

300617



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

6
2ej

**"METODOLOGIA PARA EL ANALISIS
ENERGETICO EN TORRES DE ENFRIAMIENTO"**

TESIS CON
FALLA EN ORIGEN

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a

ALFREDO AVILA GONZALEZ

DIRECTOR DE TESIS : ING. ALFREDO HEREDIA NAVARRO

México, D.F

1992



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE

<i>Introducción</i>		<i>Página</i>
CAPITULO 1	Conceptos Fundamentales	1
	Aire	2
	Psicrometría	2
	Diagrama Psicrométrico	4
	Principios de Operación	6
	Tipos de torres de Enfriamiento	10
	Sistemas de Distribución del Agua	17
	Relleño	19
	Deflectores de Agua	24
	Eliminadores de Gotas	24
	Chimeneas	25
	Ventiladores	27
	Bombas	28
	Motores	30
	Reductores	31
CAPITULO 2	Instrumentos de Medición	33
	Instrumentos de Medición de Temperatura del Aire	34
	Velocidad del Aire	34
	Instrumentos de Medición de Velocidad del Aire	39
	Caudal	42
	Instrumentos de Medición del Caudal	43
	Medidas de Temperatura del Agua	44
	Instrumentos de medición de Temperatura del Agua	44
	Altura de Bombeo Y Cálculo Bomba	45
CAPITULO 3	Tratamiento de Agua	48
	Corrosión	49
	Dureza de las aguas	52
	Purga	58
CAPITULO 4	Evaluación del Rendimiento de Torres de Tiro Mecánico	60
	Método de la curva Característica	62
	Método de la Curva de Rendimiento	62
	Método de la Curva de Garantía	67
CAPITULO 5	Mantenimiento	73
	Metodología	74
	Pruebas de Rendimiento	74
	Propuesta de Mantenimiento	79

INTRODUCCIÓN.

El objetivo de esta tesis es proporcionar un método sencillo y práctico para ser utilizado como documento de consulta por personal de operación en empresas con problemas energéticos en Torres de Enfriamiento de tiro mecánico.

Se eligió como tema el análisis del rendimiento de la torres de enfriamiento, debido a la importancia que ha cobrado la optimización del uso de aguas.

El hecho de centrar estas páginas en las torres de enfriamiento se debe a que estas instalaciones son considerados como equipos secundarios. Esto se debe a que estos equipos que por lo regular son muy caros, pueden trabajar incluso con algunos de sus equipos fuera de servicio. Son instalaciones muy eficientes, sin embargo es muy importante que las torres de enfriamiento funcionen adecuadamente ya que al cumplirse este objetivo se cumple nuestro objetivo de cuidar el ecosistema reciclando el agua y aprovechando energía.

Las Torres de Enfriamiento son indispensables para las industrias químicas, plantas térmicas y todos aquellos sistemas que necesitan del enfriamiento del agua para su

reutilización.

No se sabe con exactitud el origen de las torres de enfriamiento, se sabe que su apertura técnica fue durante los primeros años del siglo 19, pero esta apertura técnica era en realidad muy primitiva.

Fue hasta los años de 1886-1890 y 1891-1895 que se crearon los primeros volúmenes importantes de ingeniería, y no estaban referidos a las Torres de Enfriamiento.

No fue hasta el tercer volumen 1896-1900 que se hizo mención de las torres de enfriamiento con artículos provenientes de Alemania, Canadá y Estados Unidos. Estos artículos se referían a un nuevo invento muy original. Un artículo hecho por Mosscrop fue el primer tratado teórico sobre torres de enfriamiento.

Con el crecimiento de las plantas manufactureras acompañado con tasas más altas de calor rechazado, la necesidad de las torres de enfriamiento aumentó en gran medida desde el siglo pasado, con tendencias que se unen a aspectos ambientales, que incluyen la conservación del agua y las limitaciones en las descargas térmicas y químicas. Como resultado, la ingeniería ha propuesto una serie de especificaciones, recomendaciones técnicas y aplicaciones para las torres de

enfriamiento, con el cual se coopera con el ambiente.

La metodología usada en este trabajo es la siguiente:

a) Se describen conceptos básicos que son necesarios para el entendimiento del funcionamiento de una torre de enfriamiento.

b) Se muestran los instrumentos necesarios para tomar las mediciones correspondientes para cada equipo.

c) Se indican las características con las cuales debe contar el agua, para utilizarla en las torres de enfriamiento.

d) Se describen los métodos para evaluar el rendimiento en las torres de enfriamiento de tiro mecánico.

e) Se señala un método para realizar una inspección en torres de enfriamiento y una propuesta de mantenimiento.

f) Se indican cuales son los parámetros a seguir para operación de las torres de enfriamiento.

g) Por último se toma un ejemplo práctico del método a seguir.

Nota: Los modelos teóricos complicados no son incluidos en este trabajo debido a que pueden dificultar su entendimiento.

CAPITULO 1

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

CAPITULO 1

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En las centrales eléctricas, plantas químicas, sistemas de aire acondicionado, etc., se genera calor que es preciso extraer y disipar, y una de las formas más conocidas para hacer ésto es por medio de un refrigerante. Generalmente se usa agua para este fin.

Uno de los problemas más comunes en nuestra ciudad, es la escasez de agua y es por eso que resultaría de forma antieconómica utilizar el agua para luego desecharla, es por esto que se emplean las torres de enfriamiento como una forma de no desperdiciar esta agua, transmitiendo el calor al aire de tal forma que pueda emplearse nuevamente para refrigerar o reciclarla.

El uso de las torres de enfriamiento ha crecido de una forma enorme debido a una necesidad cada vez mayor de reciclar el agua.

Es así como las torres de enfriamiento son instalaciones para el enfriamiento de agua por contacto con el aire atmosférico.

La teoría del proceso de transferencia de calor en una torre de enfriamiento es la que desarrolló Merkel, análisis que se basa en la diferencia de potencial de la entalpía como fuerza impulsora.

1.1 AIRE

Aire atmosférico. Es una mezcla de numerosos componentes gaseosos, vapor de agua y contaminantes.

Aire seco. Si se retiran del aire atmosférico todos los contaminantes y el vapor de agua, se tiene el denominado aire seco que tiene una composición prácticamente constante hasta una altura de unos 150 kms sobre el nivel del mar.

Aire húmedo. Se define como una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua; es una simplificación teórica del aire atmosférico.

1.2 PSICROMETRIA

Psicrometría. Es la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo.

Temperatura de bulbo seco. Es la temperatura medida por un termómetro normal (T_s).

Temperatura de bulbo húmedo. Es la medida por un termómetro denominado de bulbo húmedo, que tiene el bulbo recubierto por una tela empapada de agua. Si se hace pasar una corriente elevada de aire por la zona del bulbo aproximadamente a unos 3 a 5 m/s, tendremos la temperatura de bulbo húmedo; deberá dejarse pasar un

cierto tiempo para que la medida pueda tomarse.

Esta temperatura es solamente una aproximación considerada como aceptable, también es llamada de saturación adiabática y no puede ser medida directamente. La tomaremos como (T_h) en grados centígrados.

Temperatura de rocío. Si la presión total constante sigue así hasta que alcanza una temperatura a la cual comienza la condensación de vapor, encontramos el punto de rocío o temperatura de rocío en la cual el aire estará saturado (T_r) .

Presión parcial. Se denomina presión parcial de un componente a la presión que ejercería ese componente si ocupase él sólo todo el volumen que ocupa la mezcla.

$$P = P_v + P_a$$

Humedad específica. Es la relación entre masa de vapor de agua y la masa de aire seco en la muestra.

$$W = m_v + m_a$$

Humedad relativa. Considerando gases perfectos, la humedad relativa del aire viene dada por la relación entre la presión parcial del vapor de agua en la muestra y la presión parcial del vapor de agua en el aire saturado a la misma presión y temperatura.

$$h_r = P_v + P_{vs}$$

Volumen específico. Es el volumen de aire húmedo por unidad de masa del aire seco.

$$V = V + m_a.$$

Entalpia del aire húmedo. La entalpia del aire húmedo es una función de estado que representa termodinamicamente su contenido energético. Es la suma de las entalpías de sus dos componentes (aire seco y vapor de agua).

$$H = m_a h_a + m v h_v \text{ (kcal)}.$$

Factor térmico. Es la relación entre el calor sensible y el calor total.

$$R = (m_a * h_a) + H.$$

1.3 DIAGRAMA PSICROMETRICO

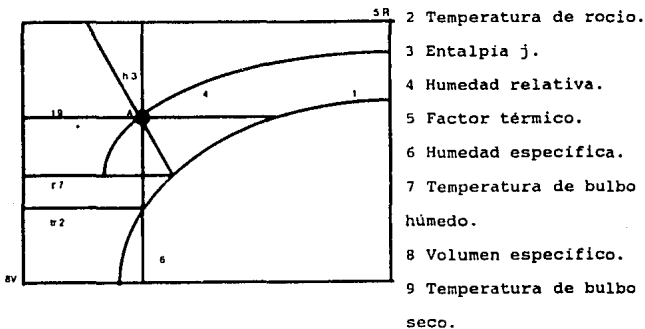
La solución de cualquier tipo de problema relacionado con torres de enfriamiento como es su propio diseño, se puede hacer por medio de cálculos en teoría que se pueden llevar a la práctica, pero resulta mucho más cómodo trabajar sobre representaciones gráficas de los cálculos teóricos, éstas gráficas son los denominados diagramas psicrométricos.

Existen varios tipos de diagramas psicrométricos, pero los más comunes son los que relacionan a la humedad específica con la entalpia, uno de los diagramas psicrométricos que usan esta

relación es el diagrama psicrométrico de Mollier.

Diagrama psicrométrico de Mollier. En este diagrama, donde relacionamos la entalpía con la humedad específica, el origen de entalpías se toma para una temperatura de cero grados centígrados y cero gramos de vapor de agua por kilogramo de aire seco. Todas las variables de estado están referidas a un kilogramo de aire seco.

La línea que representa los estados del aire con una humedad relativa del 100% se denomina línea de saturación.



F.1.1 Diagrama psicrométrico de Mollier.

Diagrama psicrométrico de Carrier. En este diagrama las coordenadas están formadas por la temperatura de bulbo seco y el de

las humedades específicas, formando entre ellas un ángulo de 90 grados. El origen de entalpías se toma para una temperatura de cero grados y el 0% de humedad relativa.

1.4 PRINCIPIOS DE OPERACION

El enfriamiento sufrido por el agua en una torre de enfriamiento se basa en la transmisión combinada de masa y calor de aire que circula por el interior de la torre.

El agua entra siempre por la parte superior y es distribuida de tal forma que establezca el mejor contacto posible con el aire atmosférico que asciende procedente de la parte inferior de la torre. Para lograr esto, el agua se reparte de una forma uniforme con ayuda de unos pulverizadores, sobre un relleno que aumenta el tiempo de caída del agua.



