de cierta cantidad de

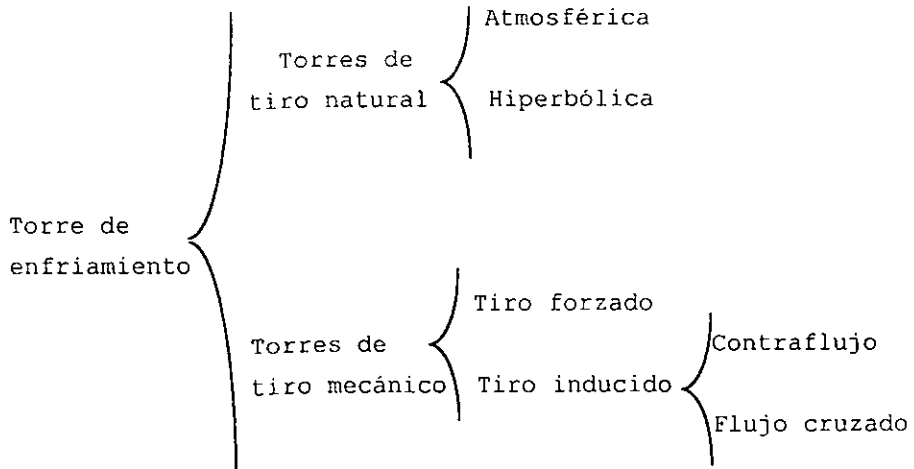
agua. El aire entra a condiciones dadas y sale a temperatura mas alta y frecuentemente saturado. En general es posible enfriar el agua por debajo de la temperatura de entrada del aire.

En las torres de enfriamiento se disipa el calor por medio de la evaporación de parte del agua que se rocía sobre el aire que circula dentro de la torre. Este sistema se usa ampliamente en los lugares en la que la disponibilidad del agua es limitada.

El agua es muy frecuentemente utilizada como refrigerante, cuando esta debe ser reutilizada ya sea debido a su escasez o a su costo, es necesario utilizar algún dispositivo para enfriar, tal es el caso para las torres de enfriamiento, condensadores evaporativos, estanques de evaporación.

Dentro de una planta de fuerza térmica, puede usarse una torre de enfriamiento para enfriar el agua usada en la planta a fin de que pueda volverse a usar de nuevo. Mediante esto se reducirán las necesidades de agua a una cantidad relativamente pequeña. A esta cantidad de agua que sirve para cubrir las perdidas ocasionadas por arrastre, evaporación, rocío, y purgas es llamada agua de repuesto.

Como resultado de los diversos sistemas empleados para forzar el aire a moverse y mezclarlo con el agua a fin de enfriarla, existen varios tipos de torres de enfriamiento y se pueden clasificar en:



1.3 Conceptos Fundamentales.

Humedad Atmosférica.

La atmósfera es una mezcla de aire y vapor de agua; se puede suponer con cierta seguridad que es aplicable la Ley de Dalton de las presiones parciales (para la mezcla) y la ley de los gases perfectos (para cada elemento constitutivo). La presión total B (presión barométrica) es la suma de la presión del vapor P_v y la presión del aire P_a .

Humedad Específica.

Conocida también como humedad absoluta y se define como la relación de la masa de vapor de agua en el aire ambiente entre la masa de aire seco.

Humedad Relativa.

Es la relación de la presión parcial del vapor en el aire, a la presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura existente; o bien es la relación de la densidad del vapor de agua en el aire, a la densidad de saturación a la temperatura correspondiente.

Temperatura de Rocío.

Es la medida de humedad contenida en el aire, o bien es la temperatura a la cual el aire se satura cuando se enfría, considerando que no hay ninguna adición ni sustracción de humedad.

Temperatura de Bulbo Seco.

Es la temperatura de la mezcla vapor aire y se determina por contacto directo del bulbo de un termómetro con mezcla.

Temperatura de Bulbo Húmedo.

Es la medida del calor total del aire y se determina cubriendo el bulbo de un termómetro con una gasa húmeda y haciendo pasar el aire rápidamente, en esta forma la humedad principia a evaporarse y las temperaturas del agua y el aire circunvecino bajaran de una manera proporcional a la evaporación ocurrida.

Temperatura de Saturación Adiabática.

Cuando un gas se halla en contacto con un líquido durante un periodo suficiente como para que se establezca el equilibrio, el gas se satura con vapor y tanto el gas como el líquido alcanzan la misma temperatura.

Calor.

En términos simples es una forma de energía, que atraviesa las fronteras de un sistema debido a una diferencia de temperaturas entre dicho sistema y sus alrededores.

Calor Sensible.

Es la energía en forma de calor que se transmite de un sistema a otro y que al transmitirse puede percibirse el cambio de temperatura.

Calor Latente.

Es la energía en forma de calor que puede hacer cambiar el estado de una sustancia de sólida a líquida, de líquido a gas o viceversa, sin que la temperatura de esa sustancia sea afectada.

Calor Específico.

El calor específico representa la energía requerida para elevar la temperatura de una masa de aire un grado.

Carga de Calor.

Es la cantidad de calor disipado en la torre en BTU/h y es igual al flujo de agua, multiplicado por el rango de enfriamiento y por el calor específico del agua.

Entalpía.

Cantidad de calor contenida en el aire, contada a partir de los 0 °C.

Rango de Enfriamiento.

Es el numero de grados que se enfría el agua al pasar por la torre y equivale a la diferencia de temperaturas entre el agua caliente (que entra a la torre) y el agua fría (que sale de la torre).

Aproximación.

Es la diferencia que existe entre la temperatura de salida del agua y la temperatura de bulbo húmedo de entrada del aire.

Temperatura de Agua Fría.

Temperatura que entra al estanque de agua fría después de salir de la torre.

Temperatura de Agua Caliente.

Temperatura del agua de circulación que entra al sistema de distribución de la torre de enfriamiento.

Agua de Repuesto.

Es la cantidad de agua que se requiere para restituir las pérdidas por evaporación, purga, fugas, y por arrastre.

Perdidas por Evaporación.

Son las pérdidas que se presentan cuando el agua al contacto con el aire pierde calor sensible y ocurre una evaporación y normalmente son del orden del 2% del agua que entra a la torre.

Perdidas por Arrastre.

Son las pérdidas debidas a las gotas de agua suspendidas que se descargan en el aire en circulación. Estas pérdidas son pérdidas de agua y son del orden de 1% del agua que entra a la torre.

Perdidas por Fugas.

Son pérdidas pequeñas que ocurren en la pileta de la torre.

1.4 Balances. Térmicos y de Masa.

Consideremos la figura 1.4 del sistema de enfriamiento de una planta de generación eléctrica.

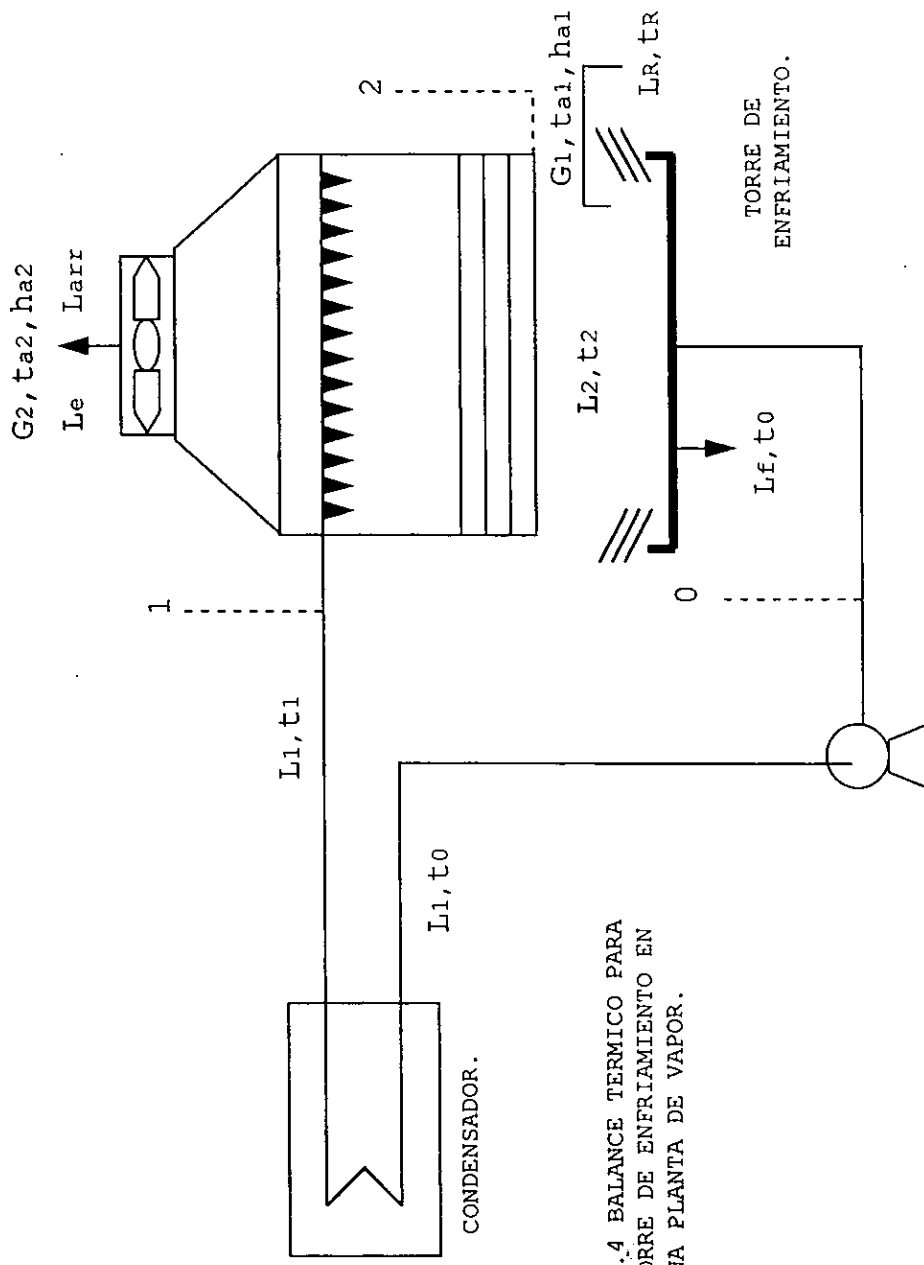


FIG. 1.4 BALANCE TERMICO PARA UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO EN UNA PLANTA DE VAPOR.

La cantidad de calor q_R que se rechaza en el condensador es igual a:

$$q_R = (L)(C_P)(t_1 - t_0) \quad 1.4.1$$

El balance entre la entrada de la torre y el relleno que es donde se realiza el enfriamiento es:

$$L_1 t_1 + G_1 h_{a1} = G_2 h_{a2} + L_{arr} t_{a2} + L_2 t_2 + L_{eta} t_2 \quad 1.4.2$$

G es la cantidad de aire seco en $lb/(h)(pie^2)$, por lo que es igual en la entrada y en la salida.

h_{a1} y h_{a2} son las entalpias totales del aire a la entrada y a la salida.

La cantidad de agua que entra a la torre es igual:

$$L = L_2 + L_{arr} + L_e + L_f \quad 1.4.3$$

L_2 es la cantidad de agua enfriada que sale del relleno en $lb/(h)(pie^2)$.

L_{arr} es la cantidad de agua que arrastra la corriente de aire en forma de gotitas, se limita a valores muy bajos del 1% de L dependiendo del eliminador de humedad.

L_e es la cantidad de agua evaporada, y su valor es pequeño el 2% de L .

Considerando el balance de toda la torre, se tiene la siguiente expresión:

$$L_1 t_1 + G_1 h_1 + L R_{TR} = L_2 t_2 + G_2 h_2 + L_{arr} t_2 + L_{f0} + L_{eta2} \quad 1.4.4$$

En la fórmula anterior, LR el agua que se tiene que reponer en la torre debido a las pérdidas por arrastre Larr y evaporación Le , fugas que haya en la pileta Lf.

La cantidad de agua que se tiene que reponer será por tanto:

$$LR = L_f + L_{arr} + L_e \quad 1.4.5$$

Debido a que Le, Larr, LR, Lf son cantidades relativamente pequeñas comparadas con L y la temperatura t0 es mas cercana a t2 las ecuaciones de balance 1.4.2 y 1.4.4 se pueden simplificar a la siguiente ecuación:

$$L_1 t_1 + G_1 h_1 = L_2 t_2 + G_2 h_2 \quad 1.4.6$$

Despejando L/G tenemos la ecuación de balance que más se emplea cuando se hace estudios de las torres de enfriamiento.

$$\frac{L}{G} = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \quad 1.4.7$$

Los valores de L y G, generalmente se toman por unidad de sección transversal horizontal del relleno de la torre.

De la ecuación 1.4.7 y de las relaciones $L = (WL/A)$, $G = (WG/A)$, se pueden expresar como:

$$\frac{L}{G} = \frac{\frac{WL}{A}}{\frac{WG}{A}} = \frac{ha1 - ha2}{t2 - t1} \quad 1.4.8$$

1.5 Ecuación Fundamental de las Torres de Enfriamiento.

Se puede establecer que el enfriamiento del agua de las torres se debe a dos procesos; la evaporación de una pequeña cantidad de agua y la transmisión del calor del agua al aire por convección (transmisión de calor sensible) debida a la diferencia de temperaturas de los dos fluidos.

La transmisión de calor dentro de una torre de enfriamiento, tomando en cuenta los dos procesos citados, esta dada por la siguiente ecuación deducida por Merkel:

$$dq = dAK (hw - ha) \quad 1.5.1$$

Esta expresión supone que el agua está rodeada por una capa de aire saturado que se encuentra a la misma temperatura del agua.

Debido a que la superficie de transmisión en las torres está compuesto por una serie de superficies, las cuales son difíciles de poderse evaluar, se prefiere tomar un valor promedio de esa superficie por unidad del relleno,

designando como "a" a ese valor ($\text{pie}^2/\text{pie}^3$) la expresión de Merkel se transforma en:

$$dq = Ka dV (h_w - h_a) \quad 1.5.2$$

En donde dq es la cantidad de calor transmitida en un volumen del relleno dV.

De las ecuaciones del balance térmico y de Merkel, tenemos que para un volumen dV el calor transmitido es igual a:

$$dq = (L) (C_p) (dt) = Ka dV (h_w - h_a) \quad 1.5.3$$

Considerando $C_p = 1$ y sustituyendo.

$$L dt = Ka dV (h_w - h_a) \quad 1.5.4$$

Despejando $dt/(h_w - h_a)$ tenemos:

$$\frac{dt}{(h_w - h_a)} = \frac{Ka dV}{L} \quad 1.5.5$$

Integrando:

$$\frac{KaV}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dt}{(h_w - h_a)} \quad 1.5.6$$

Que es el resultado de estudios realizados por Merkel, mismo nombre con el se le conoce a la integral, y sirve de base para el cálculo de las torres de enfriamiento.

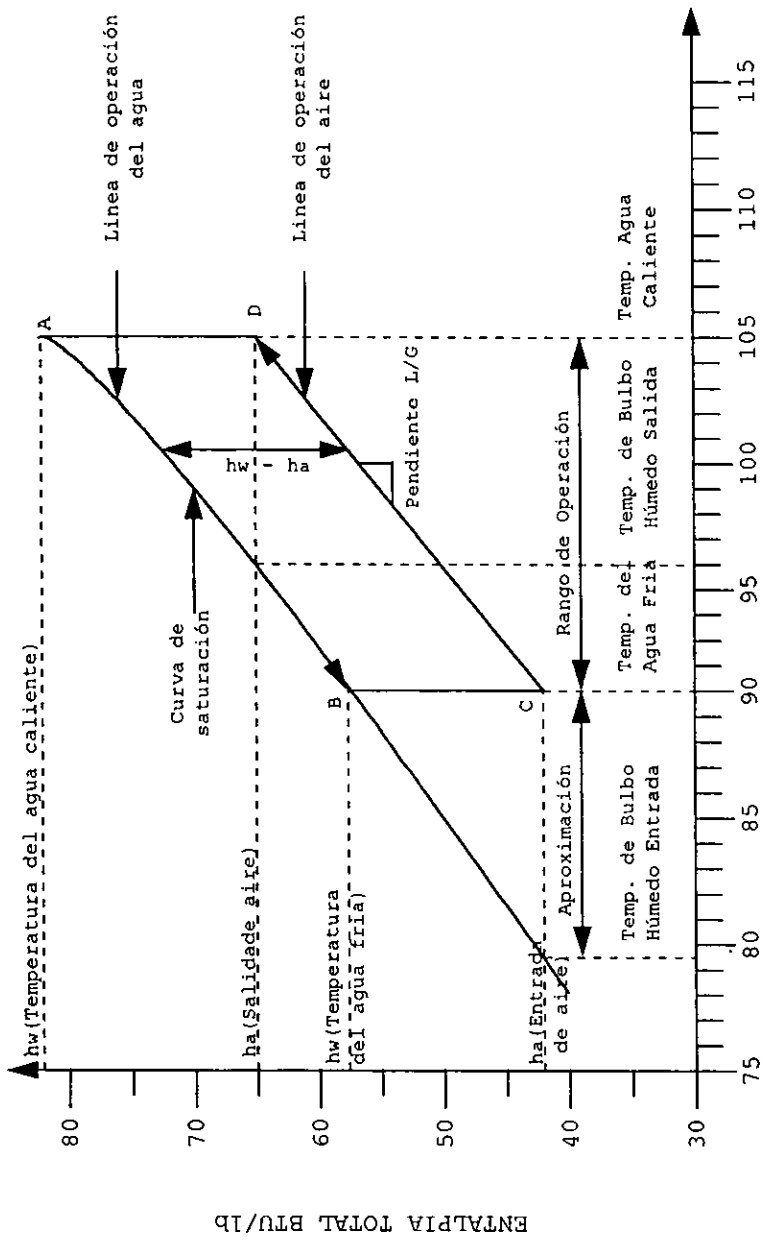
El lado izquierdo es conocido como característica de la torre. El lado derecho se le conoce como las unidades de transferencia de la torre, las cuales dependen de las temperaturas del agua y de las temperaturas de bulbo húmedo en la entrada y la salida.

1.6 Representación del Proceso en la Torre de Enfriamiento.

En la figura 1.5 se ilustran las relaciones del agua y el aire y el potencial impulsor que existe en una torre de enfriamiento. La comprensión de este diagrama constituye una base importante para entender el proceso de la torre de enfriamiento.

La línea de operación del agua que esta representada por la línea AB y se especifica por medio de las temperaturas del agua de la torre en la entrada y la salida. La línea de operación del aire principia en C, verticalmente por debajo de B, y en un punto que tiene una entalpia correspondiente a la temperatura de entrada de bulbo húmedo. La línea BC representa la fuerza impulsora inicial ($h_w - h_a$). La relación del liquido/gas L/G es la pendiente de la línea de operación. El aire que sale de la torre se representa por medio del punto D y la gama de enfriamiento es la longitud proyectada de la línea CD sobre la escala de temperaturas.

La diferencia útil de temperaturas en la torre de enfriamiento se ilustra en la figura, como la diferencia entre la temperatura del agua fría que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente.



TEMPERATURA DEL AGUA °F

FIG. 1.5 PROCESOS EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Las coordenadas se refieren directamente a la temperatura y la entalpía de cualquier punto en la línea de operación del agua; pero, en la línea de operación del aire, la referencia se hace tan solo a la entalpía en un punto. La temperatura de bulbo húmedo correspondiente a cualquier punto de CD se encuentra proyectando dicho punto en sentido horizontal a la curva de saturación y luego en sentido vertical a la coordenada de temperaturas. La integral (ecuación 1.5.6) se representa por medio del área ABCD de esta figura, y dicho valor se conoce como característica de la torre, que varia con la razón L/G.

CAPITULO II.

TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

2.1 Torre Atmosférica.

Se caracterizan en que para su funcionamiento, solo requieren la energía consumida por la bomba que lleva el agua a los pulverizadores o toberas.

El agua se distribuye desde una serie de toberas colocadas en la parte superior de la torre. La velocidad del viento es un factor decisivo en este tipo de torres, las cuales sufren una notable reducción en su funcionamiento ciertos días calurosos del año, que coinciden con una velocidad nula del viento. Las casas que fabrican estas torres, garantizan su funcionamiento para velocidades mayores de 4.60 pies/seg (5 Km/hr) y las recomienda para lugares donde la velocidad es constante. Las perdidas de agua llegan a ser considerables si la velocidad es excesiva.