F.1.2 Distribución del agua.

En condiciones normales de funcionamiento, este contacto conduce a una evaporación de parte del agua; como el agua debe de absorber calor para que pase de líquido a vapor a presión constante, este calor se toma del líquido restante, el calor de vaporación del agua a la presión atmosférica se transfiere del agua de refrigeración al aire atmosférico (calor latente).

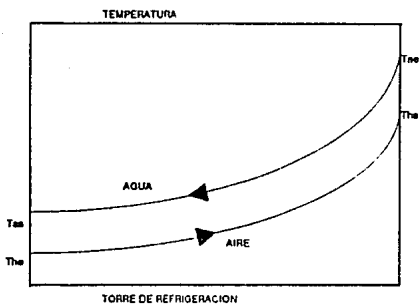
Para una temperatura del agua fría predeterminada, si cambiamos simplemente en un grado la temperatura húmeda se puede suponer una diferencia importante en el tamaño de la torre, ésto está determinado, por el acercamiento que es la diferencia de temperatura del agua fría que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo. Normalmente se utiliza un acercamiento del orden de 7 grados centígrados, llegándose a un mínimo de unos 3 grados.

La cantidad de calor transmitida del agua al aire es proporcional a la diferencia de entalpía entre las condiciones de entrada y salida del aire.

En el análisis del consumo de agua en una torre de refrigeración es muy importante la relación entre calor latente y el calor sensible transmitidos. La evaporación del agua está relacionada sólo con la parte latente del calor total transmitido y es proporcional al cambio de la humedad específica.

Como la temperatura seca del aire a la entrada afecta a la relación

de calores latente y sensible, afecta también a la tasa de evaporación. La tasa de evaporación en las condiciones de diseño típicas es, aproximadamente de un 1% del caudal de agua por cada 7 grados centígrados de salto térmico, la medida anual es inferior, debido a que la fracción sensible aumenta al disminuir la temperatura de entrada del aire.



T_{ae} -Temperatura del agua
ala entrada.

T_{as} -Temperatura del agua
ala salida.

T_{he} -Temperatura húmeda
del aire ala entrada.

T_{hs} -Temperatura húmeda
del aire ala salida.

T_{ae} - T_{as} =Salto térmico.

T_{as} - T_{he} =Acercamiento.

F.1.3 Salto Térmico y Acercamiento.

En un diagrama entálpico, la línea curva representa la entalpía del aire saturado para cada temperatura, a una presión constante. Por otro lado, la línea recta es la ecuación de la energía y representa la actuación de la torre y es la relación entre el gas y el líquido (L/G).

Esta línea recta de L/G es función de la pendiente que forma y si ésta varía, la torre alcanza su equilibrio y es por esto que a esta línea se le llama característica de la torre.

1.5 RANGO DE LA TORRE.

La selección óptima de un rango de enfriamiento depende de las características operacionales de un equipo en servicio y el tipo de torre que se esta considerando. Esto es importante en los costos de construcción de una torre.

En términos generales los rangos de enfriamiento pueden ser considerados como grandes de 25 a 65 °F, medios de 10 a 25 °F y chicos de 5 a 10 °F.

Los rangos grandes son utilizados en refinerías y fundidoras, los rangos medianos son usados en plantas eléctricas y los rangos chicos son utilizados en sistemas de aire acondicionado.

El rango de la torre esta determinado por la relación que existe entre la carga de calor y la cantidad de agua que circula por la torre, determinando esto la siguiente fórmula:

$$\text{Rango } ^\circ\text{F} = (\text{Carga de calor (BTU+min)}) \div (\text{G.P.M} * 8.35).$$

1.6 TIPOS DE TORRES DE REFRIGERACION

Hay muchos métodos para exponer el agua a la corriente del aire, una primera clasificación puede hacerse atendiendo a la forma en la que el agua es distribuida con objeto de lograr un buen contacto con el aire ascendente.

Existen dos métodos básicos, uno es extender el agua en finas películas sobre superficies o producir participación en gotas por choques del agua en su caída. Al primero se le llama relleno laminar y al segundo se le llama relleno por goteo.

También podemos clasificar a las torres en relación entre las corrientes de agua y aire y también hay dos métodos, las torres de flujo en contracorriente y las de flujo cruzado.

Para esta última clasificación tenemos ciertas ventajas y desventajas.

Mediante el flujo en contracorriente el agua más fría se pone en contacto con el aire más seco lográndose máxima eficiencia.

Existe menos riesgo de que se produzca recirculación del aire.

En las torres de flujo cruzado los elementos mecánicos y el sistema

de distribución tienen un acceso más fácil. Requieren de más espacio, pero la entrada del aire puede abarcar toda la altura de la torre, la cual es por lo tanto de poca altura, reduciendo la altura de bombeo.

Sin embargo, la clasificación más importante es la que se basa en la forma de mover el aire a través de la torre.

De acuerdo con las clasificaciones anteriores existen cuatro tipos de torres de enfriamiento:

- a) Torres atmosféricas
- b) Torres de tiro natural
- c) Torres de tiro natural asistido
- d) Torres de tiro mecánico (forzado e inducido).

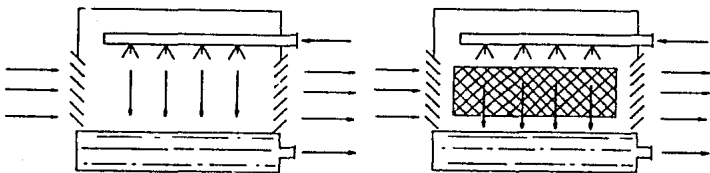
Torres atmosféricas. En este tipo de torres la pérdida de calor es gracias al movimiento natural del aire a través de la estructura.

La capacidad de enfriamiento de la torre varía de acuerdo con la temperatura del bulbo húmedo y la velocidad de viento dado, relacionados con la concentración de agua.

Estas torres de enfriamiento son de vidas largas con bajos costos de mantenimiento, no se produce recirculación del aire utilizado, se debe de localizar en un lugar despejado alto y estrecho dando

así gastos elevados de bombeo, la temperatura del agua varía de acuerdo con la velocidad del viento y su costo es casi tan alto como el de una torre con elementos mecánicos.

Existen las que llevan relleno y las que no. Las de relleno tienen un comportamiento mucho mejor que las que no lo tienen, pero en cualquier caso, las torres atmosféricas son prácticamente anticuadas y forman parte minoritaria en las torres que actualmente existen.

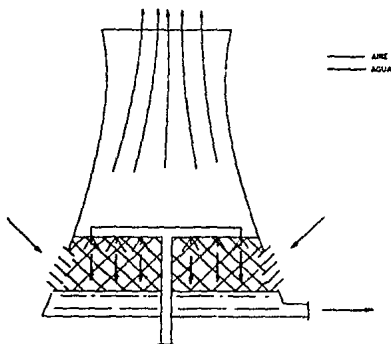


F.1.4 a) Sin relleno.

b) Con relleno.

Torres de tiro natural. Cuando el relleno se encierra en estructura de tipo de chimenea con las persianas de entrada del aire en su parte inferior, tenemos una torre de refrigeración de tiro natural, en la que el aire es inducido a través de la torre debido a la diferencia de densidades existentes entre el aire húmedo y caliente y el aire atmosférico. El relleno puede ser por goteo o de película.

Estas torres tienen bajos costos de mantenimiento, pero son inadecuadas para altas temperaturas del aire seco, ya que la temperatura de entrada del agua debe ser mayor que la temperatura seca del aire. Raramente se les aplica a sistemas de aire acondicionado y a plantas industriales debido a la fuerte inversión condicionada por la gran altura necesaria, pero se les aplica mucho en plantas térmicas.



F.1.5. Torre de Tiro Natural.

Torres de tiro natural mecánicamente asistido. Una manera de incrementar el desempeño de las torres de tiro natural consiste en asistirlas por medio de ventiladores de tiro forzado y van colocados en la parte inferior rodeando la torre.

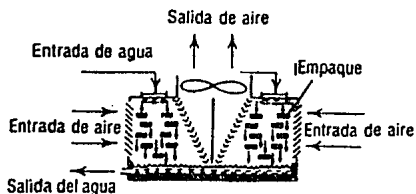
Otra variable de ésta es a base de torres troncocónicas y de alturas que oscilan entre los treinta y cuarenta metros, incluyendo también ventiladores de tiro forzado. Se vienen utilizando desde hace muchos años para capacidades pequeñas de refrigeración.

Estos sistemas participan en principio de las ventajas e inconvenientes señalados para las torres convencionales de tiro forzado, con la diferencia de que la altura es mayor y por tanto los efectos de recirculación quedan disminuidos. Este tipo de torres requieren mayor número de ventiladores por lo que el mantenimiento de éstas es mas caro.

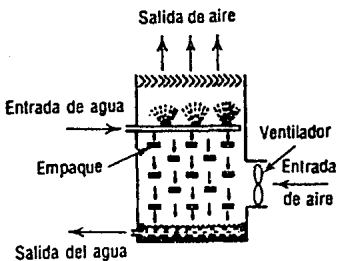
Torres de tiro mecánico. Las torres de este tipo son las más comunes en la actualidad y la gran mayoría son de tiro inducido, la preferencia de este tipo de torres ha sido muy pronunciada durante los últimos diez años, pero representan una transición lógica puesto que en su uso hay ventajas que exceden a otras.

En las torres de tiro forzado el aire entra a través de una abertura circular mediante un abanico y debido a ésto se debe suministrar una altura de torre y su volumen de aparente

inefectividad se usa como entrada de aire. La entrada de aire en este tipo de torres es relativamente pobre puesto que el aire debe de dar una vuelta de 90 grados a gran velocidad.



F.1.6 torre de tiro mecánico inducido.



F.1.7 Torre de tiro mecánico forzado.

Por otra parte, en las torres de tiro inducido el aire puede entrar a lo largo de una o más paredes de la torre y como resultado, la altura requerida de la torre para entrada de aire es pequeña.

En la torre de tiro forzado el aire se descarga a baja velocidad a través de una gran abertura en la parte superior de la torre.

En estas condiciones el aire posee una cabeza de velocidad pequeña y tiende a asentarse en la trayectoria de entrada del abanico.

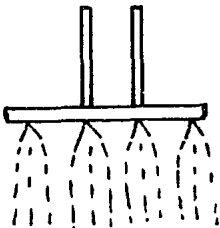
Esto significa que la sección de aire fresco se contamina con aire parcialmente saturado que ya ha pasado anteriormente por la torre. Cuando esto ocurre, se dice que hay una recirculación en la torre y reduce la capacidad de trabajo.

En las torres de tiro inducido el aire se descarga a través del abanico a alta velocidad, de manera que se proyecta para arriba con las corrientes naturales de aire evitando así su asentamiento posterior. Sin embargo, presentan caída de presión en la toma del abanico, lo que aumenta los requerimientos totales de energía, también las altas velocidades causan pérdidas por goteo, lo que representa un gran problema en la actualidad.

1.7 SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA

Distribución por gravedad. Este sistema es más utilizado para sistemas de torres de flujo cruzado. Su principal ventaja consiste en su poca altura de bombeo, lo cual conduce a bajos costos de operación.

La regulación de caudal por celda, necesaria para lograr una eficiencia máxima se lleva a cabo mediante una simple inspección visual y la consiguiente variación del nivel del agua en la balsa.



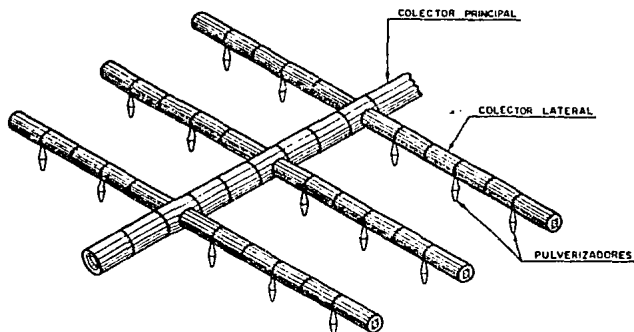
F.1.8 Sistema de distribución del agua por gravedad.

El mantenimiento de las balsas abiertas no ofrece problemas y puede ser realizado incluso con la torre en operación. Si el caudal de agua varía, basta cambiar las toberas para mantener en condiciones

adecuadas la distribución del agua.

Sistema por presión. La mayor parte de las torres de flujo en contra corriente se encuentran equipadas con sistemas de pulverización a presión con las toberas dirigidas hacia abajo.

Los problemas asociados con este sistema son principalmente por mantenimiento y por regulación del flujo del agua. No resulta fácil limpiar la suciedad acumulada en los ramales y los pulverizadores que, además, se encuentran por debajo de los eliminadores de gotas. También representa dificultades en la tarea de igualar el caudal de las diferentes celdas, lo cual es un requisito imprescindible para lograr un buen funcionamiento de la torre.



F.1.9 Sistema de distribución por presión.

La dificultad para mantener una regulación adecuada de la presión en este sistema presenta irregularidades importantes en los caudales de las diferentes celdas.

Existen dos tipos importantes de distribución de agua a presión, el sistema de distribución por tubería, que consta de un colector central del cual parten una serie de ramales laterales equidistantes y simétricos de tal forma que la red formada cubre la superficie de la torre repartiendo el agua de una forma homogénea.

También existe el sistema rotativo a presión que tiene un colector vertical central, con dos brazos horizontales que cubren diametralmente la planta de la torre, que debe ser necesariamente circular. El movimiento del brazo se produce como consecuencia del par de reacción generado por la salida de agua a presión a través de los pulverizadores similarmente al sistema de riego de un jardín.

1.8 RELLENO

El relleno de las torres tiene como función acelerar la disipación del calor, esto se consigue aumentando el tiempo de contacto entre el aire y el agua, favoreciendo la presencia de una amplia superficie húmeda mediante la creación de gotas o finas películas.

El material con el cual debe ser hecho el relleno deberá ser de

bajo costo y de fácil instalación. Además de conducir a altos niveles de transmisión de calor, debe ofrecer poca resistencia al paso del aire a lo largo de toda la vida de la torre, también hay que considerar que debe tener una alta resistencia al deterioro.

Los materiales que se emplean son madera de pino, diferentes tipos de plástico, asbesto-cemento en cartón, etc.

La vida media a pesar de los progresos en los métodos de tratamiento no supera en general en 20 años de servicio, sin embargo, en algunas plantas de nuestro país se tienen torres que sin mantenimiento periódico han durado mucho más.

Los rellenos de metal han sido utilizados en casos especiales en los que se requería una relación alta entre el área de contacto y el volumen, pero no son competitivos debido a sus altísimos costos.

El fibro cemento se utiliza principalmente en los rellenos laminares de torres industriales, especialmente en las de tiro natural; tiene muy buena resistencia y no es atacado por la materia orgánica. Entre sus inconvenientes puede citarse su elevado peso en relación al volumen y su elevada sensibilidad a las aguas ácidas y a los iones de sulfato.

Los plásticos son muy duraderos y su utilización va extendiéndose cada día más, se recomiendan para rellenos laminares en pequeñas

torres de series y para rellenos mixtos.

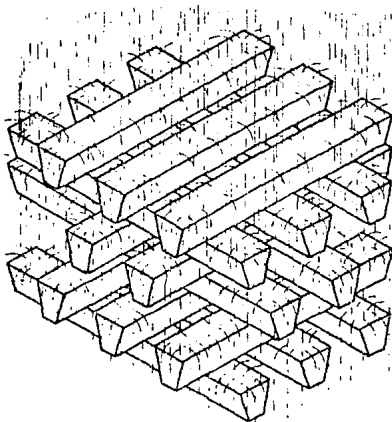
Existen diferentes sistemas para el relleno, de goteo, de película o mixto.

Rellenos de goteo. Aunque existen muchas disposiciones diferentes, el propósito básico consiste en generar pequeñas gotas de agua, en cuya superficie se verifica el proceso de evaporación.

Este efecto se logra mediante la caída del agua sobre una serie de pisos superpuestos de listones o rejillas, mientras el aire se mueve en sentido horizontal. El agua al caer, se fracciona en gotas más pequeñas rompiendo además aquellas de mayor diámetro que se hayan formado por unión de otras más pequeñas.

Uno de los requerimientos de este tipo de rellenos es la de una correcta nivelación de los listones, pues de otro modo el agua discurre a través de éstos, desequilibrándose la distribución de la cortina y perjudicando notablemente el rendimiento.

La altura del relleno es superior a la requerida en los sistemas laminares, lo cual obliga a utilizar eliminadores de gotas de alto rendimiento.



F.1.10 Relleno por goteo.

Relleno de película o laminar. Este tipo de relleno proporciona una mayor capacidad de rendimiento, para un mismo espacio ocupado, que el de gotéu, por lo que se ha impuesto progresivamente.

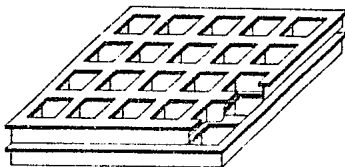
La eficiencia de este sistema depende de su capacidad para distribuir el agua en una fina película que fluye sobre grandes superficies, con objeto de proporcionar la máxima exposición del agua a la corriente del aire.

Como este tipo de relleno es más sensible a las irregularidades del caudal del aire y de la distribución del agua, el diseño de la torre debe garantizar su uniformidad a través de todo el relleno.



F.1.11 Relleno de película.

Relleno de tipo mixto. Los rellenos mixtos se basan en una pulverización por goteo, pero con formación de películas en las superficies laterales de los listones aumentando de esta forma el efecto conseguido por salpicadura.



F.1.12 Relleno tipo mixto.

1.9 DEFLECTORES DE AIRE

Se utilizan en las torres de tiro inducido para conducir el aire en forma eficiente y para prevenir las pérdidas de agua, debidas a la acción del viento.

Existen varios diseños en los que la inclinación de las paletas puede ser modificada a fin de adaptarse a las condiciones climatológicas existentes, pudiendo llegar a cerrarse por completo cuando pueda llegar a formarse hielo o el aire arrastre al agua.

1.10 ELIMINADORES DE GOTAS

La misión principal de estos componentes es el de retener las

pequeñas gotas arrastradas por el aire que abandona la torre. Básicamente todos los eliminadores actúan provocando cambios bruscos en la dirección de la corriente de aire.

La fuerza centrífuga disminuye las pérdidas del agua, evita posibles daños a equipos adyacentes a la torre y limita la formación de niebla.

1.11 CHIMENEAS

Al proteger a los ventiladores en torres de tipo inducido evitan la recirculación del aire, permiten una recuperación de energía cinética al introducirles un difusor en el lado de la descarga del aire húmedo. Un aumento gradual de la sección transversal al flujo consigue que la velocidad vaya descendiendo paulatinamente.

Estos difusores se utilizan principalmente en torres industriales.

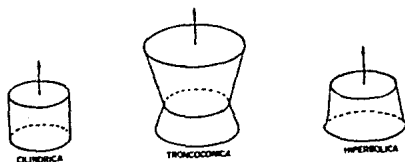
Existen tres tipos de chimeneas, la cilíndrica, troncocónica e hiperbólica.

El efecto de la chimenea es causado por la diferencia de densidades, que a su vez, son el resultado de la diferencia de temperaturas entre las dos columnas de gases. El efecto de tiro se debe a la diferencia entre la densidad del gas caliente contenido en el interior de la chimenea y la columna de aire en el exterior

de la misma y representa una presión estática idéntica en la parte superior de la chimenea.

El efecto de tiro varía de acuerdo con la altura de la chimenea. Cuando se presenta un flujo, partes de este efecto de tiro se usa para establecer la velocidad de los gases y para vencer la resistencia del sistema completo.

El funcionamiento de la chimenea puede ser favorable o adversamente afectado por factores externos como la velocidad del viento y las condiciones atmosféricas.



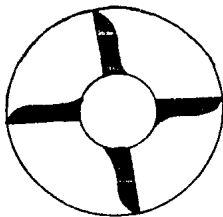
F.1.13 Tipos de chimeneas.

1.12 VENTILADORES

Una de las características mediante la cual se clasifican los ventiladores es la de la naturaleza del flujo que pasa a través de las aspas del rodete.

Existen rodetes de flujo axial, radial, transversal y mixto. Los ventiladores pueden ser centrífugos y axiales.

Los ventiladores centrífugos tienen varios tipos de aspas o álabes. Las aspas curvadas hacia adelante tienen su curvatura leve, de tal forma que tanto la punta como el talón apuntan el sentido de la rotación.



F.1.14 Ventiladores.

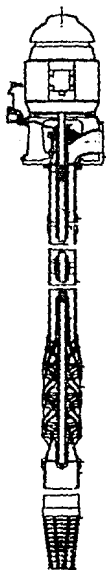
Los ventiladores axiales usan aspas con perfil aerodinámico o de espesor uniforme, la disposición de las aspas puede ser fija.

1.13 BOMBAS

Por lo regular se emplean bombas centrífugas para las torres de enfriamiento. Los sistemas de bombeo ocupan gran parte de la energía que utiliza la torre.

En una bomba centrífuga, el líquido es forzado a entrar por la presión atmosférica u otra presión, un conjunto de álabes rotatorios que constituye a un impulsor que descarga el líquido a una presión superior y a una velocidad más alta en su periferia.

Las bombas como uno de los sistemas más importantes en una torre, representan económicamente gran parte de ésta. El mantenimiento que éstas requieren es mayor que cualquier otro sistema.