En estas torres el flujo de aire es cruzado con respecto al flujo de agua ya que esta última cae verticalmente por gravedad, mientras que el aire corre horizontalmente.

Se distinguen dos clases de torres de este tipo.

1.- Sin relleno dispersor figura 2.1

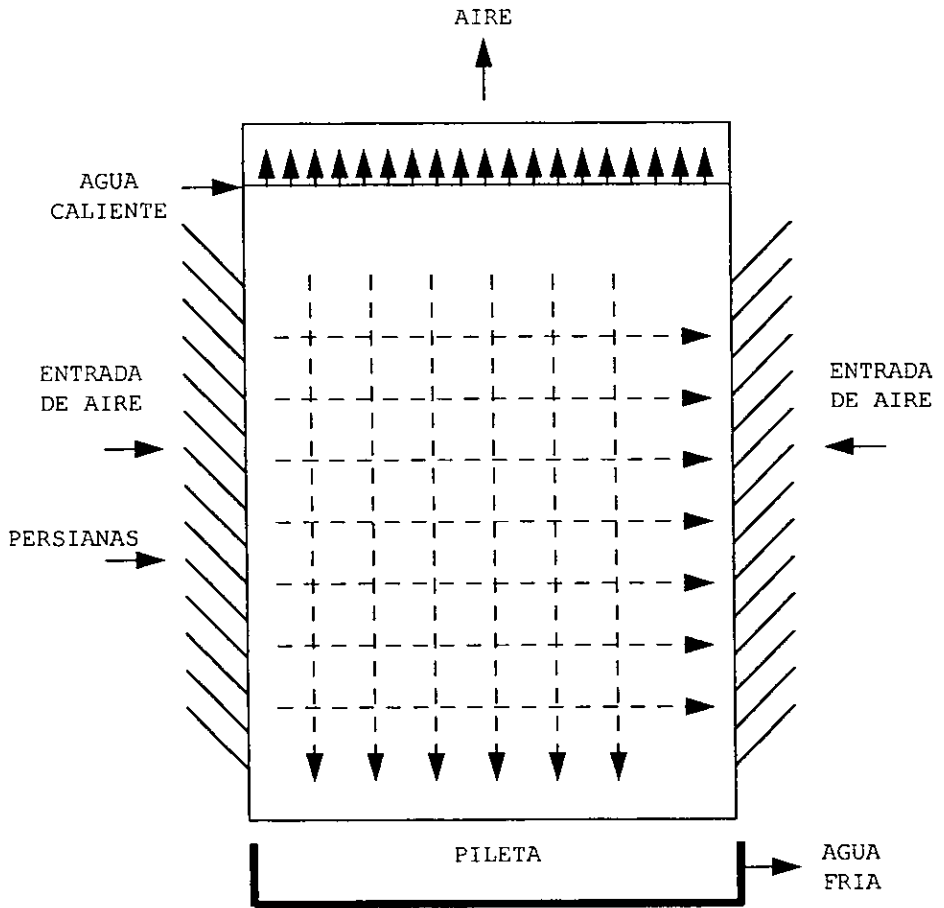


FIG 2.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO ATMOSFERICA SIN RELLENO DISPERSOR

2.- Con relleno dispersor figura 2.2

En las del primer tipo de dispersión para aumentar la superficie de contacto entre el agua y el aire se logra, como se dijo anteriormente, a base de toberas, colocadas en la parte superior de la torre, siendo esta torre muy similar a un estanque con aspersores pero de forma alargada colocada normal a la dirección prevalente del viento y con las paredes de persianas, de altura considerable.

Las del segundo tipo contienen en su interior una serie de elementos, llamados relleno, generalmente de madera, aunque también pueden ser de plástico, asbesto cemento, tabique de barro esmaltado, que dispersan al agua al ir cayendo y aumentar el tiempo y la superficie de contacto entre el aire y el agua.

Las torres sin relleno dispersor son principalmente adecuadas para llevar pequeñas cargas de refrigeración y pueden tener operación sin problemas por varios años y casi sin ningún mantenimiento; sin embargo, son realmente ineficaces y tienen mayor consumo de bombeo que las de relleno dispersor por ser en general más altas y por la pérdida de carga que sufre el agua en las toberas.

El área ocupada por torres sin relleno es aproximadamente 15 veces y las de relleno 4 veces la ocupada por una torre de tiro mecánico de carga térmica similar.

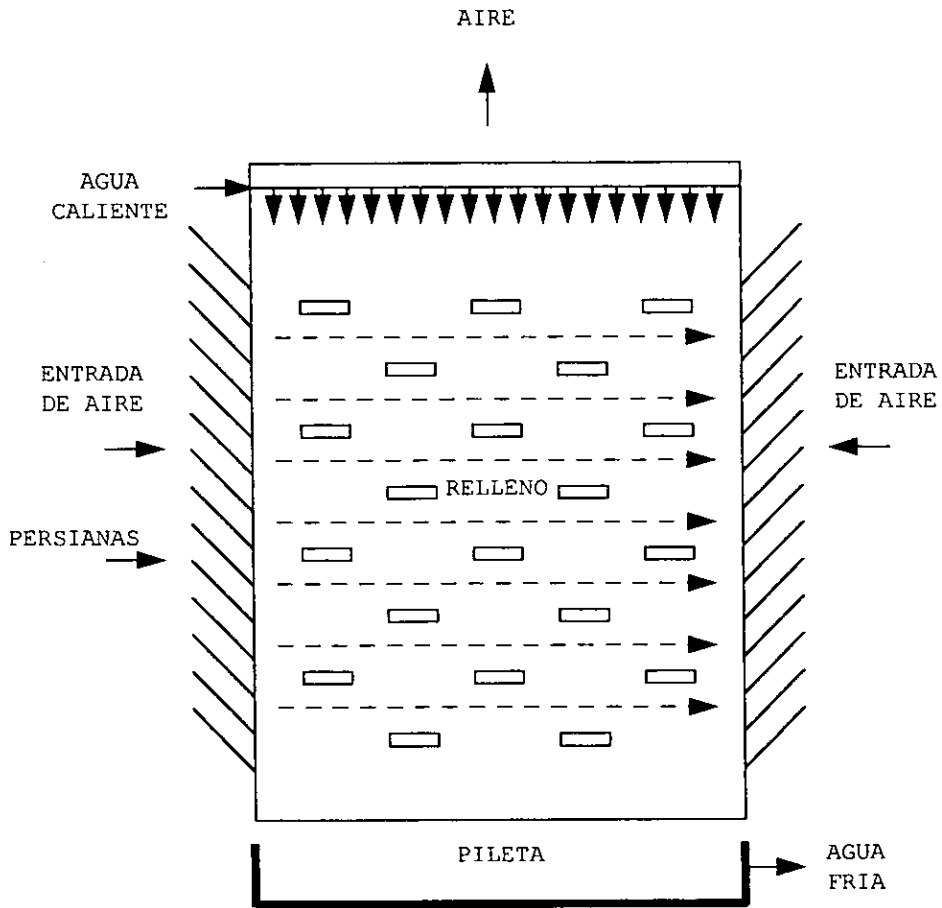


FIG 2.2 TORRE DE ENFRIAMIENTO ATMOSFERICA CON RELLENO DISPERSOR

2.2 Torres de Tiro Hiperbólico.

Las torres de tiro hiperbólico como se muestra en la figura 2.3 ocupan un volumen mayor a igualdad de capacidad de enfriamiento que las torres de tiro inducido o las torres de tiro forzado; esto se debe a que las velocidades del aire son frecuentemente bajas y a que la dirección del viento es variable.

Debido a que los pasajes o conductos por los que pasa el aire deben diseñarse lo mas abiertos y libres de obstrucciones posibles para facilitar la circulación, el rocío arrastrado por vientos mas fuertes, puede ser considerable y aun molesto cuando los vientos sean de mayor intensidad. Las torres mas pequeñas son por lo general de forma mas o menos cuadrangular.

Las torres mayores conservan, por lo general, una sección angosta y son amplias incrementando la altura y la longitud, orientándose de modo tal que la gran superficie lateral se vea expuesta a los vientos dominantes.

El relleno se coloca en la parte baja de una gran chimenea de concreto (a una altura de 30 pies o menos), el aire, que se calienta al enfriar el agua, produce un tiro, induciendo el flujo de aire a través de la torre aun cuando no sople el viento.

Todo lo anterior nos lleva determinar que las condiciones favorables para la instalación de la torres de tiro natural, deben ser las correspondientes a lugares donde la

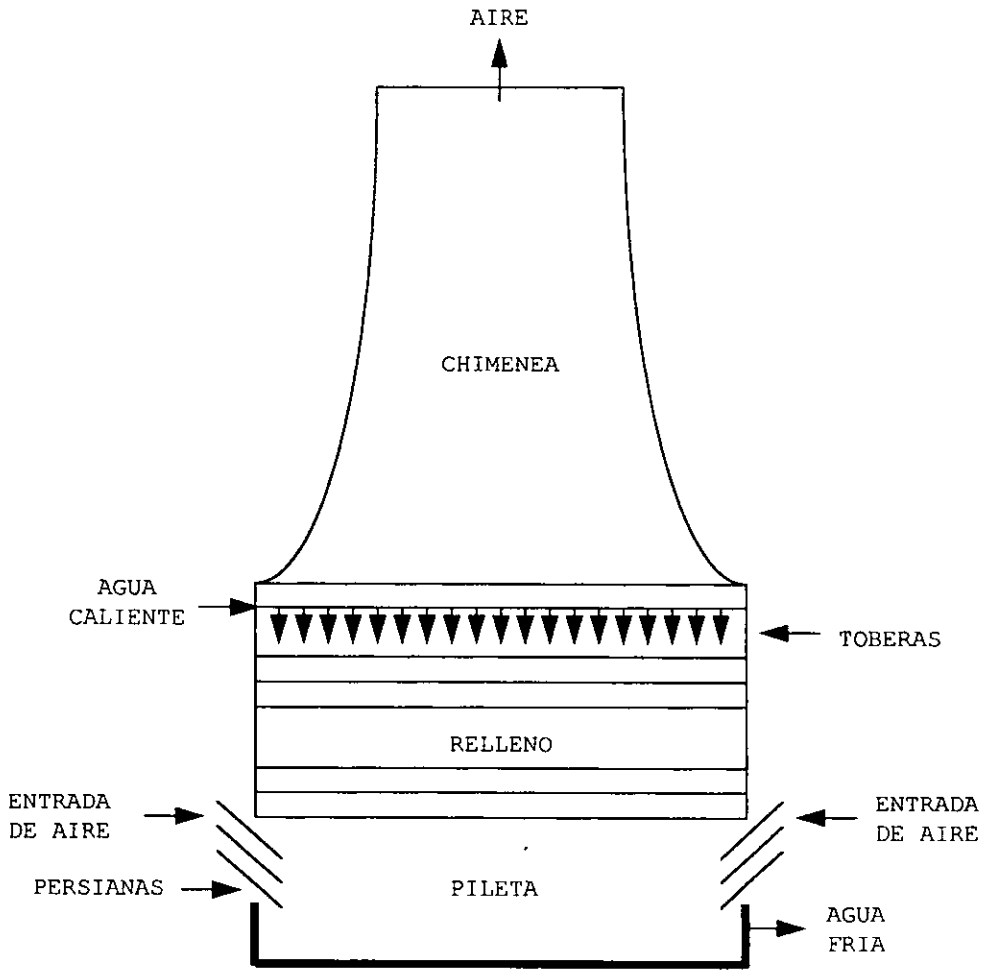


FIG. 2.3 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO HIPERBOLICO.

temperatura de bulbo húmedo sea baja y la humedad relativa sea alta, ya que esto da como resultado una diferencia de densidades alta, lo que viene a reducir la altura de la torre y por consecuencia su costo, de manera que la instalación de torres de este tipo, bajo las condiciones climatológicas mencionadas, da como resultado que los efectos de flujo natural estén acordes con la demanda de potencia.

2.3 Torre de Tiro Forzado.

Las torres de enfriamiento de tiro forzado están generalmente dotadas de un ventilador con su eje horizontal en el lado de la torre el cual descarga el aire hacia atrás como lo muestra la figura 2.4.

El flujo del aire es dirigido después hacia arriba por medio de mamparas, haciéndolo pasar a través de la corriente descendente del agua, después de lo cual es descargado por la parte superior a través de un sistema que elimina el rocío. Ya que la totalidad de la superficie de la parte superior de la torre es usada para la descarga del aire, la velocidad del aire de salida es mas baja que las velocidades de descarga de las torres de tiro inducido.

El tamaño de los ventiladores es generalmente menor a 10 pies (3.05 m) de diámetro, lo que permite a su vez el uso de motores de mas baja velocidad, que eliminan la necesidad de engranes reductores para mover el ventilador.

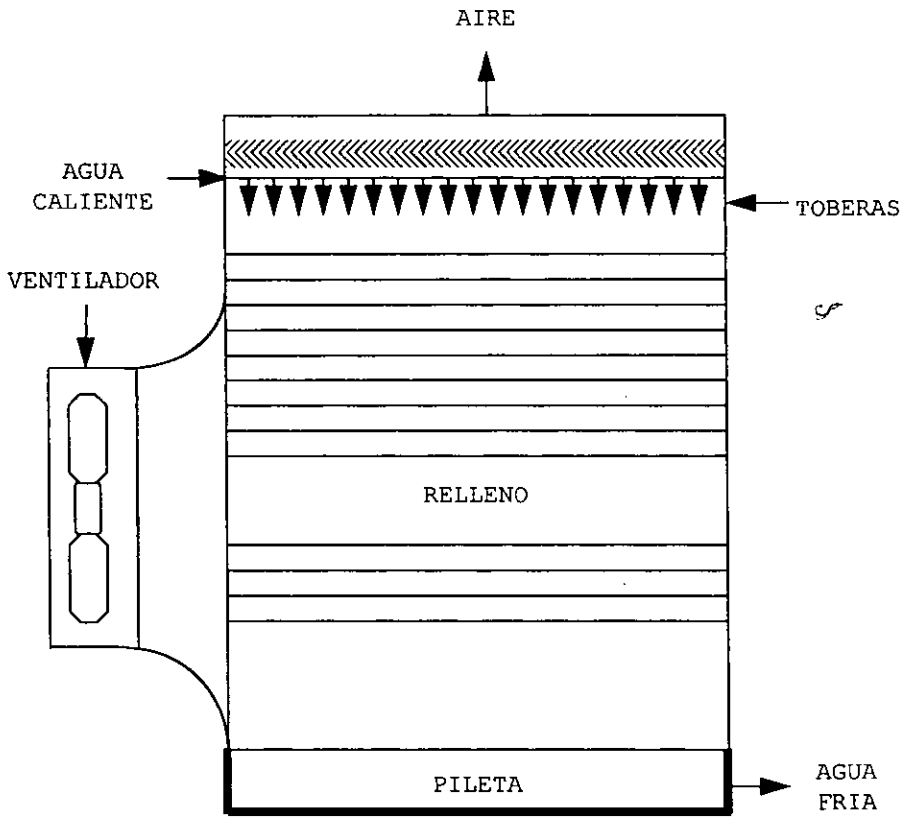


FIG. 2.4 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO FORZADO.

En las torres de tiro forzado existe la posibilidad, en tiempo de heladas, de que se forme hielo en los abanicos con el daño consiguiente, debiéndose vigilar la operación de la torre cuando el clima lo haga necesario.

En este caso las pérdidas de agua por arrastre, son despreciables, además ofrecen gran capacidad de enfriamiento, con su consecuente reducción de espacio.

2.4 Torre de Tiro Inducido.

Las torres de tiro inducido tienen los ventiladores colocados a la salida de la torre; pueden ser de contraflujo o de flujo cruzado.

Torre de Tiro Inducido de Contraflujo.

En una torre a contraflujo como lo muestra la figura 2.5 el aire penetra por la parte inferior de dos o los cuatro costados de la base. Al hacerlo, atraviesa unas persianas que tiene por objeto detener las basuras que pudiera traer consigo el aire, así como regular y distribuir uniformemente el flujo de aire en la torre. A continuación, el aire inicia su recorrido ascendente a través del relleno, pasando después por los eliminadores de humedad y siendo expulsado finalmente por el ventilador. El relleno, en el cual se lleva a cabo un rompimiento efectivo del flujo descendente del agua, permite un contacto directo entre los dos fluidos que atraviesan la torre en direcciones contrarias.

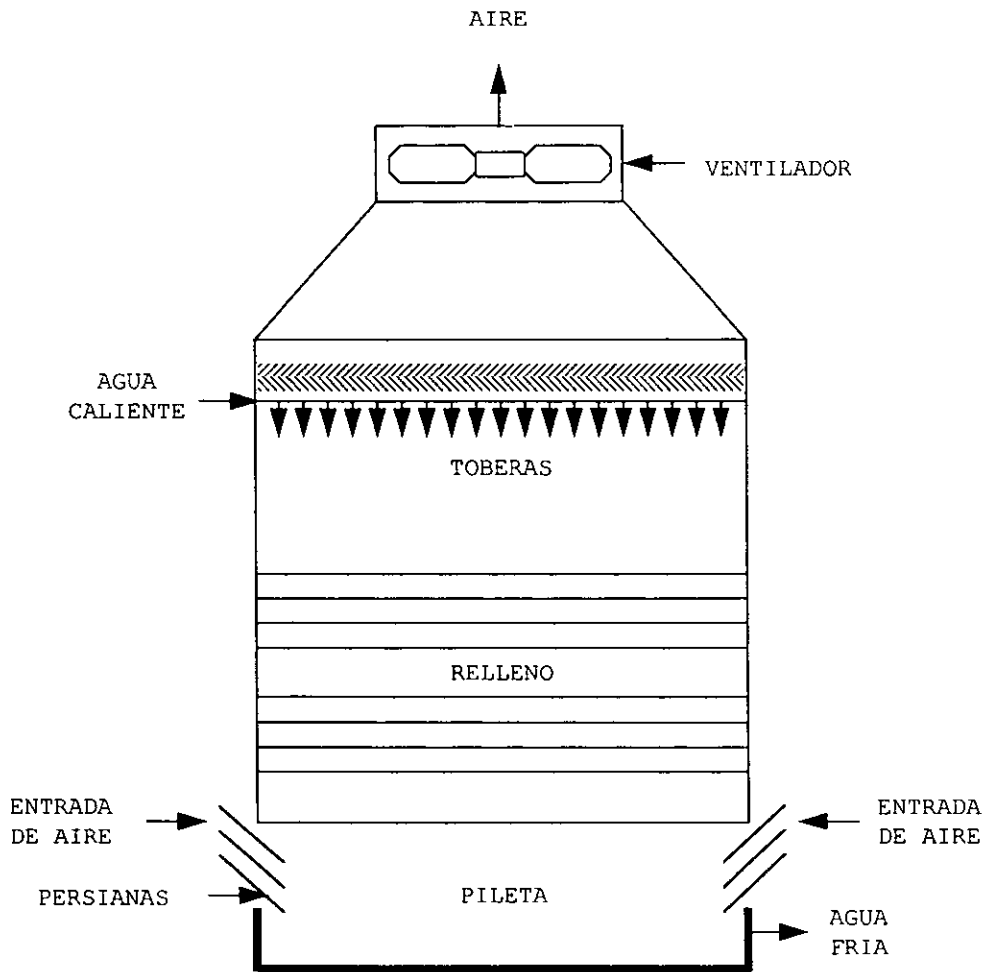


FIG. 2.5 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO CONTRAFLUJO.

Las torres de contraflujo pueden utilizarse para cualquier aplicación en plantas termoeléctricas de vapor, pero donde presentan mejores ventajas que compiten con las torres de flujo cruzado, es para el servicio de pequeña y mediana capacidad (hasta unidades de 75 MW).

Torre de Tiro Inducido de Flujo Cruzado.

En una torre de flujo cruzado, como lo muestra la figura 2.6 el aire penetra por dos de los costados, cuyas persianas abarcan la totalidad de la superficie de ese costado, de esta manera se logra que el aire penetre a la torre por todo el costado o pared, lográndose así emplear una gran cantidad de aire. Al pasar las persianas, el aire traspasa el relleno en sentido horizontal hasta llegar al centro de la torre. En este punto atraviesa los eliminadores de humedad, los cuales consisten en un conjunto de tablillas paralelas e inclinadas, que se encuentran colocadas en doble capa. A continuación el aire inicia un movimiento ascendente, atraído por el ventilador, que se halla en la parte superior del hueco que forma en el centro de la torre. El cambio que experimenta la dirección del flujo del aire es de 90° , razón por la cual se le da el nombre de flujo cruzado a este sistema.