F.1.15 BOMBA VERTICAL

1.14 MOTORES

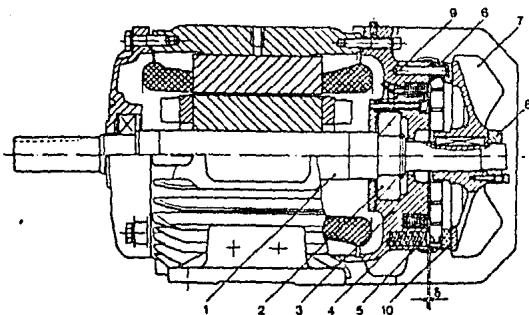
En las torres de tiro mecánico los motores para mover los ventiladores constituyen otro sistema importante que requiere de cuidado, operan en condiciones muy duras por estar en la intemperie. El colocar el motor fuera de la chimenea de la torre evita que éste, esté expuesto a altas humedades, además de facilitar el mantenimiento.

Los motores utilizados en este tipo de sistemas tienen un rango de 0.5 c.p hasta menores de 250 c.p para un voltaje de 220/440 Volts, 3 fases y 60 ciclos.

Los motores con potencia mayor a 50 c.p deberán de ser de arranque a tensión reducida.

Las partes principales de un motor son las siguientes:

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1 Eje del motor. | 6 Armadura. |
| 2 Balero. | 7 Ventilador. |
| 3 Porta cojinetes. | 8 Anillo roscado |
| 4 Bobina. | 9 Pernos. |
| 5 Resortes. | 10 Balata. |



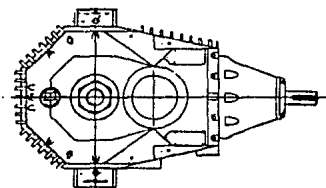
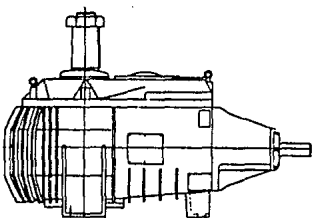
F.1.16 Motor eléctrico.

1.15 REDUCTORES

Los reductores también son parte importante en la torre ya que requieren de un mantenimiento que por lo regular es caro. El hecho de desmontar este equipo para repararlo y bajarlo de la torre es un proceso que tarda mucho tiempo, además de necesitar una grúa cuando el equipo es muy pesado.

Los reductores de velocidad pueden ser de varios tipos de engranes, espiral, helicoidal y sin fin.

Dependerá de la relación de velocidad del tipo de engranes que se utilizará y la vida de estos equipos depende principalmente de la vida de las chumaceras.



F.1.17 Reductor de velocidad.

CAPITULO 2

INSTRUMENTOS DE MEDICION

CAPITULO 2

INSTRUMENTOS Y METODOS DE MEDICION

Temperaturas del punto de rocío bulbo seco y bulbo húmedo. El valor de la temperatura del punto de rocío puede leerse en instrumentos diseñados para este fin, pero es más común determinar su temperatura en base a las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco.

Cuando la temperatura del aire se determina sin ninguna limitación, se considera siempre que es la temperatura de bulbo seco.

Cuando el bulbo de un termómetro es cubierto con un pábilo mojado con agua y éste es movido a través de un aire no saturado, el agua se evapora en proporción a la capacidad del aire para absorber la humedad. Esto da como resultado que la medición de esta temperatura sea menor que la temperatura de bulbo seco.

El objeto de determinar las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco es el de conocer las características exactas del aire por medio de cálculos o usando la llamada carta psicrométrica.

Existen aparatos con los que podemos determinar las características del aire llamados psicrómetros.

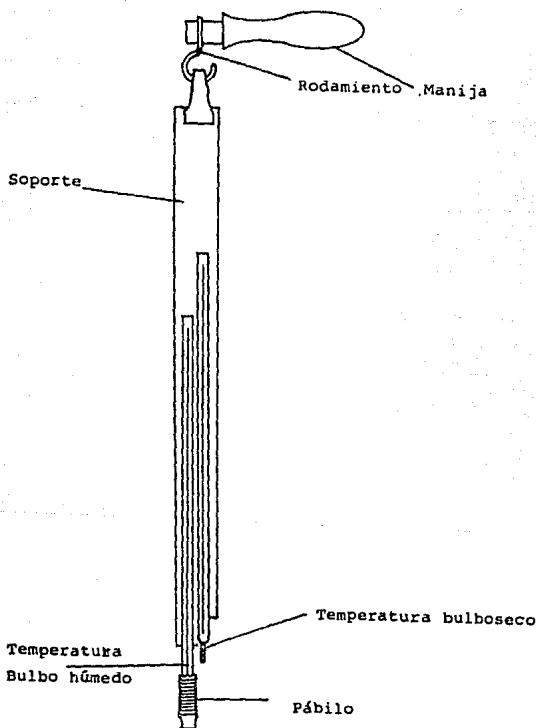
2.1 INSTRUMENTOS DE MEDICION DE TEMPERATURA DEL AIRE

Psicrómetro de onda. Consiste de dos termómetros colocados lado a lado sobre una misma placa, está diseñado para hacer girar completamente a través del aire. El termómetro de bulbo seco está descubierto y el de bulbo húmedo está cubierto por un pábilo, el cual es conservado con agua limpia.

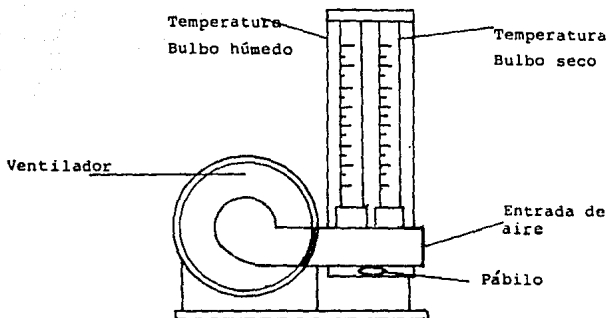
El instrumento se gira durante un determinado tiempo y el termómetro de bulbo húmedo llega a su equilibrio y se podrán leer fácilmente ambas temperaturas. Para que la temperatura de bulbo húmedo sea confiable, es necesario pasar el aire relativamente rápido a través del termómetro.

Psicrómetro de aspiración. Se usa un pequeño ventilador para impulsar el aire a través de los termómetros de bulbo húmedo y bulbo seco, obteniendo el equilibrio en el termómetro de bulbo húmedo. Si la temperatura del agua o el del pábilo es mayor o menor que la temperatura de bulbo húmedo éstas temperaturas no son válidas hasta tener un equilibrio.

En una superficie libre de agua extendida en una superficie de aire no saturado, si la temperatura del agua es mayor que la temperatura del punto de rocío dará lugar a que ocurra evaporación en la superficie.



F.2.1. Psicrómetro de onda.



F.2.2. Psicrómetro de aspiración.

2.2 VELOCIDAD DEL AIRE.

Tubo de Pitot. Consiste de dos tubos concéntricos sellados independientemente uno de otro. El tubo exterior tiene practicados pequeños orificios en su lado, a través de los cuales se transmite la presión estática al manómetro. La salida del tubo da de frente a la corriente del aire y en consecuencia se tienen los efectos de las señales de la presión desarrollada por la velocidad de la corriente, más la presión estática desarrollada en el ducto si los dos tubos se conectan a conductos opuestos de un manómetro, se produce un equilibrio de la presión estática que se tiene en cada tubo y el manómetro indicará sólo la presión equivalente de velocidad. La suma de velocidad y presión estática es conocida como la presión de impacto o presión total.

Se puede tener un rango de error usando el tubo de Pitot. Si se tiene un flujo en corrientes cruzadas, los orificios no deberán estar en ángulo recto con respecto a la corriente del flujo principal, y se pueden indicar presiones de impacto en el tubo de la presión estática. Se tendrán errores si la presión es pulsativa. La velocidad de la corriente de aire varía entre los diferentes puntos de la sección transversal del ducto de tal modo que deberán hacerse diferentes mediciones a fin de obtener una velocidad promedio.

Para lograr un promedio de velocidad aceptable es necesario dividir la sección transversal del ducto en áreas imaginarias del mismo tamaño y así determinar la presión de la velocidad.

En caso de que el ducto sea de forma circular, se acostumbra dividir la sección transversal en un área central y cuatro anillos concéntricos de igual área y se determina poniendo el tubo Pitot en el radio correspondiente a cada área.

El flujo se calculará multiplicando la velocidad promedio obtenida de las lecturas anteriores por el área total del ducto.

La localización de estos puntos en un ducto circular son: $0.316r$, $0.548r$, $0.707r$, $0.837r$ y $0.949r$.

Es más exacto considerar lecturas a cada lado de la línea haciendo un total de diez lecturas, conocido con el nombre de método de los diez puntos, los cuales se tienen en la sección transversal.

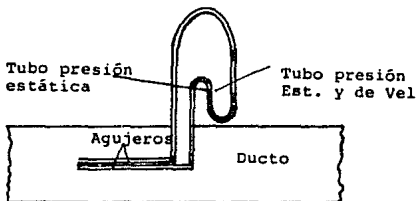
La velocidad del flujo en pies por segundo se calcula con la siguiente expresión: $V = 2.31 hv (dw+da)$.

Donde: V = Velocidad del flujo, en pies por segundo
 hv = Presión de velocidad obtenida en el manómetro en pulgadas
 dw = Masa específica del fluido que se usa para medir generalmente agua, en libras por pie

cúbico
da = Masa específica del aire o fluido en
movimiento en el ducto, en libras por pie
cúbico

Para agua a 68°F, $d_w = 62.31$ b/pie³ donde ($n=3$), la ecuación se reduce a:

$$V_m = 1096.5 (hv+da).$$



29

F.1.3 Tubo de Pitot.

2.3 INSTRUMENTOS DE MEDICION DEL AIRE

La cantidad de aire que pasa por un ducto puede medirse instalando orificios o toberas que desarrollan una diferencia de presión que

se puede medir.

Anemómetro. Este instrumento de medición puede usarse para determinar la velocidad del aire en ductos o rejillas de salida.

Un anemómetro contiene una rueda de viento en miniatura, la cual gira sobre rodamientos que tienen muy poca fricción, haciendo girar a una aguja colocada frente a una carátula calibrada para indicar el recorrido del aire en pies. Debe usarse con un cronómetro.

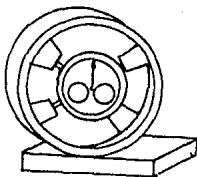
Este instrumento es una herramienta de comparación muy útil pero no se adapta a velocidades muy altas o para gran exactitud.

Un anemómetro debe calibrarse con frecuencia pues se va afectando por la condición de los rodamientos y además porque es fácil de deteriorarse.

Para medir el volumen del aire a través de las rejillas, la superficie de la rejilla deberá dividirse en áreas de 6 pulgadas cuadradas. El anemómetro que deberá usarse será de 4 pulgadas y deberá tenerse muy próximo a las rejillas con la carátula mirando hacia el operador. Se utilizará el promedio de cada una de las lecturas de cada una de las áreas consideradas.

Los anemómetros son empleados para medir flujo de aire a través de rejillas y trabajos ordinarios de ventilación donde las velocidades

son comparativamente bajas (no mayores de 800 pies/min).



F.2.4 Anemómetro.

Termómetro Kata. El termómetro Kata es esencialmente un termómetro de alcohol diseñado para determinar velocidades de aire muy bajas. El bulbo es calentado en agua hasta que el alcohol se expande y se eleva hacia un depósito arriba del tubo graduado. Se determina con un cronómetro el tiempo necesario para que el líquido se enfríe 5F y es este tiempo una medición para obtener el movimiento de aire.

Velómetro. El velómetro consta de un aspa o paleta equilibrada y sustentada en una cubierta, la paleta actúa como una aguja calibrada para leer directamente la velocidad del flujo de aire en pies por minuto sin necesidad de hacer medición del tiempo. Este

aparato puede colocarse directamente en la corriente de aire, lo que permite hacer lecturas muy exactas de velocidad en lugares inaccesibles para un anemómetro o tubo de Pitot, la aproximación ordinaria está dentro de un valor del 3%.

Anemómetros eléctricos. Los anemómetros eléctricos son muy útiles para medir corrientes de aire, trabajan de acuerdo con el principio de la variación en la resistencia eléctrica con la temperatura de un alambre caliente. La velocidad del aire que pasa a través del alambre depende de la rapidez de enfriamiento de este alambre.

Orificios para flujo de gas. En mediciones de flujos industriales se hace extenso uso de orificios para medir flujo de aire, vapor de agua y otros gases. El orificio se construye con cuidado en una placa que está diseñada para montarse entre dos bridas que se colocan en tubo o ducto. La mayoría de los orificios son construidos con el lado cortante instalado, para recibir el flujo y con la orilla biselada. Los orificios pueden dar datos confiables si son construidos con el debido cuidado.

2.4 CAUDAL

Un método práctico para calcular el caudal es el que se usa basándose en el balance térmico del condensador del sistema de refrigeración. Para calcular esto se tiene la siguiente ecuación:

$$L = (L_c * (i_e - i_s)) + (C (t_1 - t_2))$$

Donde:

L	=	Caudal de agua a la torre
L _c	=	Caudal de vapor entrante al condensador
i _e	=	Entalpía del vapor entrante al condensador
i _s	=	Entalpía de salida del vapor condensado
c	=	Calor específico del agua
t ₂	=	Temperatura del agua procedente de la torre
t ₁	=	Temperatura del agua hacia la torre

El caudal también se puede medir en base al área transversal de la tubería y con la velocidad del flujo utilizando un tubo de Pitot.

2.5 INSTRUMENTOS DE MEDICION DE CAUDAL

Se pueden utilizar tres instrumentos conocidos para medir el flujo de caudal: Placa de orificio, Tubo Vénturi o Tobera.

Si el elemento instalado en la torre para medir el caudal es una placa de orificio, un tubo Venturi o una tobera, la medida se lleva a cabo por un medidor de presión diferencial.

De estos tres elementos primarios, el tubo Vénturi es el que menor pérdida de carga provoca en la tubería, correspondiendo las peores

características a este sentido a la placa de orificio.

2.6 MEDIDAS DE TEMPERATURA DEL AGUA

La temperatura del agua caliente se realiza en el colector de subida de la torre. En caso de celdas múltiples con varios colectores de subida se tomará la temperatura en cada uno y se harán las mediciones.

La medida de temperatura de agua fría se hará en la descarga de las bombas de circulación siendo conveniente corregirla para tener en cuenta el calor añadido por la bomba. Esta operación deberá llevarse a cabo en varias ocasiones para asegurar una medida adecuada de la temperatura.

2.7 INSTRUMENTOS DE MEDICION DE TEMPERATURA DEL AGUA

Termómetro de mercurio. Se puede usar hasta unos 600°F; ampliándose este límite hasta 1000°F, y se llena el tubo capilar que queda sobre el mercurio con nitrógeno o dióxido de carbono a alta presión. El límite inferior de temperatura del termómetro de mercurio es -39°F. En muchas aplicaciones del termómetro de mercurio no se expone el vástago a la temperatura que se mide y por consiguiente se requiere una corrección.

Termómetro de resistencia. Cuenta con una ampolleta resistiva que

forma una rama de un puente de Wheatstone, un alambre con cursor forma la rama opuesta, un desbalanceo del circuito produce un flujo de corriente a través del amplificador que acciona el motor que a su vez impulsa el cursor a una nueva posición de equilibrio (termopar).

El bulbo de la resistencia consiste en una bobina de alambre de cobre o platino colocada dentro de un tubo metálico de protección.

El termistor tiene un coeficiente de resistencia a la temperatura muy grande y puede sustituirse en aplicaciones de poca exactitud.

2.8 ALTURA DE BOMBEO Y CALCULO DE LA BOMBA

El líquido en el lado de succión de una bomba como resultado de la presión ejercida sobre un líquido, si éste está expuesto a la atmósfera, esta presión será la atmosférica.

En las bombas de agua donde se arrastra una cantidad considerable de aire debe haber un depósito receptor en la línea de succión cerca de la bomba.

Cálculo de la bomba. Uno de los métodos para calcular el tipo de bomba es el conocido como Método de las cargas.

En este método determina las condiciones de presión que tiene un sistema, dividiendo éste en succión y descarga.

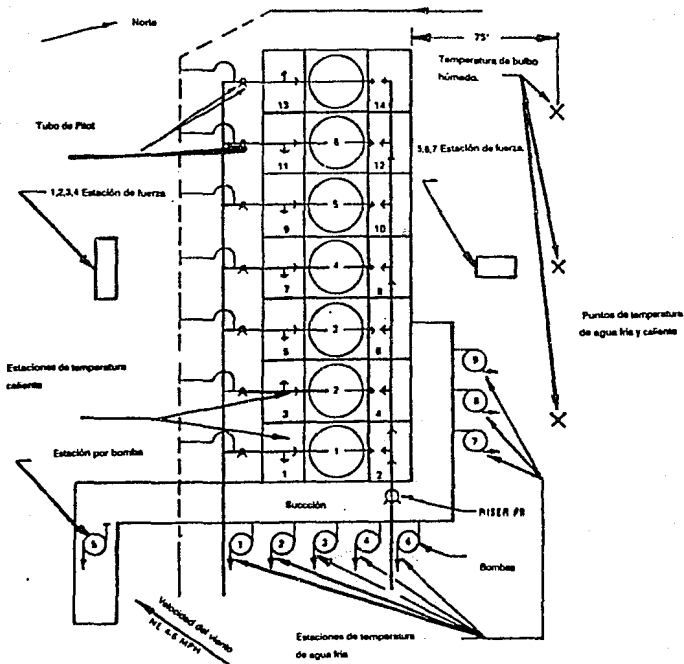
Utilizando los conceptos de carga en la bomba, carga de succión, descarga, carga diferencial de la bomba y sustituyendo igualdades, tenemos que la suma de la carga diferencial de presión más la carga diferencial estática, más la carga diferencial de velocidad y carga diferencial dinámica da como resultado la carga de la bomba (AH).

Una vez calculada la carga de la bomba se calcula la potencia teórica del equipo. En las bombas centrífugas se requiere tener sólo una presión en la succión con el fin de evitar cavitación.

Con el fin de evitar la cavitación, se calcula la carga neta de succión positiva que depende de las condiciones donde se encuentre la bomba y es la carga disponible.

La carga requerida depende del tipo de bomba, características físicas como el impulsor, gasto volumétrico y velocidad de giro.

Los puntos principales donde se deberán tomar la pruebas son los que se indican en la siguiente figura.



F.2.5 Puntos principales de pruebas.

CAPITULO 3

TRATAMIENTO DE AGUA

CAPITULO 3

TRATAMIENTO DE AGUA

En un gran número de industrias, es necesario producir vapor de agua para el desarrollo de diversos procesos.

Todas las aguas naturales contienen impurezas, las cuales dañan las operaciones de los equipos en contacto con éstas, estas impurezas pueden originarse en la tierra o en la atmósfera, las cuales se clasifican en forma amplia como materias orgánicas e inorgánicas.

La concentración de las impurezas se expresa en la relación de las partes en peso del elemento con millón de partes de agua (ppm). Esto equivale a multiplicar el porcentaje de concentración por 10.

Cuando la concentración es muy pequeña, como la concentración de gases, se utiliza partes por billón (ppb).

En la actualidad se utiliza mucho los gramos por galón transformándolo en la relación. Un gramo de galón es igual a 17.1 ppm.

Los sólidos que producen espuma contribuyen al mayor número de factores contaminantes y en consecuencia contaminan los procesos, además de afectar al ciclo cuando se tiene un cambio de

temperatura.

La razón fundamental del tratamiento de aguas es evitar los depósitos de lodos e incrustaciones que dan lugar a la corrosión de las superficies internas.

Las incrustaciones de todas las impurezas en zonas de grandes temperaturas retardan el flujo de calor y en consecuencia se presenta la elevación de la temperatura de los metales por donde fluye el agua. Esto puede dar lugar a fallas en los metales por sobrecalentamiento.

Sin una purificación del agua se tendría que dar mantenimiento constante a todos los equipos en contacto con el agua, lo cual sería muy caro económicamente hablando.

Uno de los efectos más nocivos para los equipos es la corrosión que se da por la presencia de ácidos o gases disueltos.

Corrosión. Se conoce a la corrosión como un ataque destructivo de los metales que puede ser de naturaleza química o electroquímica.

La corrosión química sólo se verifica en condiciones extraordinarias que comprenden un ambiente altamente corrosivo o una elevada temperatura o ambas cosas.

La corrosión electroquímica se evidencia más en el caso de los metales acoplados electricamente, como el cobre y el zinc sumergidos en agua.

El agua que se utiliza en las torres de enfriamiento tiene su principal contacto en las tuberías que son de acero y en las paletas de la torre.

El hierro y el acero se corroen prácticamente con la misma rapidez pero la distribución de la corrosión puede ser diferente en los dos.

Las superficies pulidas resisten la corrosión mucho mejor que las pastas. La diferencia en el acabado superficial puede tener una influencia mayor que las variaciones ordinarias que la composición química.

La presencia de cascarillas de laminación sobre la superficie da mayor motivo para la corrosión.