Las torres de flujo cruzado pueden utilizarse en general para cualquier aplicación en plantas de vapor, pero en donde presentan mayores ventajas que los otros tipos es para el servicio de unidades turbogeneradoras de mediana y gran capacidad (40 a 300 MW).

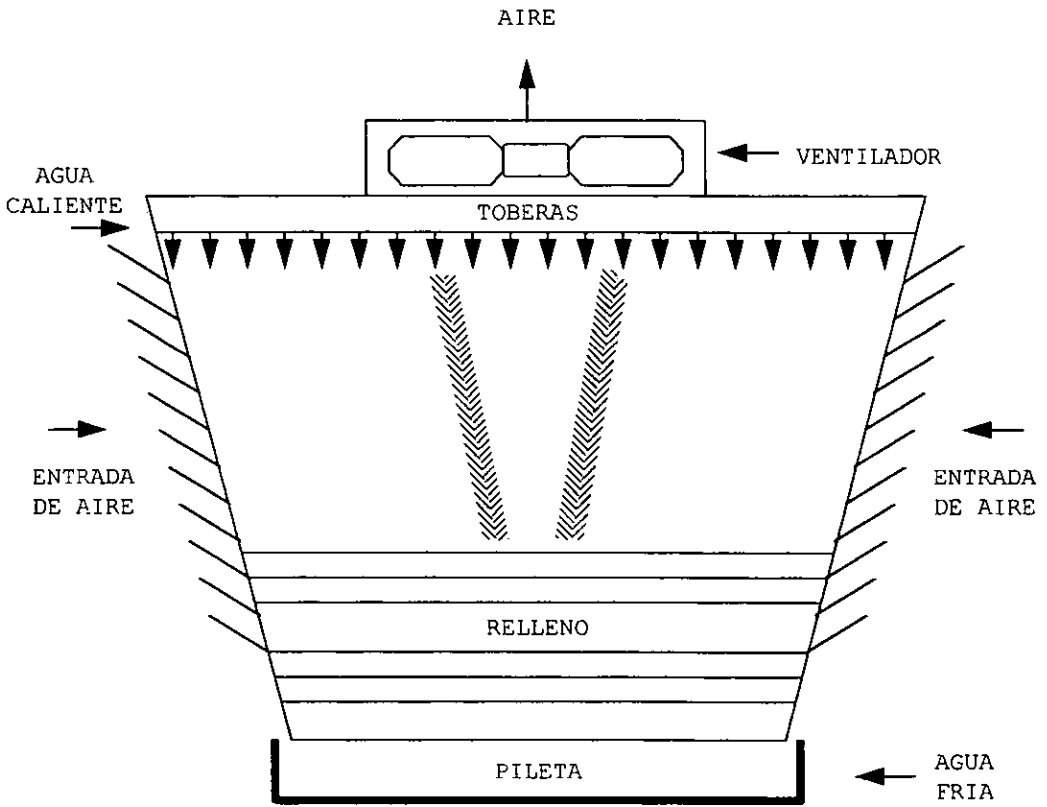


FIG. 2.6 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO DE FLUJO CRUZADO.

CAPITULO III.

PARTES PRINCIPALES DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

En la figura 3.1 que es un corte transversal de una torre de tiro inducido en ella se muestran sus partes principales.

3.1 Relleno

El relleno constituye la parte principal de las torres, pues es ahí en donde se realiza el enfriamiento, por lo que el buen funcionamiento de una torre depende de que se tenga un relleno adecuado.

Desde el punto de vista de funcionamiento, el relleno debe tener las siguientes características:

- 1.- El valor del K_a debe de ser lo mas elevado posible, para transmitir la mayor cantidad de calor en un volumen determinado.
- 2.- La resistencia al flujo de aire (caída de presión) debe ser la menor posible, para que la potencia de los ventiladores o altura en las torres de tiro natural no sean excesivas.

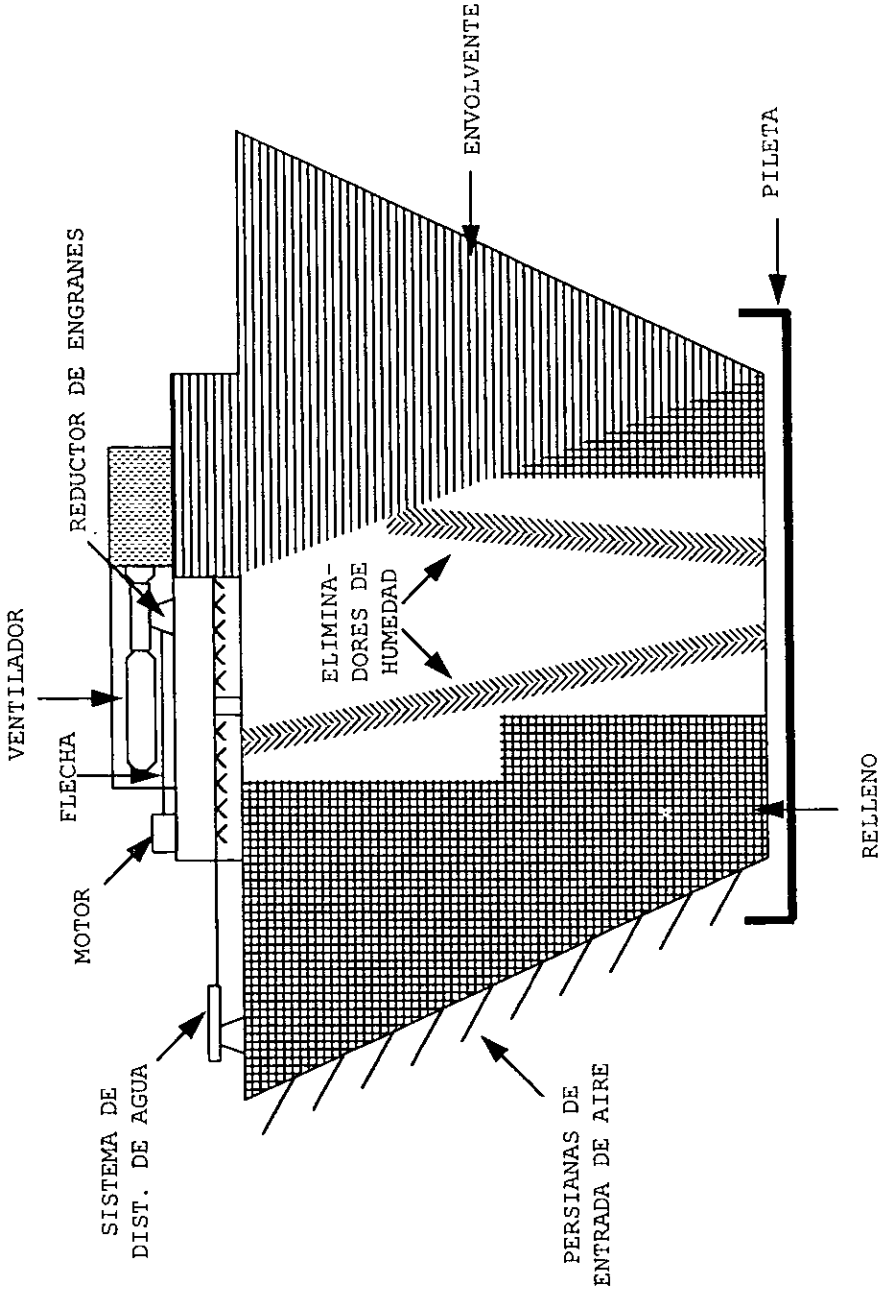


FIG. 3.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO.

Las características citadas son opuestas, ya que en general puede decirse que para tener un coeficiente de transferencia de calor elevado, la resistencia también es elevada, por lo que hay que hacer un balance entre estas dos características para hacer que el relleno sea el mas adecuado.

Desde el punto de vista de los materiales empleados en el relleno, estos deben tener las siguientes características:

1.- Tener la suficiente resistencia mecánica para soportar las cargas a que están sujetos. Estas cargas son:

a).- Cargas de impacto en los rellenos de salpicadura, debido al golpe continuo de las gotas de agua que caen en los elementos.

b).- Peso del agua que permanece continua y momentáneamente en los elementos.

c).- El peso propio de los elementos.

2.- Ser resistentes a las acciones erosivas del agua y aire.

3.- No deformarse o deformarse lo menos posible, para las condiciones de operación a que están sujetas, como alta temperatura, humedecimiento, cargas que soportan, etc.

4.- Deben resistir el ataque químico o biológico del aire y agua que circula en la torre.

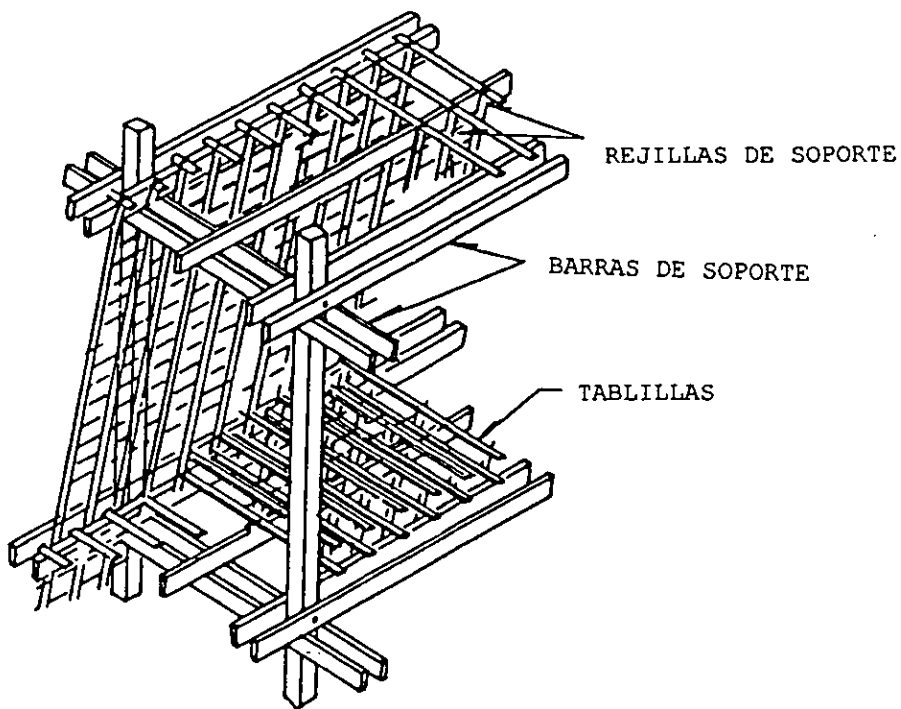
Los elementos del relleno del tipo de salpicadura mas comúnmente usados, son tablillas con una sección rectangular, de un espesor mínimo de 3/8 pulg., colocadas horizontalmente o verticalmente. También se emplean arreglos similares con tablillas de otras secciones (cuadrada, rombo, triangular), pero son menos comunes. Otras disposiciones consisten en que los elementos se encuentran a 90°, con respecto a los de los niveles contiguos. En la figura 3.2 se muestran partes de relleno del tipo salpicadura.

En la figura 3.3a y 3.3b se muestran algunas de las disposiciones más empleadas en rellenos del tipo película.

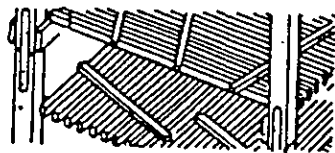
Los materiales mas empleados para los elementos de relleno, son: madera sin tratar, como el pino gigante de California, o maderas tratadas, como el pino amarillo, alcahuite, abeto Douglas; laminas de asbesto planas o acanaladas para rellenos del tipo de película; materiales sintéticos reforzados con el polietileno, poliestireno, polipropileno, etc., para ambos tipos.

Los elementos de relleno se deben de soportar a intervalos cortos, como por ejemplo para las tablillas se recomienda soportarlas en claros menores de 6 pies (1.8 m.)

Los elementos de soporte mas empleados, son largueros de madera, aunque algunos fabricantes han empleado elementos de soporte en forma de rejillas, como los de la figura 3.2

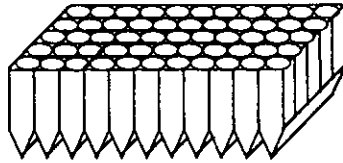


TABLILLAS RECTANGULARES PARALELAS

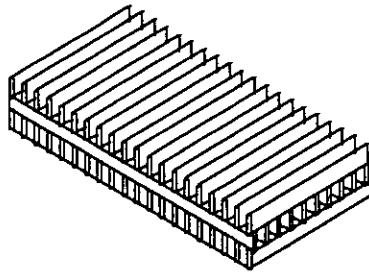


TABLILLAS RECTANGULARES A 90°

FIG. 3.2 RELLENOS DEL TIPO SALPICADURA

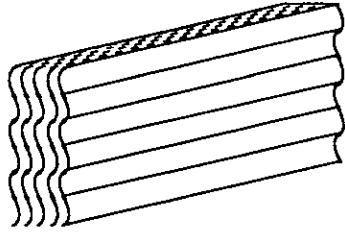


PANAL DE PLASTICO.

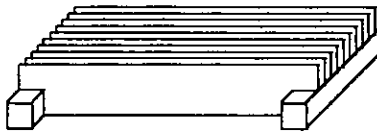


PARRILAS DE MADERA A 90°

FIG. 3.3a RELLENO DEL TIPO PELICULA.



LAMINAS CORRUGADAS DE
ASBESTO, METAL O PLASTICO



LAMINA DE ASBESTO.

FIG. 3.3 b RELLENO DEL TIPO PELICULA.

hechas de material sintético o de acero galvanizado. Con este ultimo tipo de soportes se ahorra espacio y peso.

3.2 Sistema de Distribución de Agua.

El sistema de distribución de agua tiene por objeto distribuir en forma adecuada y uniforme el agua que se va a enfriar sobre el relleno. Hay dos sistema empleados en torres de enfriamiento, que son el de presión y el de gravedad.

El sistema de presión consiste en uno o varios cabezales, a los cuales están conectados ramales que se distribuyen en todo el relleno; en la parte inferior de los ramales que se distribuyen sobre todo el relleno; se encuentran boquillas por donde sale el agua a presión, en la figura 3.4 se indica una parte del sistema de este tipo. En algunas torres de tiro natural, las boquillas se colocan en la parte superior para hacer que el agua salga hacia arriba y recorra cierta distancia y de esta manera se realice ahí parte del enfriamiento.

El sistema de presión se emplea normalmente en torres de tiro mecánico Las presiones a las que se encuentra el agua en el primer sistema, son del orden de 0.07 Kg./cm^2 (1 psia.) y en el segundo orden 0.5 Kg./cm^2 (7 psia.).

Los materiales más empleados para los cabezales y ramales son tuberías de acero galvanizado en caliente, o hierro fundido.

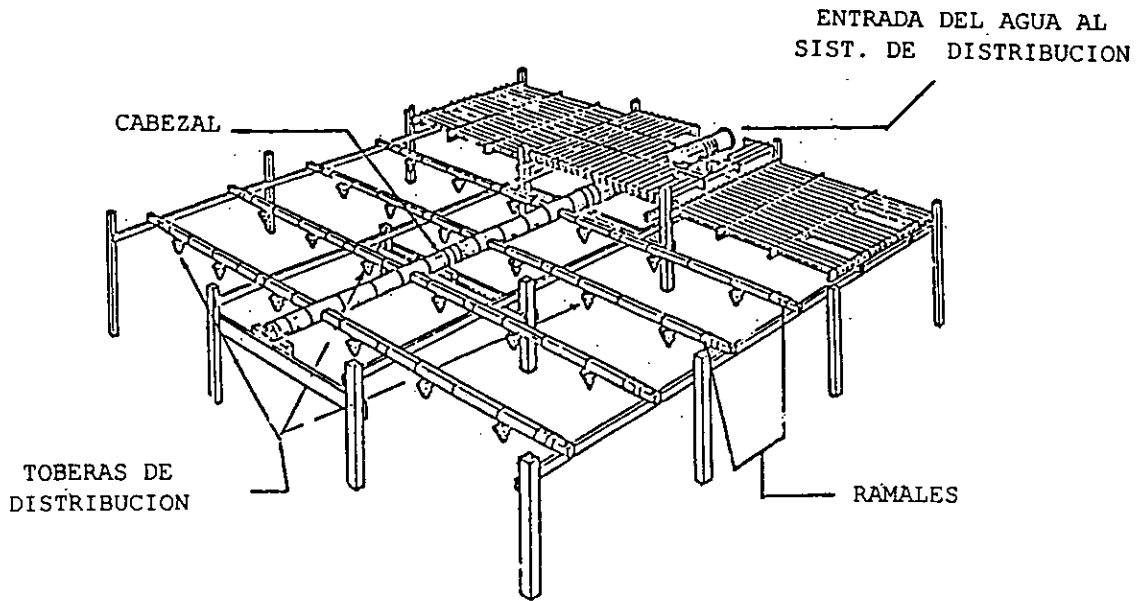


FIG. 3.4 SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA A PRESION.

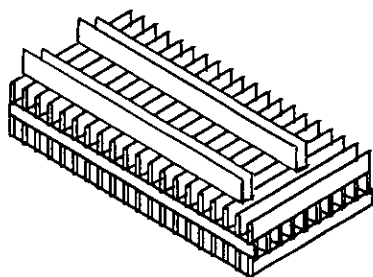
Las boquillas se hacen de porcelana o de algún material plástico que resista la erosión del flujo de agua ; normalmente debajo de las boquillas se coloca un plato para dispersar el agua que sale de estas, produciéndose así una distribución del agua más uniforme.

Los problemas que se presentan con este tipo de sistema son:

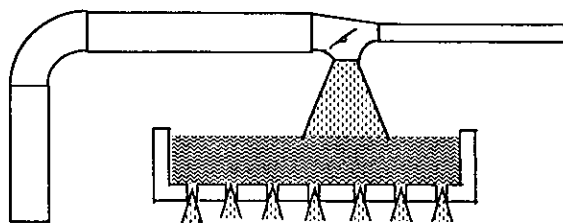
Que el flujo de agua no puede distribuirse de una manera mas uniforme a través de todos los ramales, debido a las bajas presiones que se tienen y la forma misma de las tuberías. La limpieza y reparación de las boquillas es difícil de llevar a cabo y no se pueden realizar cuando esta en operación la torre y la carga de bombeo se debe de aumentar para tener presión en el sistema, lo que aumenta la potencia de bombeo.

Los sistemas de gravedad consisten en una serie de canales distribuidos sobre el relleno o es un verdadero recipiente que ocupa toda la parte superior del relleno de la celda, que cuentan con orificios en el fondo por donde el agua sale y golpea contra los elementos de rellenos superiores. En la figura 3.5 se muestran sistemas de este tipo.

Para los rellenos del tipo de película, se emplea un sistema de distribución de canales como el de la fig. 3.5 Como se puede observar en este caso, el agua escurre por ranuras hechas sobre el relleno.



TIPO DE CANALES



TIPO RECIPIENTE

FIG. 3.5 SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA POR GRAVEDAD.

El material más empleado tanto para los canales, como para el recipiente, es triplay de madera tratada, los orificios están hechos de algún material sintético como el propileno, acero inoxidable, porcelana etc.

Las ventajas de estos tipos de sistema, son:

- a).- El agua se puede distribuir en una forma mas uniforme que el caso anterior.
- b).- Los orificios pueden ser reparados fácilmente.
- c).- En el caso del tipo recipiente, pueden repararse o limpiarse aun en operación, aislando únicamente la parte en donde se tenga el defecto.

Las desventajas que presentan son:

- a).- Que al estar abiertos están expuestos a que se depositen las impurezas que trae el aire.
- b).- Que se puedan desarrollar materias orgánicas a ellas.

3.3 Persianas de Entrada.

Las persianas de entrada, tienen por objeto evitar las fugas de agua por las entradas de agua y guiar de una manera eficiente y adecuada el flujo de aire que entra a la torre. En la figura 3.6 se puede observar la disposición de

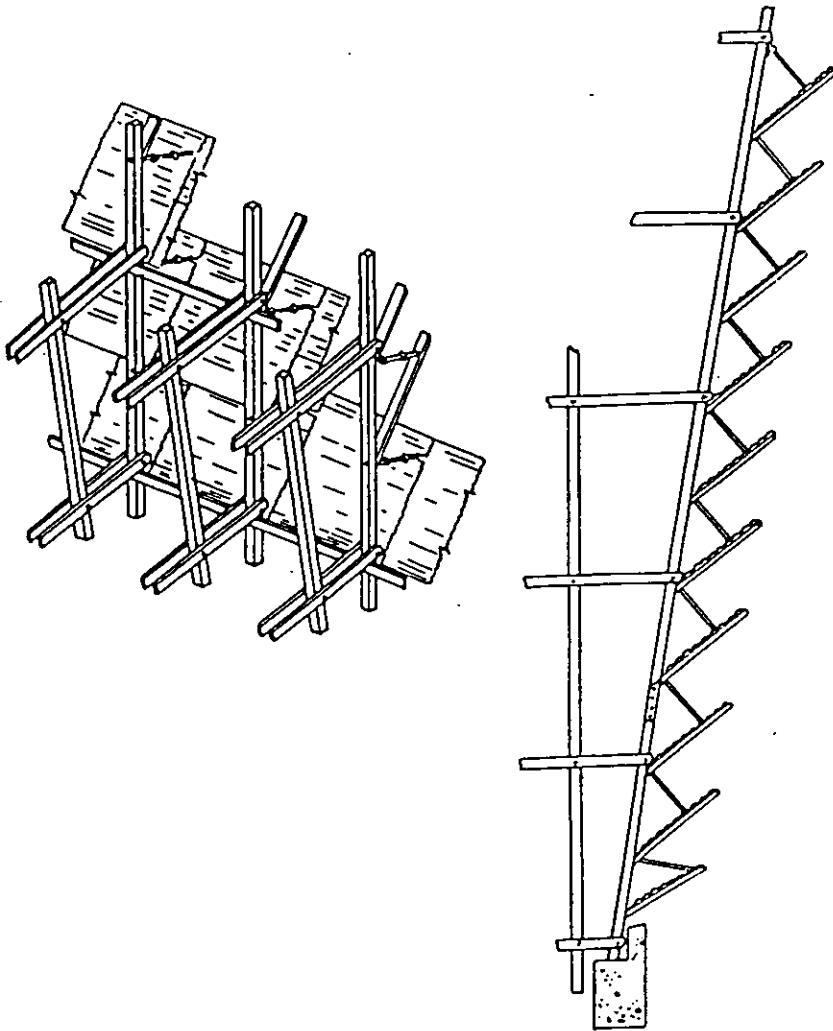


FIG. 3.6 PERSIANAS DE ENTRADA DE AIRE
EN TORRES DE TIRO MECANICO

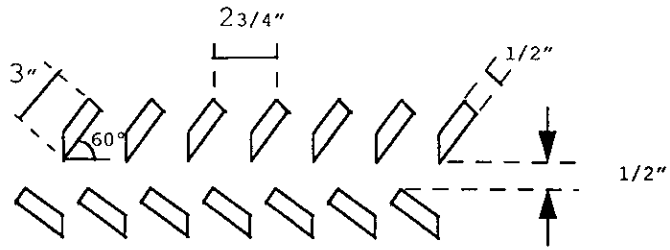
las persianas; las hojas de la persiana están formadas por laminas de asbesto corrugadas o de algún tipo de madera. La inclinación el ancho de las hojas están determinadas por las dos condiciones citadas anteriormente, por una parte con mayor inclinación y ancho, se tienen menos fugas, pero se tiene una resistencia al flujo de aire mayor, por lo cual debe llegarse a una solución intermedia.

3.4 Eliminadores de Humedad.

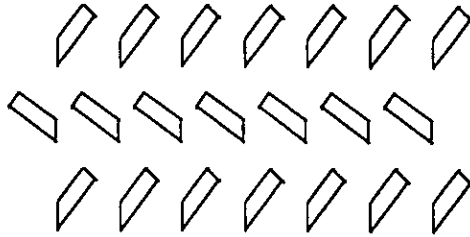
El propósito principal de los eliminadores de humedad, es remover el agua acarreada por el flujo de aire que sale de la torre. Todos los tipos de eliminadores trabajan por el principio de provocar cambios bruscos de dirección del aire, para que las gotas acarreadas por el mismo se separan del flujo de aire, debido a fuerzas centrifugas producidas. Las gotas separadas se depositan en los separadores regresando de esa manera a la torre. Otro objeto de los eliminadores es igualar a la presión del aire para tener un flujo uniforme en el relleno de la torre.

Los eliminadores se clasifican como eliminadores de uno, dos o tres pasos, dependiendo del numero de cambios de dirección, que sufra el aire. En la figura 3.7 se muestran algunos tipos de eliminadores; con los eliminadores se logra que el arrastre llegue a valores inferiores de 1% del agua enfriada.

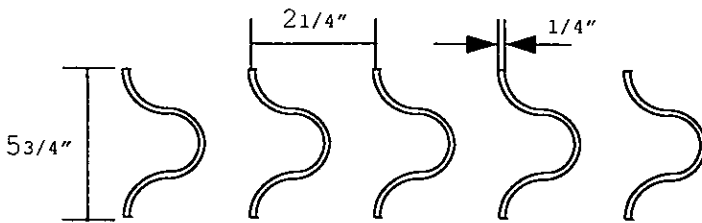
Puesto que los eliminadores están sujetos a una atmósfera altamente corrosiva y erosiva, los materiales de los elementos deben soportar esas condiciones. Los materiales



ELIMINADORES DE HUMEDAD DE
MADERA DE DOS PASOS



ELIMINADORES DE HUMEDAD DE
MADERA DE TRES PASOS



ELIMINADORES DE
HUMEDAD DE ASBESTO

FIG. 3.7 TIPOS DE ELIMINADORES DE HUMEDAD

mas utilizados para esos elementos son la madera tratada y laminas de asbesto.

3.5 Ventiladores.

Los ventiladores empleados en torres de tiro inducido, son del tipo axial, con varias aspas, por ser éstos los adecuados para las condiciones que se tienen en esas torres; o sea gran volumen de aire manejado y una carga dinámica pequeña (del orden de 20 mm. de columna de agua).

Las torres de gran capacidad como son las empleadas en las plantas termoeléctricas, están formadas por celdas que funcionan como unidades independientes, teniendo cada uno su propio ventilador.

Generalmente se procura tener el menor número de celdas, por lo que se tiende a utilizar ventiladores de gran tamaño. Los diámetros de los ventiladores del tipo de torres citadas, varia de 20 a 30 pies (6 a 10 m).

Las aspas de los ventiladores de las torres son de forma alargada y tienen una forma aerodinámica que hace que la operación del ventilador sea suave, sin vibraciones y pulsaciones excesivas. El número de aspas varia de acuerdo con el fabricante y las condiciones que se encuentren. Las aspas deben resistir las condiciones corrosivas o erosivas del flujo de aire que manejan. Los materiales mas comúnmente usados para estas aspas y que han dado los mejores resultados, son las aleaciones de aluminio fundido, resinas termoplásticas reforzadas con fibra de vidrio como

el poliester, laminas de acero inoxidable recubriendo el armazón de acero al carbón y madera tratada maquinada.

La velocidad de los ventiladores depende del diseño y de la velocidad máxima permitida en la punta de las aspas. Las velocidades son del orden de 150 r.p.m. y las velocidades permitidas en las puntas son del orden de 75 m./seg. (250 pies/seg.).

Para calcular la potencia de los ventiladores se aplica una regla práctica(1) en que la potencia que se requiere para manejar el flujo de aire es que por cada 8000 pies³/min. se requiere un HP., Quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$P_v = \frac{(W_G)}{(8000)}$$

En donde:

P_v es la potencia en HP.

W_G es el volumen de aire manejado en pies³/min.

El cilindro de los ventiladores de tiro inducido, generalmente se prolonga hacia arriba, con objeto de mejorar el funcionamiento de los ventiladores y hacer que el aire húmedo que sale se descargue lo más alto que sea posible para evitar problemas con los equipos cercanos a las torres o en la misma torre.

Actualmente se han empleado cilindros en forma de venturis, colocando el ventilador en su garganta, esta disposición hace que las pérdidas en la entrada del ventilador se reduzcan y que se recupere parte de la carga de velocidad al descargar el aire a menor velocidad que la tenida en el ventilador.

En Europa se han utilizado cilindros muy altos para producir un efecto de chimenea, similar al de las torres de tiro natural y ahorrar de esta manera potencia en los ventiladores.

El claro entre la punta de las aspas y la pared del cilindro es muy importante, pues este depende en gran parte la eficiencia y el nivel de ruido que se pueda tener, mientras mas pequeño sea el claro se tienen mejores eficiencia y menores niveles de ruido; claros de 9 a 13 mm, se han encontrado que dan mejores resultados.

Los cilindros deben soportar las vibraciones producidas por la operación del ventilador y las condiciones del aire húmedo y caliente que manejan. Los materiales que se emplean son de alguna clase de madera tratada o de algún tipo de plástico moldeado.

Reductor de Engranés.

El arreglo del conjunto motor-flecha-ventilador como lo muestra la figura 3.8, es el arreglo típico de las torres de tiro inducido. Esta disposición se ha encontrado que es la mas adecuada, ya que el motor queda fuera de la corriente de aire húmedo. Todos los elementos de este

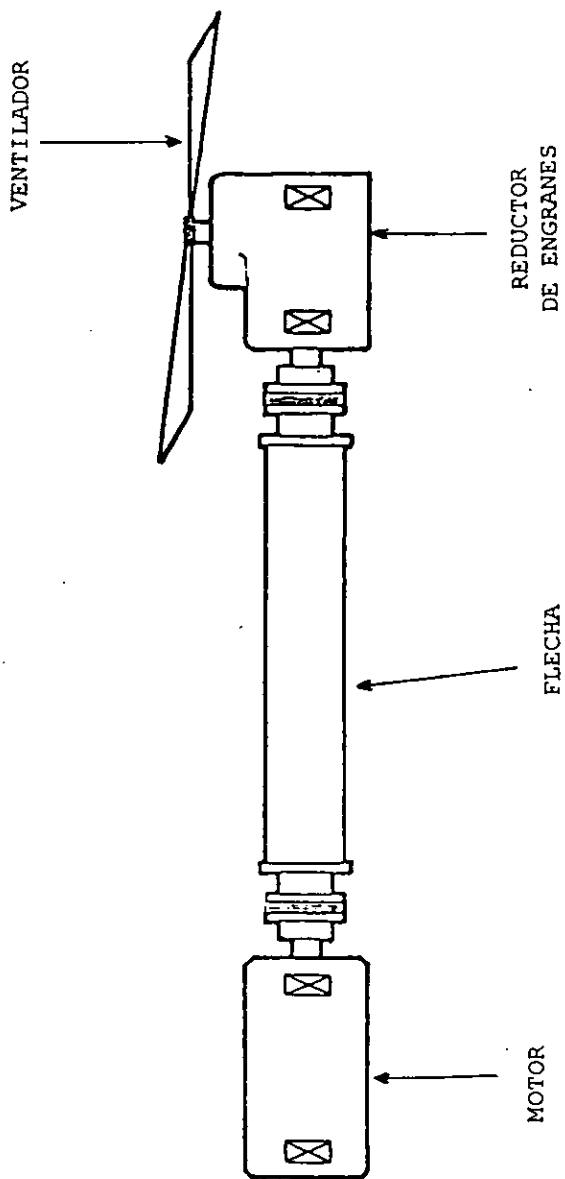


FIG. 3.8 ARREGLO MOTOR-FLECHA-REDUCTOR.

conjunto se apoyan sobre una plataforma formada con perfiles estructurales de acero galvanizado o de madera tratada, o en un tubo de acero de gran diámetro, para evitar posibles desalineamientos entre los elementos.

Los reductores de engranes son reductores de eje a 90° del tipo de engranes, estos reductores pueden ser de un paso, con corona y sinfín o engranes cónicos (piñón y corona) o de dos pasos, con una combinación de engranes cónicos y helicoidales. En la figura 3.9a , se muestra un corte de un reductor de engranes del ventilador de una torre de gran capacidad. La cubierta de los reductores es generalmente de hierro colado y los engranes son de alguna aleación de acero, como de acero al cromo níquel molibdeno. La eficiencia obtenida con estos reductores es del orden de 90 a 95%.

Las flechas de transmisión empleadas son del tipo flotante, es decir con coples flexibles en ambos extremos para permitir en cierto grado pequeños desalinamientos entre el reductor y el motor. Normalmente las flechas se hacen de tubo de acero galvanizado en caliente, o tubo de acero inoxidable para resistir las condiciones de aire húmedo a las que están expuestas.

Los motores más recomendables para mover los ventiladores, son motores eléctricos de inducción de bajo par de arranque, velocidad fija y con armazón del tipo totalmente cerrado con enfriamiento de ventiladores y con aislamiento en los devanados. En algunos casos se emplean motores de velocidad variable, para controlar el flujo de aire así ahorrar potencia.

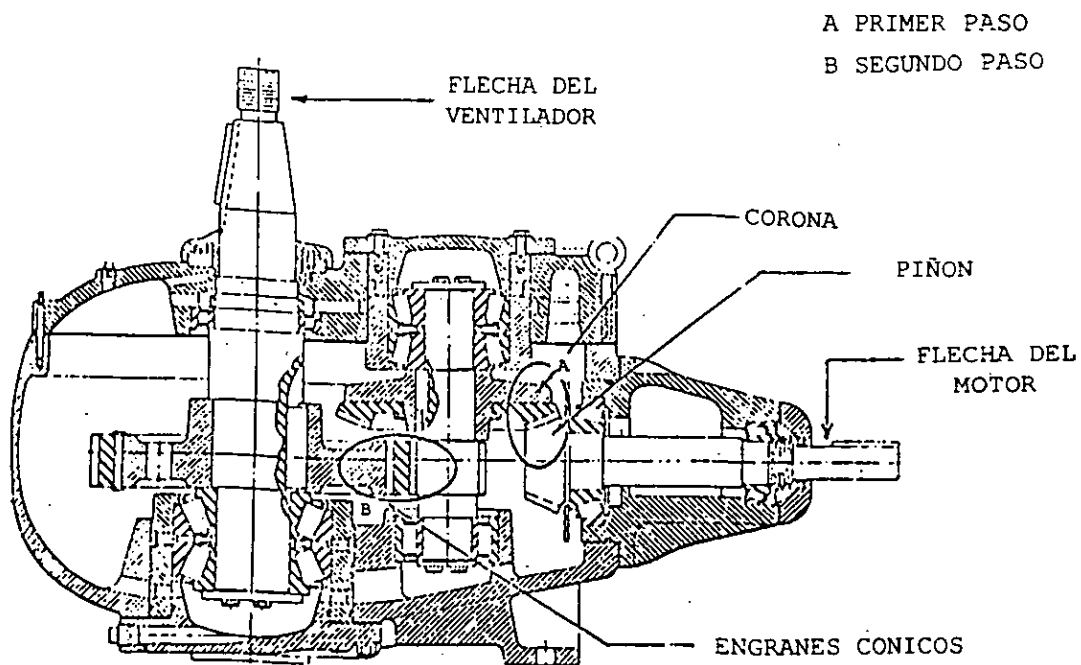


FIG. 3.9a CORTE DEL REDUCTOR DE ENGRANES.

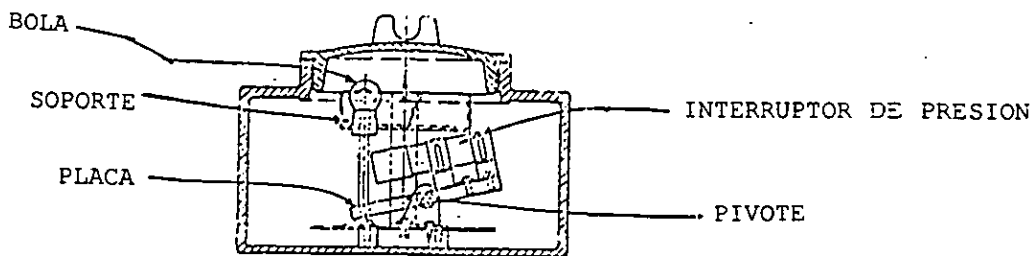


FIG. 3.9b INTERRUPTOR LIMITE DE VIBRACIONES.

Además de las protecciones normales del motor (por sobrecorriente o por sobrecarga), se tiene una protección contra vibraciones excesivas del ventilador. El dispositivo empleado es un interruptor limitador de vibración colocado cerca del motor, que opera sobre el circuito de disparo del motor, cuando las vibraciones exceden el límite permitido.

En la figura 3.9b se indica un interruptor límite de vibraciones típico. Cuando las vibraciones son excesivas, la bola se cae de su soporte desbalanceando la placa y por tanto operando el interruptor de presión, el cual está conectado al circuito de disparo.

En estos motores se emplean resistencias de calentamiento para evitar que el vapor del aire se condense, cuando el motor está fuera de servicio.

En las torres de tiro forzado, el ventilador puede ser también de aspas o del tipo centrífugo; la transmisión se hace por medio de bandas de hule, o acoplándose al motor directamente. Debido a que el ventilador es vertical, su diámetro se limita a 10 pies (3m). La ventaja principal de tener tiro forzado es que el ventilador y motor no están expuestos a condiciones corrosivas como en el caso de los ventiladores de tiro inducido.

3.6 Estructura y Envolvente.

La estructura de la torre no solamente soporta el peso de los elementos de la torre, sino que además debe soportar los esfuerzos debido al peso del agua de enfriamiento, el viento y sismos.

Estructura de Torre de Tiro Mecánico.

En torres de tiro mecánico los materiales utilizados para las estructuras son, por orden de importancia: madera, concreto y acero estructural galvanizado.

Las estructuras de madera como lo muestra la figura 3.10 están formadas por columnas que soportan las cargas verticales, cordones horizontales en donde se apoyan los elementos que soportan al relleno y contraventeos diagonales que soportan las cargas del viento y sismo; algunas veces en la parte superior se tienen armaduras que soportan el techo y los equipos mecánicos. El anclaje al piso se hace normalmente en las columnas de la periferia exterior. La conexión entre los diferentes miembros se hace por medio de pernos y anillos de corte y algunas veces se utilizan placas. En la figura 3.11 se muestran detalles de conexión de estructuras de madera típica de una torre.

Las condiciones que debe resistir la madera en la torre son la deslignificación y los ataques biológicos y químicos y algunas veces corrosión. Entre los tipos de madera que mas se emplean para la estructura y otros elementos de las torres, están el cedro rojo de California, el que se puede emplear sin ningún tratamiento, ya que puede decirse que tiene su propio preservativo natural; el abeto Douglas, el pino amarillo y algunos otros tipos de madera, a excepción del cedro rojo, todos los demás tipos de madera deben tratarse.