El equipo utilizado en las plantas generadoras de vapor en los que se incluyen las torres de enfriamiento sufre corrosión debido a un mecanismo electroquímico y puede afectarse por factores aceleradores y retardadores y medidas correctivas similares a las temperaturas de saturación por encima de presiones moderadamente bajas, predomina otro mecanismo en el cual el hierro elimina el

oxígeno del agua o vapor.

El óxido estable a las temperaturas de las calderas en un ambiente no oxidante es la magnetita, que forma una piel normal protectora en el acero subyacente.

La tendencia de un metal a disolverse en agua se conoce como presión de solución. Se mide por el potencial eléctrico sin corriente que tiene que ser aplicado para evitar toda acción cuando el metal está sumergido en una solución de una de sus sales a la concentración estándar o normalizada.

Esta cantidad de concentración estándar es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales dado en mol.

Aunque en la actualidad nunca se encuentra la concentración normalizada de las sales metálicas ni la ausencia completa de corrientes de polarización, se da la tendencia de los metales a la corrosión.

El electrolito es el factor dominante controlable ya que es la parte que se somete a la electrólisis.

La electrólisis, conocida como la descomposición de una sustancia por el paso de una corriente eléctrica, la cual tiene su parte positiva en los cátodos y la parte negativa en los ánodos, como

los metaloides y radicales de valencia negativa.

La dureza de las aguas es un factor que limita el uso de la misma en determinadas industrias. Las sales calcáreas más comunes presentes en el agua son el carbonato y el bicarbonato de calcio.

Dureza de las aguas. La dureza de las aguas se debe a la existencia de determinados cationes en solución, éstos reaccionan con determinadas sustancias formando, por ebullición, depósitos incrustantes en los recipientes.

Son varios los cationes que presenta esta propiedad aunque los que fundamentalmente se encuentra en el agua son el calcio y el magnesio.

Debido a la importancia que adquiere el contenido de calcio y magnesio, por las incrustaciones que estos provocan, es importante eliminarlos para ablandar el agua y hacerla útil para su uso.

Por lo general la dureza del agua se expresa en CaCO_3 o CaO , convirtiendo éstos a iones.

El ablandamiento de un agua se basa en la transformación de los productos solubles que son responsables de la dureza del agua en compuestos insolubles con el concurso de compuestos químicos.

Para realizar un proceso de ablandamiento se deben hacer las operaciones siguientes: Cálculo de las cantidades de productos químicos requeridos, mezcla rápida de las cantidades determinadas de los reactivos con el agua a tratar, floculación y sedimentación y por último, extracción del agua clarificada por filtración.

Un agua de alimentación debe endulzarse cuando se cumple que:

$$(A * Dt) \div 100 > Da$$

Donde: A = Tanto por ciento del agua de alimentación
Dt = Dureza total del agua bruta
Da = Dureza admisible del agua de alimentación

Para ablandar el agua también se conoce el proceso cal-sosa. En éste, la cal reacciona con los bicarbonatos de calcio y magnesio, obteniendo carbonato de calcio que forman un precipitado que puede separarse junto con los lodos. La sosa ash (carbonato sódico comercial) reacciona con los sulfatos de calcio, obteniéndose carbonatos de calcio que también forman precipitados, en ambas reacciones se forma sulfato de sodio, que es un compuesto soluble que no forma incrustaciones. Cuando en este proceso se eleva la temperatura hasta 120 grados centígrados se acelera la velocidad de reacción y se separan pequeñas cantidades de sílice.

Las reacciones químicas deben de llegar a un equilibrio, pero esto

es afectado por el factor tiempo, el grado de la mezcla y la separación de los productos obtenidos, da como resultado que el agua que se somete a un proceso de ablandamiento, una pequeña parte de las impurezas no reaccionan al tratamiento y quedan presentes en ellas.

El agua es usada para propósitos de enfriamiento no solo por sus características como refrigerante sino porque es relativamente barata.

Como quiera que sea todas las aguas industriales contienen sólidos disueltos, gases y materias suspendidas en cantidades que varían y que pueden ser la causa de problemas en la operación. Bicarbonatos y sulfatos de calcio, sodio y hierro son los más comunes de los sólidos disueltos. La cantidad de estos dependerá de la cantidad de estos en la tierra donde se encuentra el agua. Dióxido de carbono es el más común de los gases y las concentraciones más altas de este son encontradas en agua de posos y ríos en proceso de decadencia. Otro factor que se da en los sistemas que manejan agua es el crecimiento de organismos.

Las aguas naturales pueden ser afectadas también por los drenajes industriales cambiando el pH del agua. Un equipo operando en malas condiciones puede introducir una gran variedad de sustancias contaminantes como aceites, ácidos, alcalinos e hidrocarburos directamente en el agua de circulación.

Contaminantes en el aire como hidrocarburos, sulfatos y vapores de ácidos relacionados con el equipo en proceso y cenizas pueden introducirse en el sistema y disoverse en el agua de circulación.

Sin el debido control la presencia de cualquiera de estos materiales puede causar corrosión en las partes de metal, deterioración de la madera y pérdidas de las características térmicas del sistema de enfriamiento.

Para sistemas de enfriamiento pequeños el problema puede ser relativamente simple y puede consistir en una purga o un tratamiento químico muy pequeño.

Para sistemas de enfriamiento industriales donde las características del agua varían considerablemente, el agua deberá ser tratada bajo un análisis de laboratorio completo.

En escala la principal sustancia encontrada en el sistema de enfriamiento es el carbonato de calcio con 15 ppm y es formado por la descomposición de bicarbonato de calcio. La máxima cantidad de bicarbonato de calcio que se puede encontrar, depende de la temperatura y el dióxido de carbono que contiene el agua.

En la práctica se convierte una porción de bicarbonato de calcio a sulfato de calcio agregandole ácido sulfúrico al agua de circulación.

La concentración de sulfato de calcio no deberá exceder de 1200 ppm en orden de prevenir la formación de sulfato que es muy denso y muy difícil de remover.

La ecuación de Langelier puede ser usada para determinar la estabilidad de carbonato o la corrosión para una determinada temperatura cuando el contenido de sólidos disueltos de calcio, alcalinidad y pH son conocidos.

El índice de saturación obtenido de este valor es la diferencia entre el pH obtenido y el calculado de saturación con carbonato de calcio.

Cuando el índice de saturación es cero, el agua esta en equilibrio con sólidos de sulfato de calcio (expresado como CaCO_3) a esa temperatura, cuando el índice de saturación es mayor que cero el agua esta supersaturada de CaCO_3 , cuando es menor que cero se deberá disolver CaCO_3 y puede provocar corrosión.

La ecuación de Ryznar fue desarrollada para proveer una estrecha relación entre la predicción calculada y los resultados cuantitativos obtenidos en el campo.

El valor numérico obtenido de esta ecuación es conocido como índice de estabilidad. Un valor entre 6 y 7 indica que el agua esta balanceada, un valor menor que 6 esta en el area de la escala pero

un valor de 8 indica que hay corrosión.

Hay que enfatizar que estos índices son solo una obtención de la tendencia direccional de la fuerza del agua.

Los componentes de metal deberán ser revisados periódicamente para saber si el tratamiento está balanceado.

Cuando en las áreas de baja temperatura es evidente la corrosión se tendrá que utilizar un inhibidor para prevenir esto.

El índice es calculado con las siguientes fórmulas:

$$1.- \text{pHs} = (9.3 + A + B) - (C + D).$$

Donde :

pHs = valor de pH donde el agua está en equilibrio con sólidos de CaCO_3 .

A = sólidos totales en PPM.

B = temperatura en grados Fahrenheit.

C = dureza del calcio expresado en PPM CaCO_3 .

D = alcalinidad expresados como PPM CaCO_3 .

$$2.- \text{Índice de saturación } S = \text{pH}(\text{actual}) - \text{pHs}(\text{Langelier}).$$

$$3.- \text{Índice de estabilidad } I = 2\text{pH} - \text{pH}(\text{actual}) \text{ (Ryznar)}.$$

Estos dos índices pueden ser calculados por medio de la siguiente tabla que nos da los valores necesarios de A, B, C y D.

<u>A</u>		<u>C</u>		<u>D</u>		<u>B</u>	
<u>SOLIDOS</u>		<u>DUREZA</u>		<u>ALCALINIDAD</u>		<u>TEMPERATURA</u>	
<u>TOTALES</u>	<u>A</u>	<u>CALCIO</u>	<u>C</u>	<u>(PPM)</u>	<u>D</u>	<u>(F)</u>	<u>B</u>
50-300	0.1	10-11	0.6	10-11	1.0	32-34	2.6
400-1000	0.2	12-13	0.7	12-13	1.1	36-42	2.5
		14-17	0.8	14-17	1.2	44-48	2.4
		18-22	0.9	18-22	1.3	50-56	2.3
		23-27	1.0	23-27	1.4	58-62	2.2
		28-34	1.1	28-34	1.5	64-70	2.1
		35-43	1.2	35-43	1.6	72-80	2.0
		44-55	1.3	44-55	1.7	82-88	1.9
		56-69	1.4	56-69	1.8	90-98	1.8

PURGA. Las sales disueltas en el agua de circulación de la torre se concentran por evaporación y deberán ser removidas por medio de un buen sistema de purga.

El rango de purga necesario para dar un ciclo de concentración adecuado puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{Ciclos de concentración } X = (P_e + P_f + P_u) + (P_f + P_u).$$

Donde:

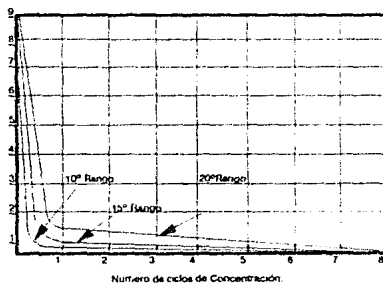
Pe=pérdidas por evaporación.

Pf=pérdidas por flujo.

Pu=purga.

Para mantener la madera en buen estado será necesario mantener un pH entre 7.0 y 7.5.

Purga



- 9 Máximo número de ciclos de concentración para 10° de Rango
- 13 Máximo número de ciclos de concentración para 15° de Rango
- 17 Máximo número de ciclos de concentración para 20° de Rango

F.3.1 Ciclos de concentración

CAPITULO 4

EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE TORRES DE TIRO MECANICO

CAPITULO 4
EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE
TORRES DE TIRO MECANICO

Existen varios métodos para evaluar el rendimiento de las torres de tiro mecánico entre los que podemos nombrar el método de la curva característica, el método de la curva de rendimiento, el método de la curva de garantía de enfriamiento, etc.

Método de la curva característica. Para la elaboración de este método es necesario tener una relación matemática o gráfica entre la característica de la torre (KaV/L) y el cociente de caudales de agua y aire así como el valor de diseño de L/G . Específicamente se deben tener todos los valores comprendidos entre el 20% por encima y por debajo del valor de diseño, así como el valor de la potencia consumida por el motor y las condiciones de diseño y la curva que liga KaV/L con L/G para el acercamiento al salto térmico y la temperatura húmeda de diseño.