El CTI ha publicado normas(2) donde se clasifican en grados y da datos para el diseño estructural de diversos tipos de

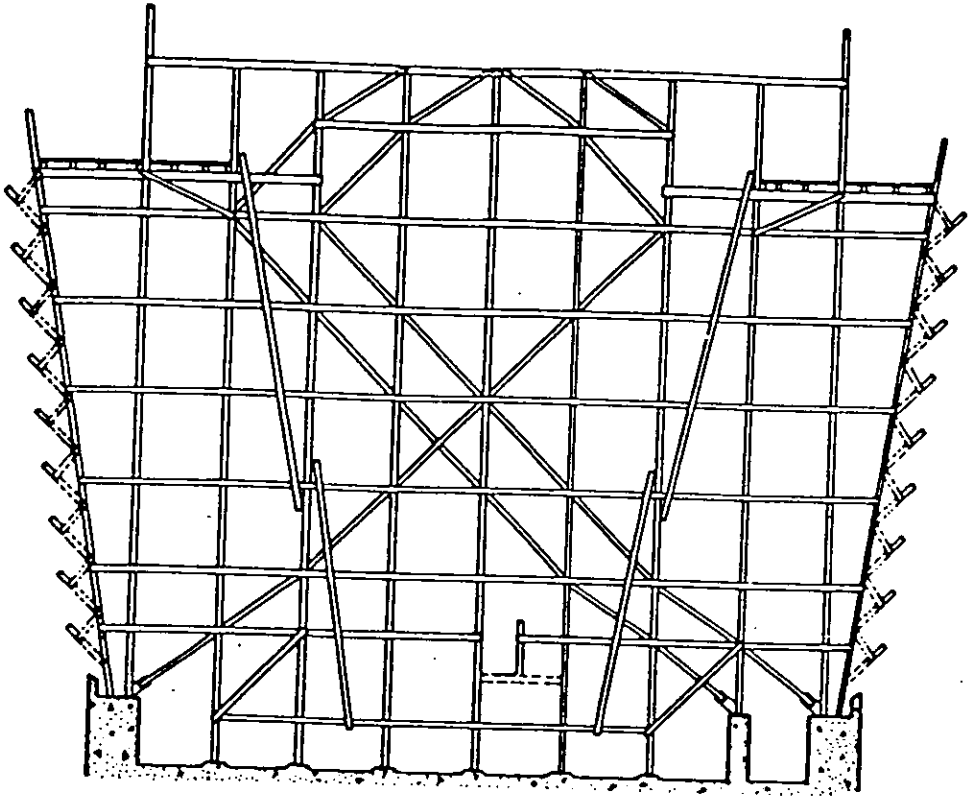
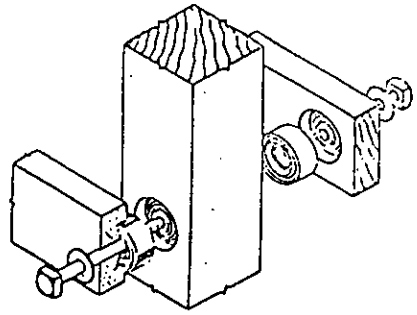
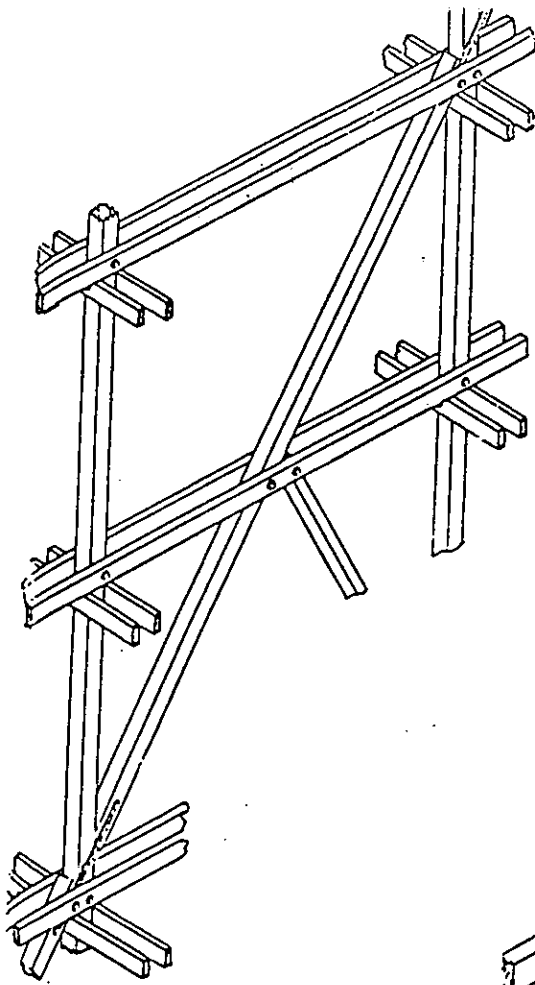
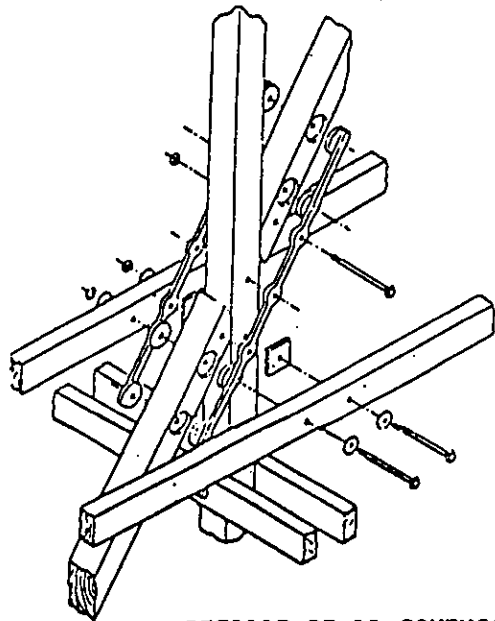


FIG. 3.10 ESTRUCTURA DE TORRE DE TIRO MECANICO.



DETALLE DE LOS PERNOS
Y ANILLOS DE CORTE



DETALLE DE LA CONEXION

FIG. 3.11 DETALLES DE LA ESTRUCTURA DE MADERA.

madera, usadas en la torres. En la tabla 3.6.1 se indican los esfuerzos permisibles para algunos tipos de madera. Los materiales empleados para los elementos de sujeción en estructuras de madera, son: acero galvanizado, hierro fundido, aleaciones de acero resistentes a la corrosión, aluminio, algún material plástico reforzado, etc. El CTI ha publicado especificaciones(3) para hacer uniones en las estructuras y ha hecho un estudio de materiales resistentes a la corrosión.

La envolvente y paredes divisorias entre las celdas, deben ser lo suficientemente herméticas para no permitir el paso del aire exterior o de otra celda, que pueda interferir con la operación; los materiales mas empleados para estas paredes, son: láminas de asbesto cemento, las que se colocan traslapadas.

Estructura de Torre de Tiro Natural.

En este tipo de torres la chimenea constituye la mayor parte de la torre, debido a que se requiere una gran altura para producir el tiro dentro de la torre, por esta razón el efecto de los vientos y sismos es muy importante desde del punto de vista estructural.

El flujo de aire que se produce en las torres se va contrayendo gradualmente después de la entradas de aire hasta llegar a una área mínima (vena contracta) a determinada altura, independientemente de la forma de la envolvente por donde pasa. El área de la vena contracta depende de la relación entre la altura y el diámetro de la entrada del aire.

CLASE DE ESFUERZO	CLASE	DE	MADERA
	Abeto Douglas Lb/pulg ²	Pino Lb/pulg ²	Cedro Rojo Lb/pulg ²
Tensión ó flexión paralela a las fibras.	1400	1800	1350
Compresión perpendicular a las fibras.	260	305	205
Compresión paralela a las fibras.	1000	1300	1200
Esfuerzo cortante horizontal.	100	120	100
Modulo de elasticidad.	1,600,000	1,600,000	1,200,000

TABLA 3.6.1 ESFUERZOS PERMISIBLES PARA ALGUNOS TIPOS DE MADERA

Se ha encontrado que la forma hiperbólica del contorno en las torres de gran capacidad, es la más adecuada, debido principalmente a lo siguiente:

a) Con la forma hiperbólica se puede seguir la forma de la vena del flujo de aire dentro de la torre, empleándose de esta manera el material estrictamente necesario.

b) Se puede demostrar teóricamente que los esfuerzos producidos por el efecto de los vientos se puede compensar con esta forma, requiriéndose menor espesor de la envolvente.

En la figura 3.12 se muestra como los apoyos de la envolvente son generalmente diagonales, formando triángulos a lo largo de la entrada de aire, sobre los cuales hay una trabe en forma de anillo, en donde se apoya la envolvente.

El material más empleado para la envolvente y los apoyos y trabes, es normalmente concreto reforzado. El análisis de esfuerzos de la envolvente se hace por medio de la teoría de la membrana, suponiendo que las fuerzas debidas al viento producen solamente tensiones, compresiones y esfuerzos cortantes en planos tangentes a la superficie de la envolvente.

Desde el punto de vista de construcción, es complicado hacer la forma hiperbólica, por lo que en algunos casos se ha preferido utilizar la forma cilíndrica o cuadrada.

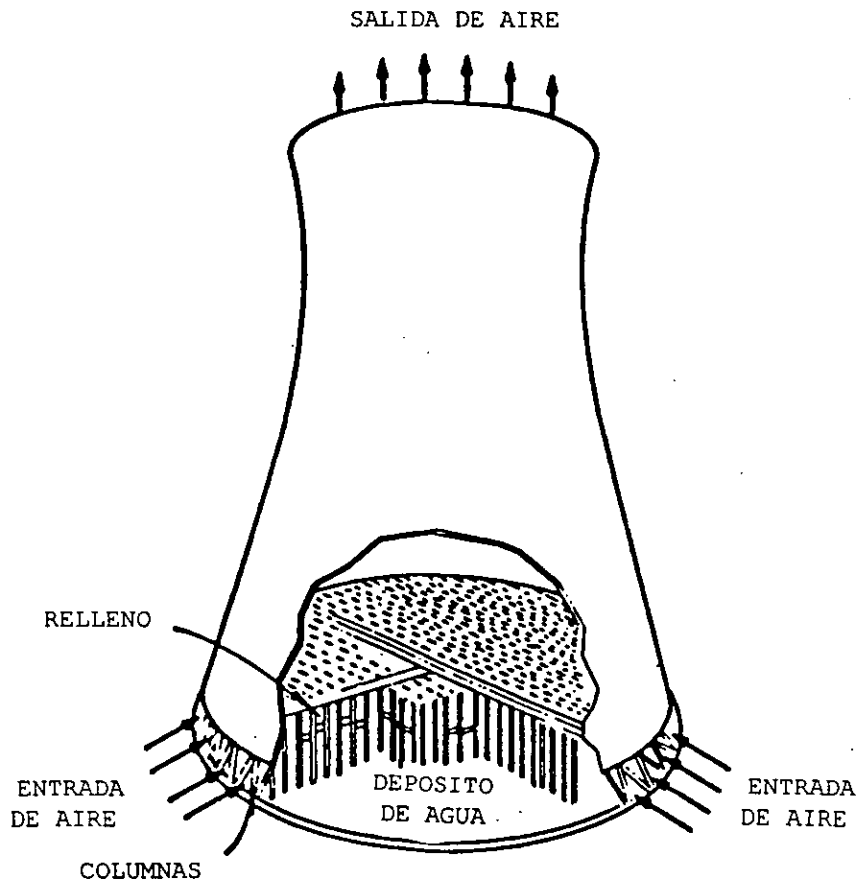


FIG. 3.12 ESTRUCTURA DE TORRE DE TIRO NATURAL.

Generalmente el relleno se soporta con una estructura independiente, y se prefiere que esta sea normalmente de madera.

Pileta.

La pileta es donde se recolecta el agua enfriada por la torre, pero normalmente sirve también de cimiento para la estructura de toda la torre o cimiento de la estructura del relleno en torres de tiro natural. Los cárcamos de succión de las bombas con una prolongación de la pileta, pero existe entre ellos rejillas que impiden el paso de objetos extraños a las bombas.

La profundidad de las piletas es normalmente de 3 a 4 pies (1 a 1.20 m.), en algunos casos se tienen profundidades mayores para que la pileta sirva como almacenamiento de otros servicios.

La pileta en la mayoría de los casos se hace de concreto reforzado, la superficie del concreto se cubre con material aislante de humedad para evitar fugas de agua excesivas.

El repuesto de las torres se controla por medio del nivel de la pileta. Las válvulas que se emplean para este servicio son válvulas operadas por flotador.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE UNA TORRE DE TIRO MECÁNICO.

4.1 Introducción.

Como ya se menciona en el capítulo II, las torres de tiro mecánico el flujo de aire se produce con ventiladores como lo muestra la figura 3.1 los cuales se colocan a la entrada o salida de dicho elemento, dando lugar respectivamente a las torres de tiro forzado y tiro inducido.

Los ventiladores forman parte integral de la torre y permiten al diseñador tener control sobre el flujo de aire.

El análisis que se realizara en el presente capítulo sobre de la torre de enfriamiento será para el paquete 1 de la central Mérida III de la Comisión Federal de Electricidad. Este análisis se realizara con criterios de diseño establecidos por ASME, en base a experiencias reales con torres de enfriamiento de madera.

4.2 Dimensiones de la Torre de Tiro Mecánico.

Como se puede observar en la figura 4.1 se muestran las dimensiones de la torre de tiro mecánico y estas son:

HT = Altura total de la torre.

HR = Altura del relleno.

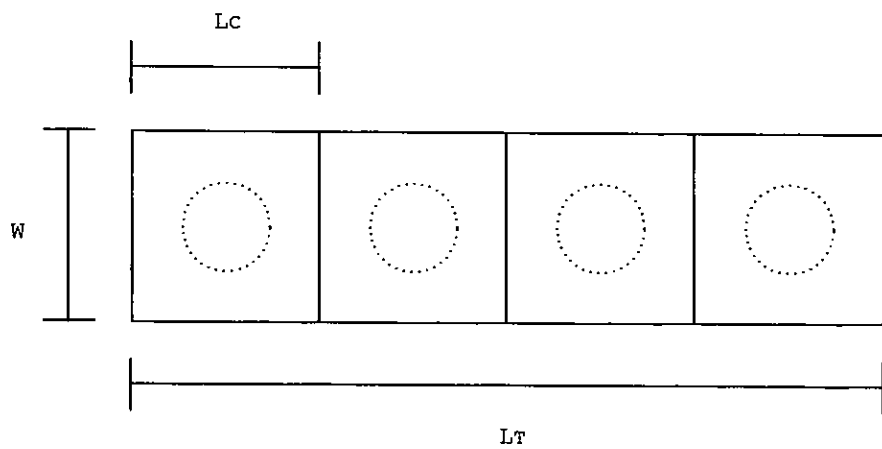
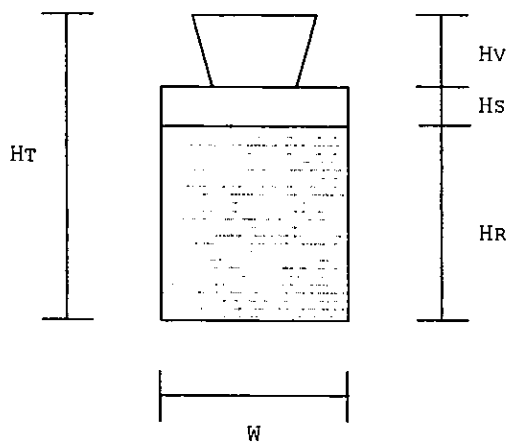


FIG. 4.1 DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA TORRE DE TIRO MECANICO.

Hs = Altura del sistema de distribución de agua.

Hv = Altura del cubo del ventilador.

Lt = Longitud de torre.

Lc = Longitud de celda.

W = Ancho de torre.

Ht = Hr + Hs + Hv = Altura total de la torre.

4.3 Ventajas.

- 1.- Buen control de la temperatura del agua fría.
- 2.- Área reducida para su instalación.
- 3.- Baja carga de bombeo.
- 4.- Localización de la torre sin restricciones.
- 5.- Permite una menor aproximación y un rango de enfriamiento mayor.
- 6.- Menor costo inicial que las de flujo natural.

4.4 Desventajas.

- 1.- Gran consumo de potencia para la operación de los ventiladores.
- 2.- Sujeta a desperfectos mecánicos.

3.- Presenta problemas de recirculación del aire.

4.- Alto costo de mantenimiento.

5.- Alto costo de operación.

4.5 Método de Cálculo.

Para efectos de calculo de la torre de tiro mecánico, se procede primeramente a resolver la ecuación de Merkel (ec. 1.5.6), con objeto de obtener el factor de la torre, que es el grado de dificultad que se tiene para disipar el calor del agua de circulación.

La ecuación puede ser transformada en(4):

$$UT = FT * GPM$$

Donde UT representa el número de unidades de torre; FT es el factor de torre y corresponde al valor de la integral, y GPM es el flujo de agua en galones por minuto(5).

$$FT = \frac{f \text{ Pies}^2}{GPM} ;$$

Por lo tanto:

$$UT = \frac{f (\text{Pies}^2) (GPM)}{GPM}$$

$$UT = \text{Pies}^2$$

Este término indica la superficie de relleno que se requiere para poner el agua en contacto con el aire, sin que tenga ninguna relación con el área que ocupa la torre, pero sí con su volumen(1) como sigue:

$$\frac{1}{4} V_1 = UT. \quad \text{Por lo tanto:}$$

$$V_1 = 4 UT \quad \text{Pies}^3$$

Ecuación que sólo es válida para el sistema contraflujo, pues las torres de flujo cruzado ocupan un 30% más de volumen en un foso para conducir el aire; de manera que para encontrar su volumen, habrá que hacer la siguiente operación:

$$V_1 = \frac{(4 UT)}{0.7} \quad \text{Pies}^3$$

El factor de torre puede ser valuado en forma inmediata, con el uso de las cartas que se encuentran en las figuras 4.2 a ,b y c. El manejo de las cartas sólo requiere el conocimiento de las temperaturas de agua caliente, bulbo húmedo, agua fría y la aproximación.

Por otra parte, se escogerán aproximaciones a las que debe trabajar la torre, con base a las siguientes consideraciones:

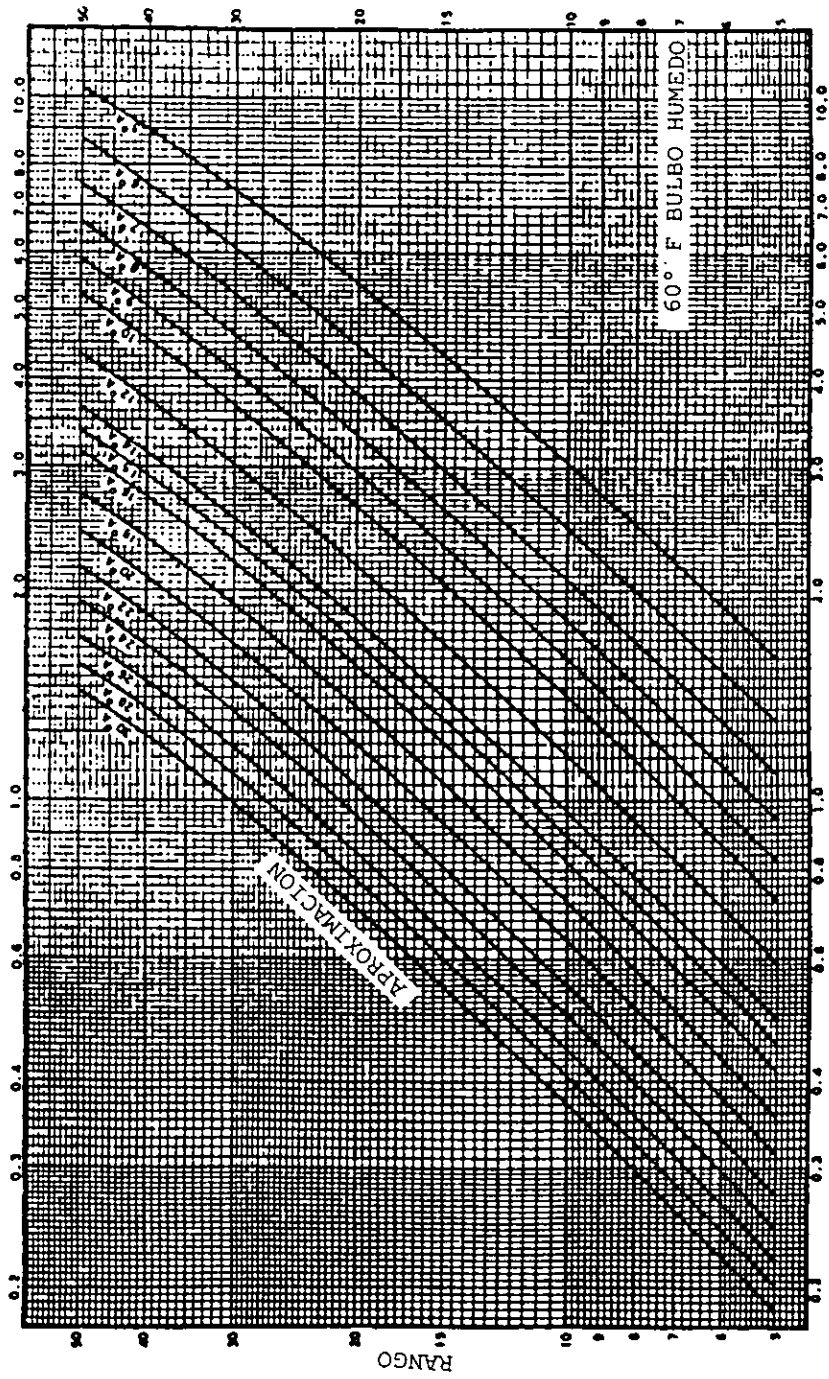


FIG. 4.2a FACTOR DE TORRE.

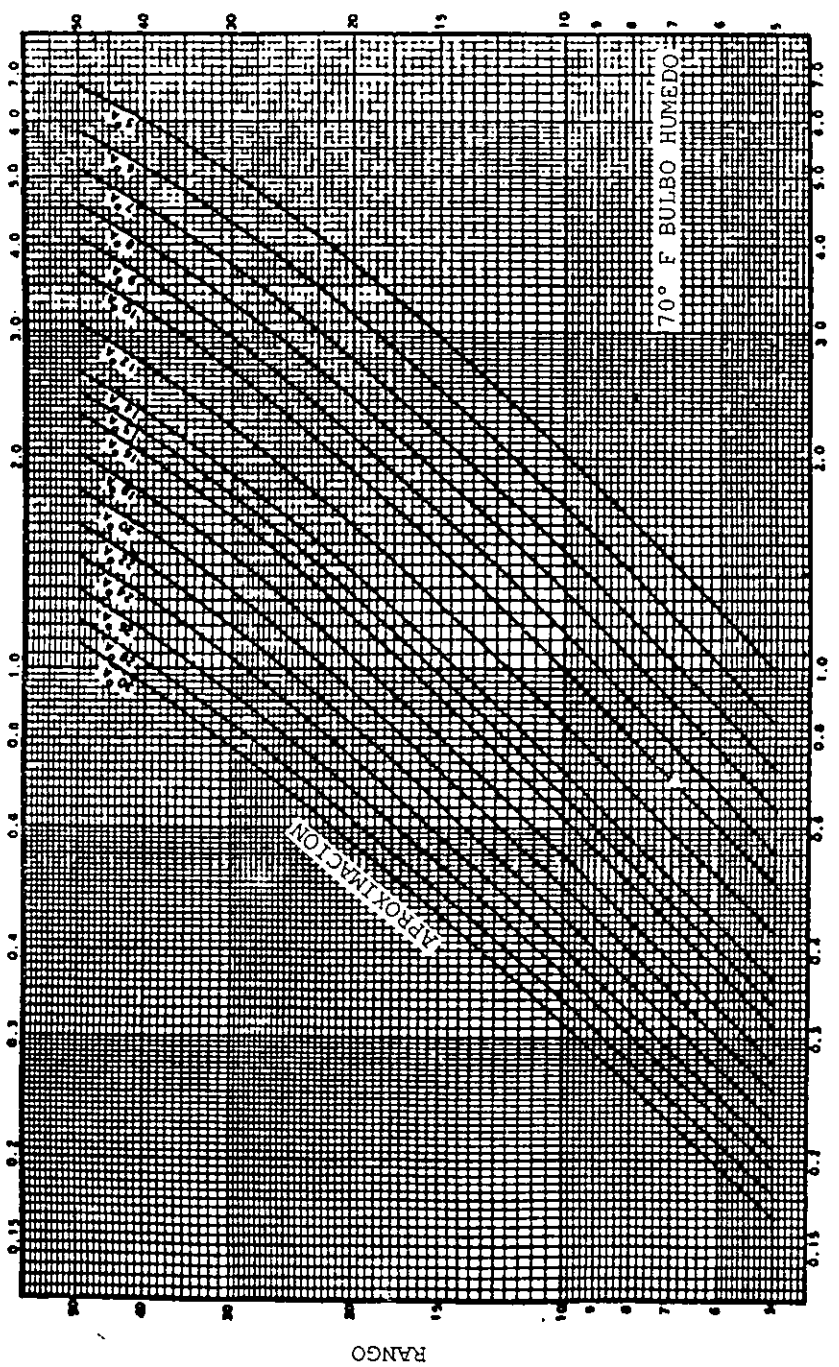


FIG. 4.2b FACTOR DE TORRE.

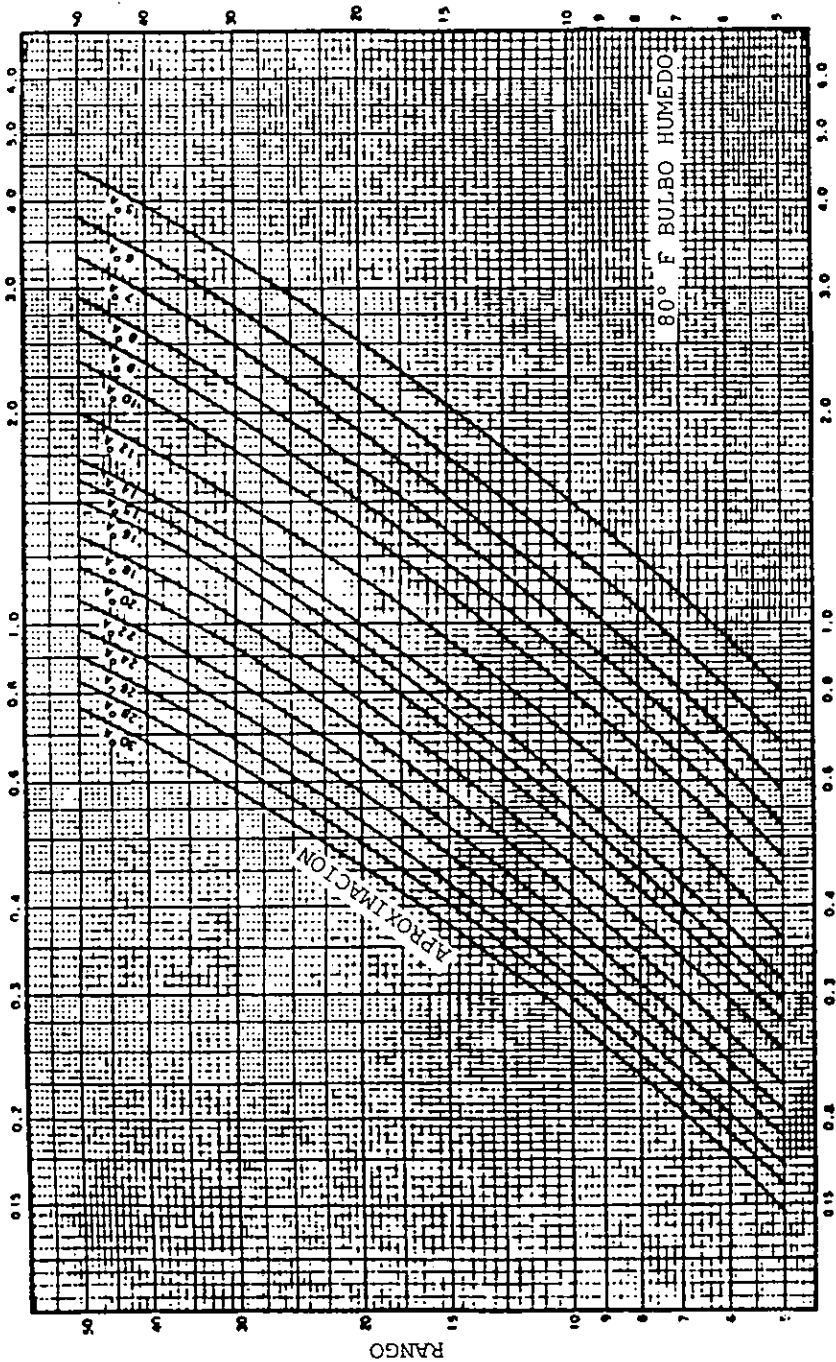


FIG. 4.2c FACTOR DE TORRE.

1ª.- Si la aproximación llegara a ser igual a cero, es decir que la temperatura del agua fría alcanzara la temperatura de bulbo húmedo de entrada del aire, (cosa que nunca ocurriría) el enfriamiento del agua sería igual a 100% o sea que el rango sería muy grande, pero tal situación sólo ocurriría en una torre de dimensiones infinitamente grandes.

2ª.- Por el contrario, si la aproximación se hace muy grande, ocurre que el rango es muy pequeño y por consecuencia el enfriamiento es prácticamente nulo. Este caso sucedería en una torre infinitamente pequeña.

En el presente estudio para poder realizar la selección de la torre se tomara el siguiente criterio:

1.- Se seleccionaran dos aproximaciones de 10 y 14 °F que están dentro de los valores que se tienen en otros proyectos.

2.- Para cada aproximación se tomaran en cuenta las presiones de saturación en el condensador de 2.5, 3, y 3.5 pulgadas de mercurio, presiones que están también dentro de los límites utilizados en otros proyectos.

Con los datos meteorológicos obtenidos de cada una de las ciudades principales de la República Mexicana se encontró la temperatura de diseño la media mensual máxima de el lugar donde se encuentra el proyecto propuesto que es la Ciudad de Mérida, los datos son los siguientes:

Ciudad	Tbs °F	Tbh °F
Mérida	98.6 ° F	80.6 °F

Con base en los datos meteorológicos anteriormente escritos, y considerando que el Instituto de Intercambiadores de Calor (H.E.I.), recomienda que la diferencia de temperaturas entre el agua caliente y la de saturación debe ser mayor de 5° F.

Para condiciones de diseño la diferencia mencionada se tomará de 10°F.

Puesto que el cálculo para los diferentes sistemas que se analizaran es similar, sólo se indicara aquí el cálculo para un sistema y de los demás sólo se pondrán los resultados principales en las tablas 4.5.1, 4.5.2 y 4.5.3 al final del presente capítulo.

El caso que analizaremos será para la aproximación de 10° F y una presión de saturación del vapor el cual es saturado con el agua fría proveniente de la torre de enfriamiento al condensador de 3.5 pulgadas de mercurio.

Rango de enfriamiento.

$$Tbs_1 = 98.6^\circ \text{ F}$$

$$Tbh_1 = 80.6^\circ \text{ F}$$

$$\text{Aprox.} = 10^\circ \text{ F}$$

$$T_2 = \text{Aprox.} + T_{bh1}$$

$$T_2 = 10^\circ + 80.6^\circ = 90.6^\circ \text{ F}$$

$$T_1 = T_s - 10^\circ \text{ F}$$

Con una presión de saturación en el condensador de 3.5 pulg. Hg de tablas se obtiene la temperatura de saturación T_s .

$$T_s = 120.55^\circ \text{ F}$$

$$T_1 = 120.55^\circ - 10^\circ = 110.55^\circ \text{ F}$$

$$\text{Rango} = \Delta T = 110.55^\circ - 90.6^\circ = 19.95^\circ \text{ F}$$

Flujo de agua.

El flujo de agua de enfriamiento para el rechazo de calor en el condensador, para un sistema cerrado de una planta termoeléctrica requiere de 30 litros/seg. por cada 1 MW(6), por lo que central Mérida III, la cual tiene una capacidad efectiva de 220 MW en total como ciclo combinado, con dos turbinas de gas 70 MW cada una y una turbina de vapor de 80 MW, que es el calor que hay que disipar en la torre de enfriamiento y de esto tenemos:.

$$30 \text{ litros/seg.} \quad \text{----} \quad 1 \text{ MW}$$

$$W_L \quad \quad \quad 80 \text{ MW}$$

$$W_L = \frac{(30 \text{ litros/seg.})(80 \text{ MW})}{1 \text{ MW}}$$

$$W_L = 2400 \text{ litros/seg.}$$

Realizando la conversión a GPM tenemos:

$$W_L = 38060.78 \text{ GPM.}$$

$$W_L = 19028485.66 \text{ lb/hr.}$$

$$W_L = 317204.86 \text{ lb/min.}$$

Calor Rechazado.

La cantidad de calor que recoge el agua de enfriamiento en el condensador esta dada por:

$$q_R = LC_p\Delta T$$

Con la fórmula 1.4.1 $q_R = LC_p\Delta T$ y multiplicando ambos lados por el área quedando:

$$Q_R = W_L C_p \Delta T$$

siendo el valor del $C_p = 0.998 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$ redondeando consideraremos $C_p = 1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$

$$Q_R = (19028485.66 \text{ lb/hr}) (1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}) (19.95^\circ\text{F})$$

$$Q_R = 379618288.9 \text{ BTU/hr}$$

Factor de torre.

Con las gráficas de las figuras 4.2a, b y c tenemos:

$$FT = 1.35$$

Como puede advertirse, es muy sencillo calcular el factor de torre (FT) con las gráficas, sin embargo, existe información gráfica de fabricantes de torres de enfriamiento los cuales tiene publicadas cartas(7) por ° F, para determinar dicho factor de torre de forma inmediata.

Para obtener las unidades de torres se toma el $FT = 1.35$ considerando que los demás cálculos se harán en base de estas, de manera que:

$$UT = FT * GPM$$

$$UT = 1.35 * 38060.777$$

$$UT = 51382.05 \text{ pies}^2$$

..

Volumen de la Torre de Contraflujo.

$$V_1 = 4 UT$$

$$V_1 = 4 (51382.049)$$

$$V_1 = 205528.20 \text{ pies}^3$$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Volumen de la Torre de Flujo cruzado

$$V_1 = \frac{(4 \text{ UT})}{0.7}$$

$$V_1 = \frac{(4) (51382.049)}{0.7}$$

$$V_1 = 293611.711 \text{ pies}^3$$

Para calcular la sección de la torre a continuación se presentará una gráfica 4.3 en la que se relacionan la torre de pies² por cada GPM. de circulación, con el rango, la aproximación y temperatura de bulbo húmedo.

Las curvas de carga o altura hidráulica media son para torres mecánicas de tiro inducido de flujo cruzado entre 25 y 28 pies de altura (en la gráfica indicada por las curvas punteadas), y las curvas de altura hidráulica pequeña son para torres entre 21 y 24 pies de alto (indicadas en la gráfica por las curvas llenas).

Generalmente las torres empleadas en plantas termoeléctricas tienen un valor cercano a 10 m (32.81 pies) por lo tanto se puede suponer una altura hidráulica media.

Entrando en la gráfica 4.3 con los valores de la torre que estamos analizando:

$$\text{Rango} = 19.95^\circ \text{ F}$$

$$\text{Aprox.} = 10^\circ \text{ F}$$

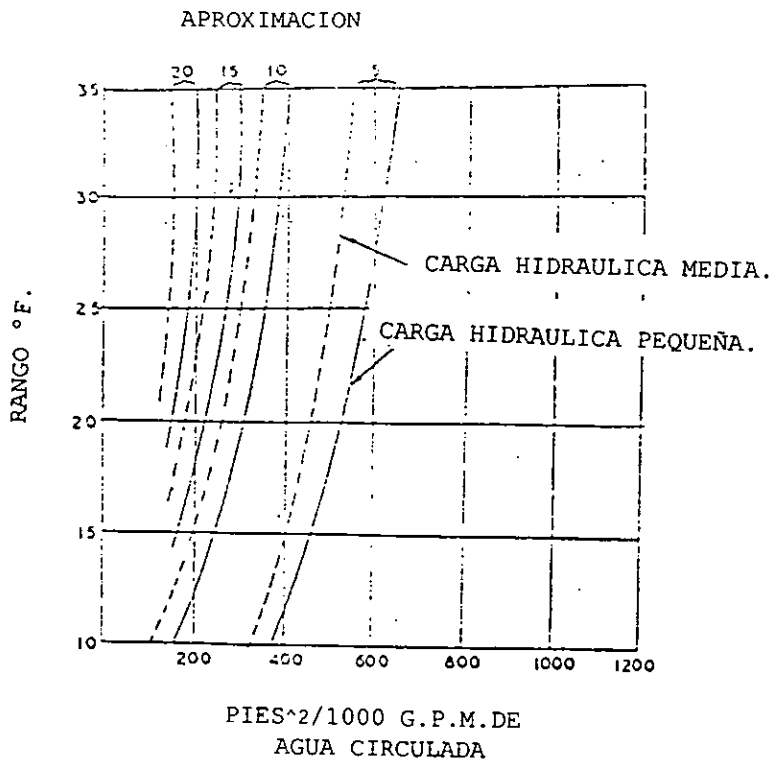


FIG. 4.3 DETERMINACION DE LA SECCION DE TORRE.

Se tiene el valor de:

Altura hidráulica media = 300 pies²/ 1000 GPM.

La sección de la torre será A, o área de la base de la torre con:

$$WL = 38060.78 \text{ GPM}$$

Se tiene:

$$\begin{array}{rcl} 300 \text{ pies}^2 & \text{-----} & 1000.00 \text{ GPM} \\ A & \text{-----} & 38060.78 \text{ GPM} \end{array}$$

De donde:

$$A = \frac{(38060.78)(300)}{1000} = 11418.23 \text{ pies}^2$$

Altura de la Torre de Flujo Cruzado:

Para el calculo de la altura de la torre tenemos:

$$HT = HR + HS + HV$$

Para la altura del relleno se divide el volumen del relleno entre la sección de la torre:

$$HR = \frac{293611.71 \text{ pies}^3}{11418.23 \text{ pies}^2} = 25.71 \text{ pies}$$

Considerando una altura del sistema de distribución de agua de 3 pies (0.91 m) y una altura del cubo del ventilador de 14 pies tenemos:

$$Ht = 25.71 \text{ pies} + 3 \text{ pies} + 14 \text{ pies}$$

$$Ht = 42.71 \text{ pies}$$

Ancho y Longitud de la Torre de Flujo Cruzado.

De acuerdo con el criterio establecido para torres de enfriamiento rectangulares(4) tenemos que el largo de la torre se puede obtener como:

$$LT = \frac{\text{Sección de torre}}{52 \text{ pies}}$$

$$LT = \frac{11418.23 \text{ pies}^2}{52 \text{ pies}}$$

$$LT = 219.58 \text{ pies}$$

Para evitar ventiladores de gran diámetro, se supondrá que la torre tenga 4 celdas iguales, teniendo cada una de ellas un largo de:

$$Lc = \frac{LT}{\text{N}^\circ \text{ de celdas}}$$

$$Lc = \frac{219.58 \text{ pies}}{4} = 54.90 \text{ pies}$$

Altura de la Torre de Contraflujo:

Considerando que la torre de flujo cruzado ocupa un 30 % mas de volumen que la torre de tiro inducido de contraflujo se tomara el valor de volumen y sección de torre con un 30 % menos.

Por lo tanto:

$$V = 205528.20 \text{ pies}^3$$

$$A = (11418.23 \text{ pies}^2) (0.7) = 7992.76 \text{ pies}^2$$

Para el calculo de la altura de la torre tenemos:

$$HT = HR + Hs + HV$$

Para la altura del relleno se divide el volumen del relleno entre la sección de la torre:

$$HR = \frac{205528.20 \text{ pies}^3}{7992.76 \text{ pies}^2} = 25.71 \text{ pies}$$

Considerando una altura del sistema de distribución de agua de 3 pies (0.91 m) y una altura del cubo del ventilador de 14 pies tenemos:

$$HT = 25.71 \text{ pies} + 3 \text{ pies} + 14 \text{ pies}$$

$$HT = 42.71 \text{ pies}$$

Ancho y Longitud de la Torre de Contraflujo.

De acuerdo con el criterio establecido para torres de enfriamiento rectangulares(4) tenemos que el largo de la torre se puede obtener como:

$$LT = \frac{\text{Sección de torre}}{52 \text{ pies}}$$

$$LT = \frac{7992.76 \text{ pies}^2}{52 \text{ pies}}$$

$$LT = 153.71 \text{ pies}$$

Para evitar ventiladores de gran diámetro, se supondrá que la torre tenga 4 celdas iguales, teniendo cada una de ellas un largo de:

$$Lc = \frac{LT}{\text{N}^\circ \text{ de celdas}}$$

$$Lc = \frac{153.71 \text{ pies}}{4} = 38.43 \text{ pies}$$

Flujo de Aire.

Con la carta psicrometrica y las T_{bs1} y T_{bh1} tenemos como humedad relativa en 1

$$\phi = 45 \%$$

Temperatura del aire a la salida de la torre

Este valor se obtiene considerando que el aire a la salida del relleno tiene la temperatura:

$$T_{bh2} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

que es una de las suposiciones hechas que coincide con datos reales(8).