Para determinar el valor L/G de la prueba a partir de los valores medidos del caudal de agua (L_p) y la potencia del motor (P_p) se tiene:

$$(L/G)_p = L_p + L_d * (P_d + P_p) * (L + G)_d$$

Sólo se deberán tomar en cuenta los valores de diseño de L y de P de las celdas que se encuentran en operación.

Para determinar el valor de KaV/L se tomarán en cuenta los valores medidos de la temperatura húmeda del agua caliente y del agua fría t_1 , t_2 respectivamente, obtenidos en las dos pruebas y el valor de L/G teniendo lo siguiente:

$$KaV/L = \frac{t_2}{t_1} dt + (h_w - h_a)$$

Donde :

K-Coeficiente de transferencia de calor.

a-Area de contacto .

V-Volumen de enfriamiento activo.

L-Velocidad del agua.

G-Velocidad del gas.

h_w -Entalpía del aire saturado. a la temperatura del agua.

h_a -Entalpía de la corriente del aire.

T_1 -Temperatura del agua ala entrada.

T_2 -Temperatura del agua ala salida.

La capacidad de la torre se determina a partir de la curva característica de diseño relacionado con los datos de la prueba marcándose el punto representativo en el gráfico.

La capacidad de la torre en tanto por ciento del caudal de agua de

diseño es la relación del L+G obtenido al L+G de diseño multiplicado por 100.

Método de la curva de rendimiento. Basándose en el resultado de las pruebas y con las curvas de rendimiento de la torre proporcionadas por el fabricante. Los resultados se expresan en términos de capacidad de enfriamiento de agua.

Se deberá contar con tres gráficas a las cuales se les aplicará el 90, 100 y 110% respectivamente, del caudal de diseño del agua de circulación. Cada gráfica tiene temperaturas húmedas en ordenadas con el salto térmico como parámetro. El punto de diseño debe estar señalado en la curva adecuada.

Con el objeto de determinar la capacidad de la torre, es preciso sintetizar las tres gráficas, pasando la primer gráfica basada en la temperatura húmeda de la prueba, relacionando el salto térmico, la temperatura del agua y el caudal del agua.

Se reduce todo a una sola curva basada en el salto térmico de la prueba, relacionando la temperatura de agua fría con el caudal de agua.

Se compara el caudal dado por la curva con el obtenido en la prueba, usando las siguientes ecuaciones:

$$L_p \text{ ajustado} = L_p (P_d + P_p)$$

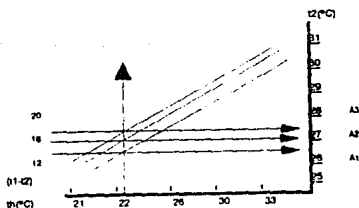
$$\% \text{ capacidad} = (L_p \text{ ajustado} + L \text{ curva}) * 100$$

Ejemplo: Para una cierta torre de tiro mecánico, se tienen las siguientes condiciones de diseño y de prueba:

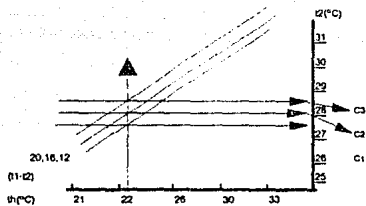
Parámetros	Diseño	Prueba
L (m' /h)	2.500	2.430
t1 (c)	50.0	43.2
t2 (c)	30.0	27.7
th (c)	25.9	22.5
P (kW)	180.0	155.0

n=3

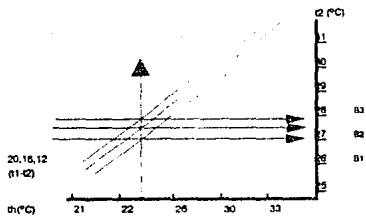
Con las curvas dadas por el fabricante de la torre, tenemos:



F.4.2 Curva para el 90% de caudal de diseño:

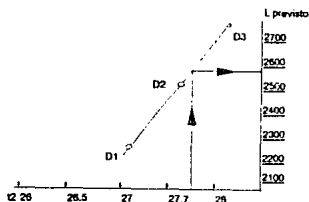


F.4.3 Curva para el 100% de caudal de diseño:



F.4.4 Curva para el 110% de caudal de diseño:

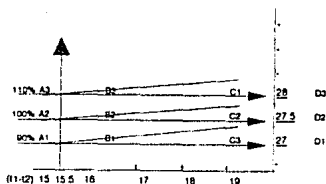
Posteriormente se saca la curva de la relación entre el salto térmico y la temperatura de agua fría para la temperatura húmeda de la prueba:



F.4.5. Curva de relación entre salto térmico y temperatura de agua fría.

A partir del valor t_h de prueba (22.5°C) se obtienen gráficamente nueve valores de S_2 , es decir, tres por cada curva, es decir, a cada valor de salto térmico que se tiene en cada una de las gráficas dadas por el fabricante, le corresponde un valor de A_1 , B_1 , C_1 . Estos valores se llevan a la figura anterior y se obtendrán los valores de caudal.

El cruce de estas tres líneas que se forman con los valores de A123, B123 y C123 con la diferencia de t_1 con t_2 (salto térmico), da como resultado la siguiente curva:



F.4.6 Curva resultante.

Mediante la intersección de la vertical correspondiente a un salto térmico de 15.5°C con las tres líneas de la figura 4.5, se obtienen para cada porcentaje de caudal los correspondientes valores de la temperatura de salida (t_2).

Llevando estos puntos a la figura 4.6 relacionando estos valores con el caudal, a partir del valor de 52 de la prueba (27.7°C) puede obtenerse gráficamente el caudal previsto:

$$L \text{ previsto} = 2.590$$

El l_p ajustado se obtiene a partir del caudal de la prueba $L_p = 2.430$.

$$L_p \text{ ajustado} = L_p * (P_d + P_p) = 2.430 * (180 + 155) = 2.554 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Por lo tanto, la capacidad de la torre es:

$$\text{Capacidad de la torre} = (2.554 + 2.590) * 100 = 98.6\%$$

Con lo que podemos decir que la torre está trabajando poco menos que su capacidad total.

Método de la curva de garantía de la torre. Este método trata de evaluar el comportamiento de las torres de tiro mecánico, a partir de los resultados de la prueba, basándose en la curva de garantía de enfriamiento de la torre proporcionada por el fabricante, los resultados como en todos los métodos se expresan en términos de enfriamiento de agua.

El fabricante debe garantizar que para ciertas condiciones atmosféricas y para el salto térmico diseñado, se debe tener una temperatura de salida 52°F definida para un caudal especificado.

Como hemos observado anteriormente, generalmente los resultados de las pruebas no corresponden con los valores de diseño. La temperatura de salida no debe de ser considerada solamente con un

solo punto sino también con una curva que nos relacione al aire, esta curva se le denomina curva de garantía de enfriamiento.

Se debe de contar con las curvas de corrección de la temperatura de agua fría en función de la variación de caudal y salto térmico y la curva de corrección por desviación de la potencia.

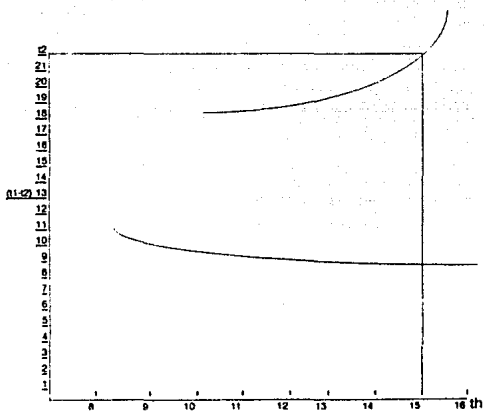
Una vez obtenidas éstas, la capacidad de la torre se obtiene a partir de las medidas obtenidas en la prueba y el valor teórico corregido de la temperatura de agua fría (t_{2u}).

La capacidad al final de la prueba se obtiene mediante el cociente del salto térmico medido y salto térmico teórico corregido.

Ejemplo: Para una torre de tiro mecánico se tienen las siguientes condiciones de diseño y de prueba:

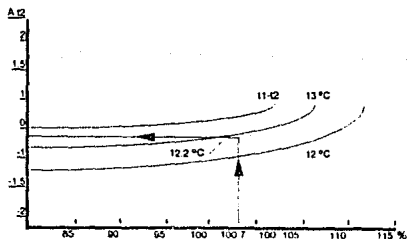
Parámetros	Diseño	Prueba
L (m ³ /h)	2.800	2.820
t1 (°C)	35.0	37.3
t2 (°C)	22.0	25.1
th (°C)	15.0	13.9
P (kW)	250	242

Con la curva de garantía dada por el fabricante, tenemos:



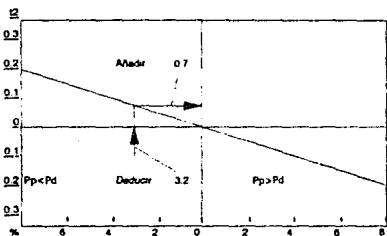
F.4.7 Curva de garantía.

Curva de corrección por desviaciones en el caudal de agua y el salto térmico:



F.4.8. Desviaciones en el caudal y el salto térmico.

Curva de corrección por desviación de la potencia absorbida:



F.4.9. Desviación de la potencia absorbida.

A partir de la figura 4.7, obtenemos el valor de t_{2u} sin corregir para la temperatura húmeda de la prueba (13.9°C):

$$t'_{2u} = 21.2^{\circ}\text{C}$$

El caudal de diseño es el tanto por ciento en relación entre el caudal de diseño y el de prueba:

$$(L_p + L_d) * 100 = (2.820 + 2.800) * 100 = 100.7\%$$

Este valor llevado a la figura 4.8 junto con el valor de la prueba de $t_1 - t_2 = 37.3 - 25.1 = 12.2^{\circ}\text{C}$, nos da la corrección:

$$At_2' = -0.41^{\circ}\text{C} = -0.4^{\circ}\text{C}$$

La potencia absorbida por el motor en la prueba (P_p), es, en % de la potencia de diseño P_d :

$$(P_p / P_d) * 100 = (242 + 250) * 100 = 96.8\%$$

P_p es 3.2 menor que P_d , con este valor se calcula otra corrección de t'_{2u} en la figura 4.9:

$$At''_{2u} = + 0.7 = 0.1^{\circ}\text{C}$$

Teniendo entonces:

$$t_{2u} = t'_{2u} + At_2' + At''_{2u} = 21.2 - 0.4 + 0.1 = 20.9^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto, la capacidad de operación = $(t_1 - t_2) \div (t_2 - t_{2u}) * (100)$
 $= (37.3 - 25.1) \div (37.3 - 20.9) * (100) = 75.8\%$

Por lo que se llega a la conclusión que la torre se encuentra muy por debajo de su capacidad de diseño.