Considerando que el aire a la salida de la torre sale con una humedad relativa del 100% tenemos que T_{bs2} y T_{bh2} son iguales y por lo tanto el aire a la salida de la torre será:

$$T_{bs2} = T_{bh2} = \frac{110.55^\circ\text{F} + 90.6^\circ\text{F}}{2}$$

$$T_{bs2} = T_{bh2} = 100.58^\circ\text{F}$$

La presión barométrica existente en el lugar es de:

$$P = 14.62 \text{ lb/pulg}^2$$

Con la formula de humedad especifica y sustituyendo la presión parcial del vapor de la formula de la humedad relativa tenemos:

$$y = \frac{(0.622) P_v}{P - P_v}$$

$$\phi = \frac{P_v}{P_{sat}}$$

$$P_v = \phi P_{sat}$$

$$\gamma = \frac{(0.622) (\phi P_{sat})}{P - (\phi P_{sat})}$$

Para la entrada de aire tenemos:

$$T_{bs1} = 98.6 \text{ } ^\circ\text{F} \quad P_{sat} = 0.910 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{(0.622) (0.45) (0.910)}{(14.62 - (0.45) (0.910))}$$

$$\gamma_1 = 0.018 \text{ lbH}_2\text{O/lb aire seco}$$

Para la salida del aire tenemos:

$$T_{bs2} = 110.575 \text{ } ^\circ\text{F} \quad P_{sat} = 0.966 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\gamma_2 = \frac{(0.622) (1) (0.966)}{(14.62 - (1) (0.966))}$$

$$\gamma_2 = 0.044 \text{ lbH}_2\text{O/lb aire seco}$$

El valor de la entalpia lo obtenemos con la formula:

$$h_g = C_p T + \gamma h_g$$

Para la entrada de aire:

$$T_{bs1} = 98.6 \text{ } ^\circ\text{F} \quad h_g = 1104.44 \text{ BTU/lb}$$

$$h_{g1} = (0.240)(98.6) + (0.018)(1104.44)$$

$$h_{g1} = 43.46 \text{ BTU/lb}$$

Para la salida de aire:

$$T_{bs2} = 110.58 \text{ } ^\circ\text{F} \quad h_g = 1105.33 \text{ BTU/lb}$$

$$h_{g2} = (0.240)(110.58) + (0.044)(1105.33)$$

$$h_{g2} = 72.78 \text{ BTU/lb}$$

De la primera ley de la termodinámica como lo muestra la figura 4.4 y despreciando E_c y E_p tenemos:

$$W_G' h_{g1} + W_{L1} h_{L1} = W_G' h_{g2} + W_{L2} h_{L2}$$

Y relacionando W_{L1} y W_{L2} por medio de un balance de masa se obtiene:

$$W_{L2} = W_{L1} - W_G'(\gamma_2 - \gamma_1)$$

Sustituyendo en la ecuación de la 1ª ley de la termodinámica:

$$W_G' h_{g1} + W_{L1} h_{L1} = W_G' h_{g2} + [W_{L1} - W_G'(\gamma_2 - \gamma_1)] h_{L2}$$

Con

$$T_1 = 110.55 \text{ } ^\circ\text{F} \quad h_{L1} = 78.55 \text{ BTU/lb}$$

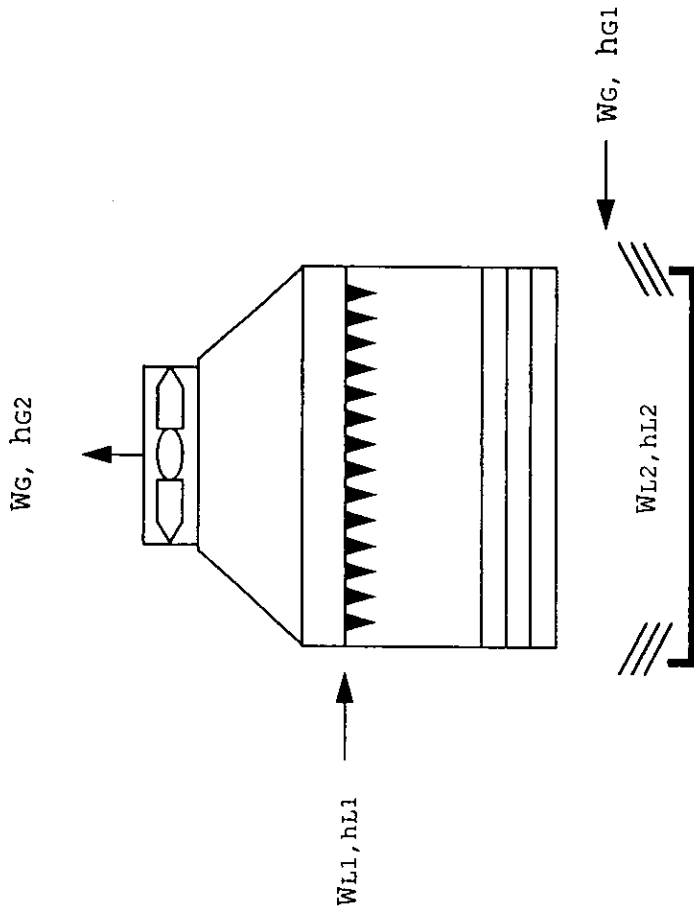


FIGURA 4.4

$$T_2 = 90.6 \text{ } ^\circ \text{ F} \quad h_{L2} = 58.6 \text{ BTU/lb}$$

$$W_G' (43.46) + (317204.86) (78.55) = W_G' (72.78) + (317204.86) (58.6) - W_G' [(58.6) (0.044 - 0.018)]$$

$$43.46W_G' + 24916441.43 = 72.78W_G' + 18588204.56 - 1.52W_G'$$

$$24916441.43 - 18588204.56 = 72.78W_G' - 43.46W_G' - 1.52W_G'$$

$$W_G' = \frac{6328236.87}{27.80}$$

$$W_G' = 227672.09 \text{ lb/min}$$

Con la formula del volumen especifico:

$$v = \frac{R_a T}{P_v}$$

$$v = \frac{(10.73) (460 + 100.58)}{(28.97) [(14.62 - (1) (0.966))]}$$

$$v = 15.21 \text{ pie}^3/\text{Lb aire seco}$$

Flujo de Aire a la Salida de la Torre.

$$W_G = (W_G') (v)$$

$$W_G = (227672.09 \text{ lb/min}) (15.21 \text{ pie}^3/\text{Lb aire seco})$$

$$W_G = 3462062.09 \text{ pie}^3/\text{min}$$

Potencia para los Ventiladores.

$$P = \frac{3462062.09 \text{ pie}^3/\text{min}}{8000 \text{ pie}^3/\text{min HP}}$$

$$P = 432.8 \text{ HP}$$

Energía Consumida por los Ventiladores

$$E = (437.76) (746) = 322837.29 \text{ Watts}$$

$$E = 0.323 \text{ MW}$$

Perdidas por Evaporación.

Tomando en cuenta que las perdidas por evaporación es el 2% de WL tenemos:

$$W_e = (38060.78) (0.02) = 761.22 \text{ GPM.}$$

Perdidas por Arrastre.

Considerando para las perdidas por arrastre el 1% de WL tenemos:

$$W_{arr} = (38060.78) (0.01) = 380.61 \text{ GPM.}$$

Agua de Repuesto.

Sumando las perdidas por arrastre y evaporación obtenemos el agua de repuesto.

$$WR = W_e + W_{arr}$$

$$WR = 761.22 \text{ GPM} + 380.61 \text{ GPM.}$$

$$WR = 1141.83 \text{ GPM.}$$

Eficiencia

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_2 - T_{bh1}} * (100)$$

$$\eta = \frac{19.95^\circ\text{F}}{(110.55 - 80.6)^\circ\text{F}} * (100)$$

$$\eta = 66.61 \%$$

TABLA 4.5.1 RESULTADOS
 PLANTA MERIDA III
 CAPACIDAD 80 MW
 FLUJO DE AGUA 38060.78 GPM
 Tbs 98.6 °F
 Tbh 80.6 °F
 Ps 2.5 pulg Hg

RANGO °F	APROX. °F	QR BTU/hr. *10 ⁶	UT PIES ² *10 ⁴	CONTRAFLUJO			FLUJO CRUZADO			Wg PIE ³ /MIN VENT. *10 ⁵ H.P.	POT. VENT. H.P.
				C. FLUJO PIES ³ *10 ³	C. FLUJO PIES ² *10 ³	LONG. PIES	FLUJO C. PIES ³ *10 ³	FLUJO C. PIES ² *10 ³	LONG. PIES		
8.11	10	154.34	2.51	100.48	2.93	56.3	143.54	4.18	80.4	20.93	261.7
4.11	14	78.21	1.22	48.72	1.86	35.8	69.60	2.17	51.2	9.20	115.1

TABLA 4.5.2 RESULTADOS

PLANTA MERIDA III
 CAPACIDAD 80 MW
 FLUJO DE AGUA 38060.78 GPM
 Tbs 98.6 °F
 Tbh 80.6 °F
 Ps 3 pulg Hg

RANGO °F	APROX. °F	QR BTU/hr. *10 ⁶	UT PIES ² *10 ⁴	CONTRAFLUJO						FLUJO CRUZADO			POT. MIN VENT. H.P.
				C. FLUJO PIES ³ *10 ³	C. FLUJO PIES ² *10 ³	LONG. PIES	FLUJO C. PIES ³ *10 ³	FLUJO C. PIES ² *10 ³	LONG. PIES	WG PIES ³ /MIN *10 ⁵			
14.46	10	275.18	4.11	164.42	5.86	112.6	234.89	8.36	160.86	30.87	385.9		
10.46	14	199.06	2.28	91.345	2.00	38.4	130.49	2.85	54.8	20.06	250.8		

TABLA 4.5.3 RESULTADOS

PLANTA MERIDA III
 CAPACIDAD 80 MW
 FLUJO DE AGUA 38060.78 GPM
 Tbs 98.6 °F
 Tbh 80.6 °F
 Ps 3.5 pulg Hg

RANGO °F	APROX. °F	Qr BTU/hr. *10 ⁶	UT PIES ² *10 ⁴	CONTRAFLUJO				FLUJO CRUZADO				WG PIE ³ /MIN *10 ⁵	POT. MIN VENT. H.P.
				C. FLUJO PIES ³ *10 ³	C. FLUJO PIES ² *10 ³	LONG. PIES	FLUJO C. PIES ³ *10 ³	FLUJO C. PIES ² *10 ³	LONG. PIES				
19.95	10	379.62	5.14	205.53	7.99	153.71	293.61	11.42	219.6	34.62	432.8		
15.95	14	303.53	3.27	130.93	4.52	87.0	187.04	6.46	124.3	24.84	310.5		

CAPITULO V.

SELECCIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

5.1 Selección del Tipo de Torre de Enfriamiento.

La torre que se considera en el presente estudio como la mas apropiada para instalarse es una torre de enfriamiento de madera, de tiro mecánico inducido de flujo cruzado, por ser éste el más adecuado para la disipación de calor de acuerdo con la capacidad de la unidad de vapor de la central, para las condiciones atmosféricas del lugar, y de acuerdo a lo visto en el capítulo II.

De acuerdo con lo antes mencionado y revisando los cálculos de capítulo anterior tendrá las siguientes características:

- 1.- Temperatura de bulbo seco =.....98.6 °F
- 2.- Temperatura de bulbo húmedo =.....80.6 °F
- 3.- Aproximación =.....10 °F
- 4.- Temperatura de agua a la entrada =.....110.55 °F
- 5.- Temperatura de agua fría =.....90.6 °F
- 6.- Rango de enfriamiento =.....19.95 °F
- 7.- Cantidad de agua de enfriamiento =.....38060.78 GPM

- 8.- Calor disipado =.....379618288.90 Btu /hr
- 9.- Volumen del relleno =.....293611.71 pies³
- 10.-Temp. del aire a la salida de la torre =.....100.58°F
- 11.- Flujo total de aire =.....3462062.09 pies³/min
- 12.- Perdidas por evaporación =.....761.22 GPM
- 13.- Pérdidas por arrastre =.....380.61 GPM
- 14.- Eficiencia =.....66.61 %

Considerando 4 ventiladores para la torre, dividiremos la potencia de los ventiladores y tenemos:

$$\text{Potencia de los ventiladores} = \frac{432.8 \text{ H.P.}}{4} = 108.19 \text{ H.P.}$$

Siendo que los motores de esta potencia en forma comercial no existen tomaremos el valor mas próximo mas cercano que es de 125 H.P.

Entonces la potencia de los ventiladores quedara:

$$\text{-Potencia de los ventiladores} = \dots\dots\dots 500.00 \text{ HP}$$

Cada uno de los ventiladores estará montado sobre un reductor de engranes tipo espiral, ángulo recto, de 1750 R.P.M. a 125 R.P.M. (reducción 14:1)

-Un motor eléctrico tipo jaula de ardilla (totalmente encapsulados), con un voltaje de 440 V, 60 Hz y 3 fases.

El reductor de engranes y el motor eléctrico deberán estar fuera de la corriente del aire y se conectarán por medio de una flecha flotante de acero galvanizado por inmersión en caliente.

Como lo mencionamos en el capítulo anterior la torre constará de 4 celdas las cuales se redondeará su valor dimensional, y el largo de la celda quedará:

$$Lc = \frac{219.35 \text{ pies}}{4} = 54.84 \approx 55 \text{ pies}$$

El ancho de la celda se tomara el mismo valor que se dio en la base al criterio de el largo de la torre, siendo este igual a 52 pies.

Entonces el largo de la torre será:

$$L_t = (55 \text{ pies}) (4 \text{ celdas}) = 220 \text{ pies.}$$

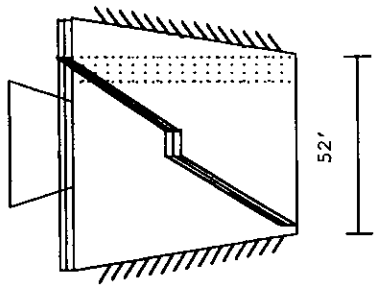
Por lo tanto las dimensiones de la torre quedaran como :

$$H_R + H_S = \dots\dots\dots 28.71 \text{ pies}$$

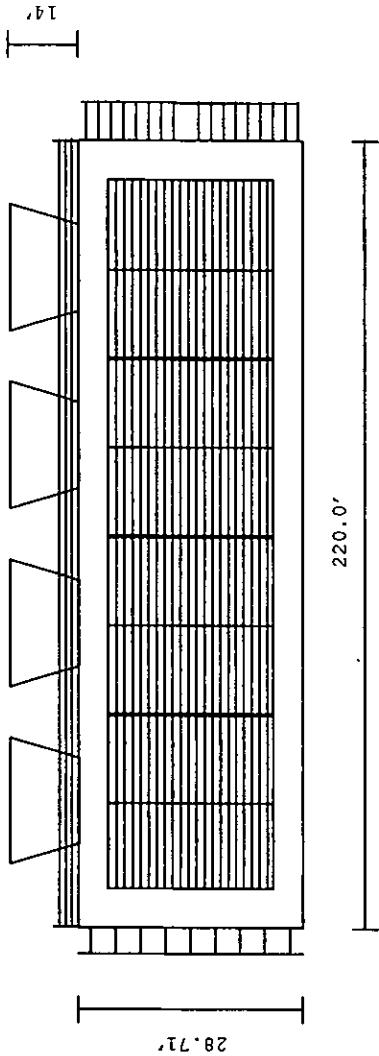
$$H_V = \dots\dots\dots 14.00 \text{ pies}$$

$$W = \dots\dots\dots 52.00 \text{ pies}$$

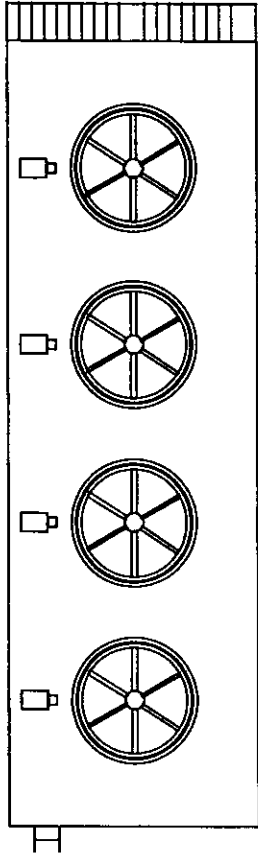
$$L_T = \dots\dots\dots 220.00 \text{ pies}$$



ENEP ARAGON	
Tesis Profesional	
Torre de Enfriamiento	
Vista de Elevación	
1997	Flores Landero José



ENEP ARAGON	
Tesis Profesional	
Torre de Enfriamiento	
Vista de Elevación	
1997	Flores Landero José



ENEP ARAGON	
Tesis Profesional	
Torre de Enfriamiento	
Vista de Planta	
1997	Flores Landero José

5.2 Materiales de la Torre Seleccionada.

Relleno.

Componente.	Material.	Norma.
Relleno.	Pino Nacional de 1 ^a con espesor mínimo de 3/8 pulg	CTI - 103
Soporte de Relleno.	Acero Inoxidable tipo 304	_____

Sistema de distribución.

Componente.	Material.	Norma.
Cabezales de distribución.	Poliéster reforzado con fibra de vidrio.	ASTM D - 1784
Válvulas de control.	Ver nota 1.	_____
Cuerpo.	Poliéster reforzado con fibra de vidrio.	ASTM D - 1784
Boquillas.	Polipropileno.	ASTM D - 1784

Otros Componentes.

Componente.	Material.	Norma.
Persianas de entrada.	Asbesto Cemento corrugado de 3/8 pulg. de espesor.	CTI - 127
Eliminadores de humedad.	Cloruro de polivinilo (PVC).	ASTM D - 1784
Estructura.	Pino nacional de 1 ^a .	CTI - 103
Barandales y Escaleras.	Pino nacional de 1 ^a .	CTI - 103
Plataforma de ventiladores.	Pino nacional de 1 ^a machiembado de 1½ pulg. de espesor mínimo.	CTI - 103
División de celdas.	Asbesto cemento de ½ pulg. de espesor con preparación de traslape en uniones para alineamiento.	CTI - 127
Paredes.	Asbesto Cemento corrugado de 3/8 pulg. de espesor.	CTI - 127
Tornillos, tuercas, rondanas, conexiones, clavos.	Acero Inoxidable tipo 304.	_____
Pileta.	Concreto reforzado.	ASME- PTC - 23

Ventilador y accesorios.

Componente.	Material.	Norma.
Soportes del motor y transmisión.	Acero al carbón estructural soldado y galvanizado en caliente por inmersión.	ASTM A - 36 NOM J - 151
Chimenea del ventilador.	Acero galvanizado en caliente por inmersión con cubiertas de poliéster reforzado con fibra de vidrio y tornillería de acero inoxidable tipo 304	NOM J -151 ASTM D - 1784
Herrajes.	Acero Inoxidable tipo 304.	-----
Aspas del ventilador.	Aluminio y Poliéster reforzado con fibra de vidrio.	ASTM D - 1784
Reductor.	Cubierta (hierro colado) Engranés (Acero al Cromo-Níquel- Molibdeno)	CTI - 111 SAE 4620
Motores.	-----	NEMA - MG - 1

Notas:

1) Son aceptables válvulas totalmente de acero inoxidable tipo 304 o cuerpo de fierro fundido recubierto con porcelana; vástagos y demás partes que no pueden recubrirse, acero inoxidable, tipo 304.

2) Toda la madera debe ser tratada conforme a lo establecido en las normas AWPA A2, AWPA A3, AWPA C1, AWPA C2, AWPA M1, AWPA M2, AWPA P5.

5.3 Análisis Económico

Costo de la Torre de Enfriamiento.

El costo de la torre fue proporcionado por un fabricante de torres de enfriamiento y fue el siguiente:

Costo de la torre de enfriamiento =	\$ 1,500,000 U.S.
Fletes =	\$ 114,000 U.S.

Total.....	\$ 1,614,000 U.S.

Como este costo esta dado en dólares se tomara como cotización 8.00 pesos por un dólar y por lo tanto el costo en pesos es:

$$\$ 1,614,000 \text{ U.S.} * 8.00 = \$ 12,912,000.00 \text{ M.N.}$$

Este costo se incluye materiales , equipo e instalación , pero en este concepto no se incluye la pileta, el cableado, alumbrado y tableros por lo que se tienen que cotizar aparte.

Costo de la Pileta.

La pileta como es de concreto reforzado se hizo como \$ 750.00 el m³ pero primero hay que determinar la dimensiones de la pileta y esta serán considerado 4 pies extras por cada lado en la torre y esto será:

-Ancho de la pileta =.....60 pies

-Longitud de la pileta =228 pies

-Profundidad de la pileta =3.28 pies

-Ancho de la pared de la pileta =0.98 pies

Por lo que el volumen de concreto reforzado es:

$$V = 15257.89 \text{ pie}^3 = 431.80 \text{ m}^3 * \$ 750.00 = \$ 323,850.00 \text{ MN}$$

Siendo este el costo de la pileta incluyendo la mano de obra.

Otros Costos.

Costo cableado, tableros y alumbrado = \$ 1,000,000.00 MN

Realizando la suma de todos estos costos tenemos:

Costo de la torre de enfriamiento =\$ 12,912,000.00 MN.

Costo de la pileta =\$ 323,850.00 MN

Costo cableado, tableros y alumbrado = \$ 1,000,000.00 MN.

Total..... \$ 14,235,850.00 MN.

Costo de la Energía Eléctrica.

$$E = 125 * 0.746 * 24 \text{ horas} = 2238.00 \text{ Kwh por día.}$$

El costo del Kwh es de \$ 0.07 pesos.

$2238.00 * \$ 0.07 = \$ 156.66 * 4 \text{ ventiladores} = \$ 626.64$
por día.

Costo del Kwh anual.

$\$ 626.64 * 365 \text{ días} = \$ 228,723.60 \text{ MN.}$

5.4 Programa de Mantenimiento.

Se establece un programa de mantenimiento preventivo para las torres de enfriamiento. Se lubrican los cojinetes y se prueba el aislamiento del motor una vez al año. Se cambia el aceite de los reductores cada 3000 horas. Se revisa si hay fugas de aceite alrededor del eje de impulsión del ventilador ocasionadas por sellos de aceite gastados. Se mantiene bien pintadas las aspas y cubos del ventilador para evitar la corrosión. Se ajustan las abrazaderas de las aspas y los tornillos del cubo y se vuelven a balancear los ventiladores cuando se necesita. Se comprueban todas las holguras y entrehierros así como la lubricación, a intervalos periódicos.

Han de reemplazarse de inmediato todas las piezas dañadas. Se eliminan incrustaciones, mugre, insectos y basura; se limpian y pintan las piezas metálicas. Se aprietan todos los tornillos flojos. (Pero se recuerda que la madera se hincha. Los eliminadores reducen el paso de aire si están sucios; manténgalos limpios.) Ha de eliminarse toda la mugre de las tablillas de madera de relleno.

A continuación aparece un programa para revisión semanal, mensual, semestral y anual.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.		VENTILADOR		MOTOR		EJE VENTILADOR		REDUCTOR VELOCIDAD		ELIMINADORES		RELLENO		PILETA		SISTEMA DE DISTRIBUCION		PARTE DE LA ESTRUCTURA.		ENVOLVENTE.	
		W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
	RUIDO O VIBRACION ANORMAL.																				
	INSPECCIONAR CUÑAS Y CUÑEROS.		S		S		S		S												
	REVISAR NIVEL DE ACEITE.								M												
	COMPROBAR ABERTURA EN RESPIRADEROS.								M												
	INSPECCIONAR SI HAY DETERIORO.				S		S			A		A									A
	LUBRICAR.		S		S		S		S												
	APRETAR TORNILLOS FLOJOS.		A		A		A		A												A
	PINTAR.		R		R		R		R						R						R
	LIMPIAR.														R						R
	INSPECCIONAR SI HAY OBSTRUCCION.														R						R
	REVISAR SI HAY FUGAS.														W						M
	CAMBIO DE ACEITE.														M						
	REV.SELLOS DE ACEITE EN RED.DE VEL.								S												S

W = SEMANAL.

M = MENSUAL.

S = SEMESTRAL.

A = ANUAL.

R = SEGUN SE REQUIERA.

CONCLUSIONES.

En este sencillo trabajo se pretendió dar una idea general, primordialmente; sobre el funcionamiento y selección de torres de enfriamiento entre los métodos existentes. Llegándose a la conclusión de seleccionar la torre más adecuada y eficiente según las condiciones climatológicas del lugar y necesidades de operación de la central de generación de energía eléctrica propuesta.

Esta selección puede variar según las necesidades de cada una de las centrales en las que haya necesidad de seleccionar una torre de enfriamiento.

En mi caso fue una torre de enfriamiento de madera, de tiro inducido, flujo cruzado con las características anteriormente mencionadas, por ser este el tipo de torre más conveniente entre otras, de acuerdo a la capacidad de la central y las condiciones climatológicas del lugar.

Existen en México pocas Compañías dedicadas al diseño de torres de enfriamiento con asesoría extranjera lo cual trae como consecuencia que los costos se eleven considerablemente.

La fuente de información para el diseño de torres es escasa en nuestro país, recurriendo a solicitar la información en inglés a diversas bibliotecas específicas. Dicha información (tecnológica) la debe uno de adaptar a las condiciones que imperan en nuestro país.

En general, sabiendo que se requiere un estudio más completo y a fondo para el diseño y selección de torres de enfriamiento presento este trabajo, para dar una idea general sobre el funcionamiento y selección de torre de enfriamiento para Centrales Generadoras de Energía Eléctrica como se dijo anteriormente, sin querer decir con esto, que se tome como base para futuros trabajos relacionados con el ramo.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Procesos de Transferencia de Calor.
Kern Donald
CECSA.
- 2.- Manual de Operación. Conceptos Fundamentales de
Sistemas de Energía Electrica (Tomo 1)
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- 3.- Cooling Tower Selection Desing and Practice.
Cheremisinoff Nicholas.
Ann Arbor Science.
- 4.- Code Tower Standar Specifications
Boletin NCL - 109.
Cooling Tower Institute.
- 5.- Manual del Ingeniero Químico (Tomo III).
Perry
Mc Graw Hill.
- 6.- Plantas de Vapor. Arranque, Prueba y Operación.
Swift Donald
CECSA.
- 7.- Cooling Tower Operations.
Cooling Tower Manual (Charper I).
Cooling Tower Institute.

- 8.- Mechanical Components For Cooling Towers.
Cooling Tower Manual (Charper X).
Cooling Tower Institute.

- 9.- Manual de Diseño de Obras Civiles(Estructuras de Torres de Enfriamiento).
Comisión Federal de Electricidad & Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Comisión Federal de Electricidad.

- 10.- Criterio de Diseño de Plantas Termoeléctricas.
Aguilar R. Martiniano.
Limusa

- 11.- Termodinámica.
Wark Kenneth
Mc Graw Hill.

- 12.- Cooling tower Performance.
Baker Donald.
Chemical Publising.

- 13.- Turbomaquinas de Fluido Compresible.
Polo E. Manuel.
Limusa.

- 14.- Administración y Contabilidad del Costo de Producción.
López H. Orlando
The University Society Mexicana S. A.

- 15.- Torres de Enfriamiento de Madera (Tomo XXII).
Comisión Federal de Electricidad.
Especificación CFE XY000-03.

- 16.- Aspas de Fibra de Vidrio Para Ventiladores de Torres
de Enfriamiento (Tomo XXII).
Comisión Federal de Electricidad.
Especificación CFE XYK01-27.

- 17.- Manual de Mantenimiento Industrial (Tomo II).
Morrow
CECSA.

- 18.- Inspection of Cooling Towers.
Cooling Tower Manual (Charper XIII)
Cooling Tower Institute.

- 19.- Guía Práctica para Reparación y Mantenimiento.
Equipos Industriales (Tomo I).
Mc Graw Hill.

REFERENCIAS

- 1.- The Industrial Cooling Towers.
Mc Kelvey and Broke.
Elsevier Publishing Co. N.Y. EUA.
- 2.- Marley Engineering Manual for Industrial Cooling
Towers.
Marley Co. Kansas EUA.
- 3.- Materials of Construcción For Cooling Towers.
Cooling Tower Manual (Charper IX).
Cooling Tower Institute.
- 4.- Cooling Tower Desing and Evaluation Parameters.
Kelly G.M.
The American Society of Mechanical Engineers. N.Y. EUA.
- 5.- Selecting Cooling Towers For Condensing Steam Turbines.
Baker Donald
The American Society of Mechanical Engineers. N.Y. EUA.
- 6.- Criterio de Diseño de Plantas Termoeléctricas.
Aguilar R. Martiniano.
Limusa
- 7.- Managing Tower Paper Presented at the National
Pollution.
Dikey S. B. and Cates R. E. San Francisco EUA.

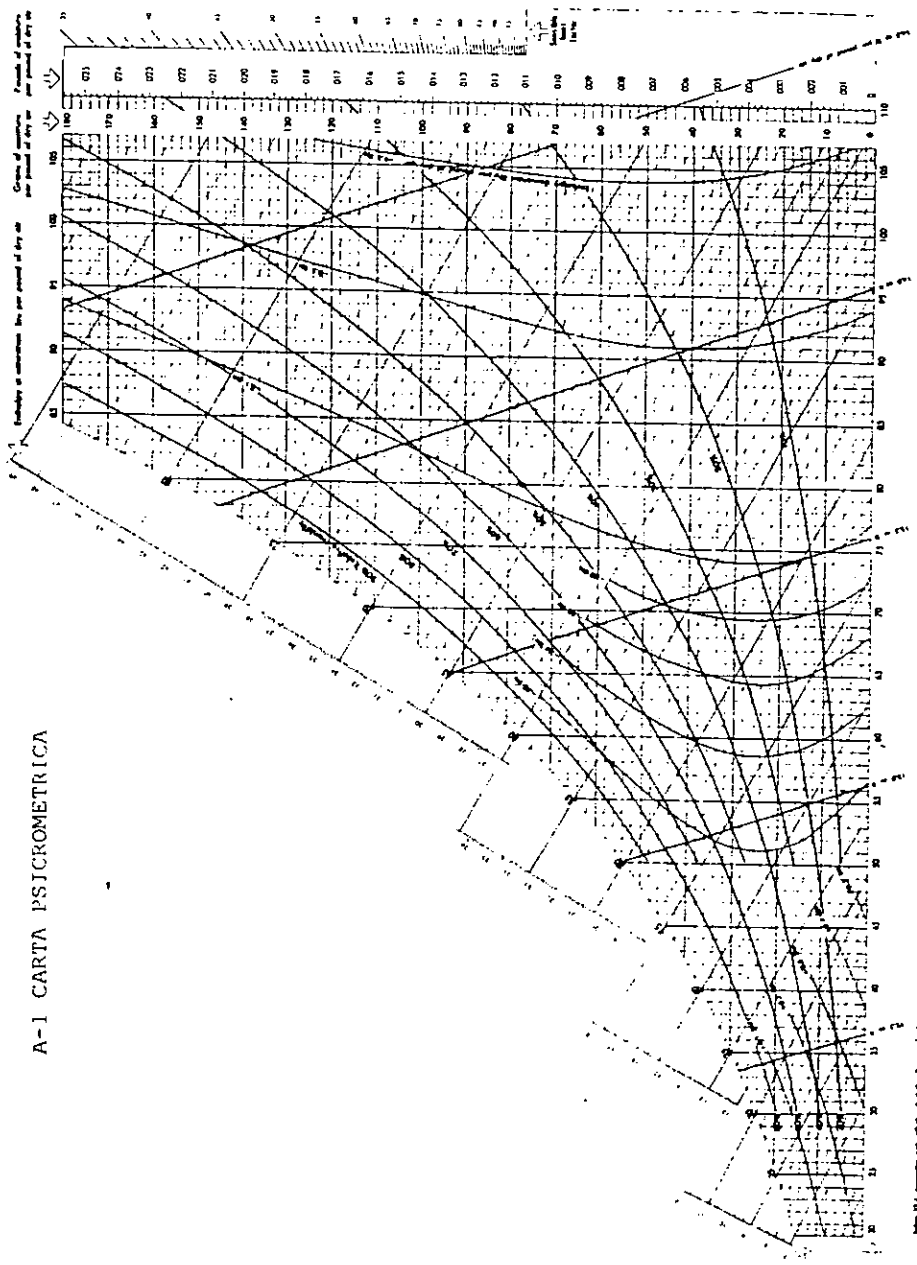
- 8.- Modern Power Station Practice.
Central Electricity Generating Board.
George Berridge and Company.

ANEXOS .

A-1 CARTA PSICROMETRICA.

A-2 DATOS METEOROLOGICOS DE LAS CIUDADES PRINCIPALES DE LA
REPUBLICA MEXICANA.

A-1 CARTA PSICROMETRICA



Copyright 1967, General Motors - Copyright 1967, General Motors - GM Corp. (17-46-017)

Wet-bulb
Dry-bulb or
Temperature
Temperature

E S T A D O	SITUACION				VERANO			INVIERNO	
	LATITUD	ALTURA S.N.M.	PRESION BAROMETRICA	TEMP. MAX.EXT.	TEMP. CALCULO	BH	TEMP. MIN-EXT.	TEMP. DE CALCULO	
	N	M	MM H2O	°C	BS	BH	°C	°C	
AGUASCALIENTES									
Aguascalientes	21° 53'	1079	612	36.8	34	19	- 4.7	0	
BAJA CALIFORNIA									
Ensenada	31° 52'	13	759	36.5	34	26	+ 1.1	+ 5	
Mexicali	32° 29'	7	760	47.8	43	28	- 2.7	+ 1	
La Paz	24° 10'	16	758	38.0	36	27	+ 9.0	+ 13	
Tijuana	32° 29'	28	758	38.2	35	26	- 3.3	+ 2	
CAMPECHE									
Campeche	19° 51'	25	758	38.9	36	26	+ 12.7	+ 16	
Ciudad del Carmen	18° 38'	3	760	41.0	37	26	+ 10.8	+ 14	
COAHUILA									
Monclova	26° 55'	586	711	42.0	38	24	- 7.8	- 3	
Nueva Rosita	27° 55'	430	724	45.0	41	25	- 8.5	- 3	
Piedras Negras	28° 12'	220	741	43.9	40	26	- 11.9	- 6	
Saltillo	25° 26'	1609	632	38.0	35	22	- 9.6	- 4	
COLIMA									
Colima	19° 34'	494	719	32.5	36	24	+ 8.5	+ 12	
Manzanillo	19° 04'	3	700	38.6	35	27	+ 12.1	+ 15	
CHIAPAS									
Tapanochula	14° 54'	168	746	37.4	34	25	+ 12.8	+ 16	
Tuxtla Gutierrez	36° 45'	536	715	38.5	35	25	+ 7.2	+ 11	
CHIHUAHUA									
Ciihuahua	28° 38'	1423	645	38.5	35	23	- 11.8	- 8	
Ciudad Juarez	31° 44'	1137	667	41.2	37	24	- 16.0	- 10	
DISTRITO FEDERAL.									
México Chapultepec	19° 25'	2240	585	33.8	30	17	- 4.8	0	

E S T A D O	SITUACION					VERANO			INVIERNO		
	LATITUD		ALTURA S.N.M.		PRESION BAROMETRICA	TEMP. MAX. EXT.	TEMP. DE CALCULO		TEMP. MIN. EXT.	TEMP. DE CALCULO	
	N	M	M	M	MM HG	°C	BS	BH	°C	°C	°C
DURANGO											
Durango	24° 01'	1898			610	35.6	33	17	-5.0	0	
Ciudad Lerdo	25° 30'	1140			667	39.0	36	21	-4.2	+1	
GUANAJUATO											
Celaya	20° 32'	1754			610	41.5	34	20	-4.5	0	
Guanajuato	21° 01'	2037			601	33.8	32	18	+0.1	+5	
Leon	21° 07'	1809			617	36.5	34	20	-2.5	+2	
Salvatierra	20° 13'	1761			620	38.0	35	19	-2.0	+3	
GUERRERO											
Acapulco	16° 50'	3			760	35.8	33	27	+15.8	+19	
Ciudad Bravo	17° 33'	1250			658	35.2	33	23	+5.0	-9	
Chilpancingo	18° 33'	1755			621	36.5	34	20	-8.0	+12	
Taxco											
HIDALGO											
Octopan	20° 08'	2415			573	31.4	29	18	-5.8	-1	
Tulacingo	20° 05'	2181			590	34.7	32	19	-5.8	-1	
JALISCO											
Guadalupe	20° 41'	1589			633	36.0	33	20	-3.7	+1	
Lagos	21° 22'	1880			612	43.2	39	20	-3.2	+2	
Puerto Vallarta	20° 37'	2			760	39.0	36	26	+11.0	+14	
MEXICO											
Texcoco	19° 31'	2216			588	34.0	32	19	-6.0	-1	
Toluca	19° 17'	2875			557	26.8	26	17	-3.0	+2	
MICHOACAN											
Apatzingo	19° 05'	682			703	43.0	39	25	+11.5	+15	
Morelia	19° 42'	1923			609	31.3	30	19	+1.6	+6	
Zamora	19° 59'	1633			630	37.5	35	20	-0.2	+4	
Zacapu	19° 45'	2000			603	34.8	32	19	-6.0	-1	

E S T A D O	SITUACION			VERATIO			INVIERNO		
	LATITUD	ALTURA S.N.M.	PRESION BAROMETRICA	TEMP. MAX. EXT.	TEMP. DE CALCULO	BS	BH	TEMP. MIN. EXT.	TEMP. DE CALCULO
	N	M	MM HG	°C	°C			°C	°C
MORELOS									
Cuauhtla	18° 40'	1291	655	47.4	42	22	22	+ 5.3	+ 9
Cuernavaca	18° 55'	1538	637	32.5	31	20			
NAYARIT									
San Blas	21° 32'	7	760	36.0	3	26	26	+ 7.3	+ 11
Tepec	21° 31'	918	684	38.9	36	26	26	+ 1.9	+ 6
NUEVO LEON									
Montemorelos	25° 12'	432	724	42.8	39	25	25	+ 0.5	+ 5
Monterrey	25° 40'	534	715	41.5	38	26	26	- 6.4	0
OAXACA									
Oaxaca	17° 04'	1563	635	38.0	35	22	22	+ 2.4	+ 7
Salinas Cruz	16° 12'	56	755	36.8	34	26	26	+ 16.0	+ 19
PUEBLA									
Puebla	19° 02'	2150	593	30.8	29	17	17	- 1.5	+ 3
Tehuacan	18° 28'	1676	627	37.0	34	20	20	- 5.0	0
QUERETARO									
Queretaro	20° 36'	1842	614	36.2	33	21	21	- 4.9	- 0
SAN LUIS POTOSI									
San Luis Potosi	22° 09'	1877	612	37.3	34	18	18	- 2.7	+ 2
SINALOA									
Culiacán	24° 48'	53	755	40.9	37	27	27	+ 31.1	+ 7
Minatitlán	23° 11'	78	753	33.4	31	26	26	+ 11.2	+ 14
Topolobampo	25° 36'	3	760	41.1	37	27	27	+ 6.0	+ 12
SONORA									
Guaymas	27° 55'	4	760	47.0	42	22	22	+ 7.0	+ 11
Hermosillo	29° 05'	211	742	45.0	41	28	28	+ 2.0	+ 6
Nogales	30° 21'	1117	664	41.0	37	28	28	- 9.0	- 4
Ciudad Obregón	27° 29'	1140	757	48.0	43	28	28	- 1.1	- 4

E S T A D O	SITUACION				VERANO				INVIERNO		
	LATITUD		ALTURA S.N.M.		PRESION BAROMETRICA		TEMP. MAX.EXT.	TEMPDE CALCULO	BH	TEMP. MIN-EXT.	TEMP. DE CALCULO
	N	M	M	MM HG	°C	°C	°C	°C			
TARASCO	17° 59'	10	759		41.0	37	26	+15	+12.2	+15	
Villahermosa											
VERACRUZ											
Jolana	19° 32'	1399	647		34.6	22	21	+6	+2.2	+6	
Pala Rico	18° 51'	1246	659		37.0	34	21	+6	+1.5	+6	
Orizaba	19° 12'	16	758		35.6	33	27	+13	+9.6	+13	
Veracruz											
YUCATAN											
Imilia	20° 58'	22	758		41.0	37	27	+15	+11.6	+15	
Progreso	21° 17'	14	759		38.8	36	27	+16	+13.0	+16	
ZACATECAS											
Fresnillo	23° 10'	2250	586		39.0	36	19	0	-4.5	0	
Zaragoza	22° 47'	2612	561		29.0	28	17	-2	-7.5	-2	
QUINTANA ROO											
Cozumel	20° 31'	3	760		35.8	33	27	+14	+10.3	+14	
Paya Obispo	18° 30'	4	760		37.2	34	27	+13	+9.5	+13	
TAMAULIPAS											
Matamoros	25° 32'	12	759		39.3	36	26	0	-4.7	0	
Nuevo Laredo	27° 29'	140	748		45.0	41	32	-2	-7.0	-2	
Tampico	22° 12'	18	738		39.3	36	25	+2	-2.5	+2	
Ciudad Victoria	23° 44'	221	733		41.7	36	26	+2	-2.3	+2	
TLAXCALA											
Tlaxcala	19° 32'	2252	686		29.4	38	17	+3	-1.4	+3	