Los códigos que rigen los conceptos que se mostrarán en este capítulo son el código ASME y CTI. (Evaluación del rendimiento por comparación de datos de prueba con curvas del fabricante).
Ministerio de industria y energía, Secretaría general de la energía y recursos minerales.

CAPITULO 5

MANTENIMIENTO

CAPITULO 5

MANTENIMIENTO

El mantenimiento está determinado por la confiabilidad que se expresa como la consistencia, el grado en que una pieza del equipo o una operación cumple con su función.

Mantener información actualizada del estado físico total de una torre de enfriamiento y de sus instalaciones complementarias puede considerarse como uno de los objetivos más importantes en el mantenimiento de un equipo.

El hacer mantenimiento a una torre de enfriamiento nos da una fuente de información para conocer la confiabilidad y eficiencia operacional.

Es necesaria información para reportes de trabajos de mantenimiento y mejoras a las instalaciones de la torre.

Otro de los puntos importantes en una torre de enfriamiento es tender a optimizar la operación eficiente y segura de la torre.

En el capítulo anterior se muestran algunos métodos muy prácticos de la forma en que se mide el rendimiento de una torre de

enfriamiento. Estos métodos nos llevan al resultado de un buen o mal funcionamiento de una torre de enfriamiento.

Si una torre de enfriamiento está funcionando mal, puede ser por mala operación, por falta de mantenimiento de alguno de los equipos o por no cumplir con las garantías dadas por el fabricante.

Los métodos para saber el rendimiento de una torre de enfriamiento están basados en pruebas realizadas en campo y éstas pueden ser una parte importante para la realización del mantenimiento de una torre.

5.1 METODOLOGIA DEL MANTENIMIENTO EN UNA TORRE DE TIRO MECANICO

El mantenimiento en una torre de enfriamiento es enorme, cuenta con una gran cantidad de equipo.

Dividimos el mantenimiento en pruebas de rendimiento de una torre e inspección de la torre.

Para saber si una torre de enfriamiento está funcionando bien, primero haremos las pruebas de rendimiento.

Pruebas de rendimiento. Las pruebas de rendimiento tratan de evaluar el comportamiento de una torre de enfriamiento con el fin de compararlo con sus especificaciones de diseño para su buen funcionamiento.

La prueba deberá llevarse a cabo dentro de las limitaciones regidas por el código ASME:

- a) La velocidad del viento no superará los 5m/s.
- b) No deberán excederse las siguientes variaciones respecto de las condiciones de diseño:

Temperatura húmeda	+ -5°C
Temperatura seca	+ -10°C
Salto térmico	+ -20%
Caudal de agua	+ -10%

Las tolerancias para que la prueba sea válida. Las variaciones de las condiciones de operación a lo largo de la prueba deberán de mantenerse dentro de los siguientes límites:

Caudal de agua	5%
Calor total	5%
Salto térmico	5%
Temperatura húmeda	1°C por hora
Temperatura seca	3°C por hora

Una vez alcanzadas las condiciones de equilibrio, la duración de la prueba no será inferior a una hora.

La lectura deberá ser tomada a intervalos regulares y registrada con las unidades y la precisión decimal indicada en el cuadro siguiente:

	Número mínimo de lecturas por hora	Unidad	Precisión
Temperatura húmeda	6	°c	0.1
Temperatura seca	6	°c	0.1
Temperatura agua fría	6	°c	0.1
Temperatura agua caliente	6	°c	0.1
Caudal de agua circulando	3	m ³ /h	1
Altura de bombeo de T.	1	m	0.1
Potencia motor ventilador	1	kw	0.1
Velocidad viento	3	m/s	1

Ejemplo: En una torre de enfriamiento de tiro inducido se han obtenido, durante tres horas de toma de datos, las lecturas indicadas en el cuadro siguiente:

Hora	th	ts	t1	t2	Lp	u	Pp	t1-t2
12h	13.3	17.9	39.5	24.7	2.42	7.2	151.2	14.8
12h 10'	13.3	18.0	39.5	24.8	2.42	---	---	14.7
12h 20'	13.5	18.2	39.6	24.8	2.42	7.0	151.2	14.8
12h 30'	13.6	18.2	39.6	25.0	2.42	---	---	14.6
12h 40'	13.7	18.3	39.7	24.9	2.42	4.3	151.2	14.8
12h 50'	13.7	18.4	39.8	24.8	2.42	---	---	14.8
13h	13.8	18.5	39.8	24.9	2.42	3.2	151.2	14.8
13h 10'	13.9	18.5	39.9	25.1	2.42	---	---	14.7
13h 20'	13.9	18.5	40.1	25.3	2.42	4.2	151.2	14.5
13h 30'	14.0	18.6	40.0	25.3	2.42	---	---	14.6
13h 40'	14.0	18.6	40.0	25.5	2.42	2.1	151.2	14.6
13h 50'	14.1	18.7	40.0	25.5	2.42	---	---	14.5
14h	14.1	18.7	39.9	25.4	2.42	3.2	151.2	14.6
14h 10'	14.1	18.8	40.1	25.4	2.42	---	---	14.6
14h 20'	14.2	18.9	40.1	25.4	2.42	3.1	151.2	14.5
14h 30'	14.2	19.0	40.1	25.7	2.42	---	---	14.4
14h 40'	14.2	19.0	40.1	25.6	2.42	2.0	151.2	14.5
14h 50'	14.3	19.0	40.3	25.7	2.42	---	---	14.6
15h	14.3	19.1	40.1	25.7	2.42	4.2	151.2	14.6

A partir de los valores del cuadro, es preciso seleccionar al menos una hora en que se cumplan las tolerancias señaladas.

Se puede observar que hasta las 12h 40' no se puede considerar que ha comenzado la prueba, debido a que la velocidad del viento supera el máximo permitido. Tanto las temperaturas húmeda y seca, como el salto térmico y el caudal de agua se mantienen en todas las lecturas dentro de los límites especificados respecto al diseño que son:

$$L_p = 2.500 + -10\% \quad \text{de } 2.250 \text{ a } 2.750 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$t_1 - t_2 = 15 + -20\% \quad \text{de } 12 \text{ a } 18 \text{ (}^\circ\text{c)}$$

$$t_h = 12 + -5c \quad \text{de } 7 \text{ a } 17 \text{ (}^\circ\text{c)}$$

$$t_s = 20 + -10c \quad \text{de } 10 \text{ a } 30 \text{ (}^\circ\text{c)}$$

Si alguna de las lecturas estuviese fuera de estos intervalos, la hora mínima de duración no podría comprender el momento en que se realizó esa lectura. Podría darse el caso en que las tres horas de toma de datos no hubiese una sola hora en que cumplierse todas las tolerancias, en cuyo caso sería preciso llevar a cabo una segunda prueba en otras condiciones.

El caudal no varía, con lo cual se cumple perfectamente la tolerancia.

El salto térmico varía entre 14.5'c y 14.82'c, es decir, 0.3'c de

variación máxima y como el 5% de 14.5 es 0.725, se encuentra dentro de la tolerancia.

Como el calor total transmitido es proporcional al producto del caudal por el salto térmico y en este caso el caudal es constante, su variación será igual a la del salto térmico, por lo que también cumple con la tolerancia.

Si el caudal variase sería preciso encontrar los valores mínimo y máximo del producto del caudal por el salto térmico en cada medida y comprobar que la variación no era superior al 5% de dichos productos.

La variación de la temperatura húmeda va de 13.8°C a 14.1°C, es decir, de 0.3°C, el límite es de 1°C en una hora, está también dentro de la tolerancia.

La temperatura seca varía de 18.5 a 18.7 estando por debajo de la variación de 3°C señalado como tolerancia.

En caso de que en alguno de los conceptos anteriores se hubiese sobrepasado la tolerancia máxima, habría que tomar otro intervalo de una hora en el que se cumplieren las tolerancias.

Por lo tanto, los valores de la prueba son:

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

th = 14.0°C
ts = 18.6°C
t1 = 39.9°C
t2 = 25.3°C
Lp = 2.42 m³/h
Pp = 151.2 kW
t1 - t2 = 14.6°C

Ahora que se tienen los valores de la prueba y con los valores dados por el fabricante, se puede calcular el rendimiento de la torre de refrigeración.

Propuesta de mantenimiento. Consideraremos el mantenimiento preventivo como principal sistema, procurando al mínimo el mantenimiento de tipo correctivo.

Para dar mantenimiento a una torre de refrigeración se seguirán los siguientes pasos:

- 1) El primer paso que se debe dar es calcular el rendimiento de la torre, para lo cual se deben hacer las pruebas previamente dichas. Para hacer estas pruebas, es necesario equipo especial para lo cual se contará con una solicitud de prueba de rendimiento.

DIRECCION DE MANTENIMIENTO

Prueba de rendimiento

Nombre del solicitante: _____

E q u i p o

Escriba SI / NO

Placa de orificio

Tubo de Pitot

Tubo de Vénturi

Anemómetro

Termómetro de mercurio

Termómetro de resistencia

Velómetro

Wattímetro

Fecha _____ Autorizó _____

Para realizar las pruebas de rendimiento es necesario tener una hoja de toma de datos, se propone la siguiente:

DIRECCION DE MANTENIMIENTO

Toma de datos

Nombre _____

Valores de la prueba

Hora	th	ts	t1	t2	Lp	u	Pp	t1-t2
------	----	----	----	----	----	---	----	-------

Valores de prueba:

th =

ts =

t1 =

t2 =

Lp =

Pp =

t1 - t2 =

Fecha _____

Autorizó _____

- 2) Inspección de la torre. Una vez realizada la prueba de rendimiento y si ésta resulta positiva, se procederá a la realización de una inspección de la torre.

Esta se deberá realizar con la participación conjunta de personal de operación y mantenimiento.

Al final de ésta, se deberán generar las solicitudes de trabajo correspondientes.

DIRECCION DE MANTENIMIENTO
Inspección exteriores

Nombre _____

Descripción

Condición

Paredes de la torre

Duelas

Crecimiento biológico

Entradas de aire

Escaleras y barandales

Piso superior

Chimeneas

Alumbrado

Caseta de operación

Fecha _____

Autorizó _____

Posteriormente se hace un estudio de los equipos con que cuenta la torre, como analizar si faltan cubre coples en las bombas, si faltan copas de lubricación, si hay fugas en los sellos mecánicos, si hay ruidos anormales o vibra mucho alguno de los motores, reductores, bombas o ventiladores, si hay un equipo fuera de servicio, si existen fugas de productos por válvulas, bridas o tubería, si presenta corrosión alguno de los equipos, si se encuentra en buen estado el desconectador por alta tensión así como

el transformador, si ésta en buen estado el centro de control de motores y todos los equipos de seguridad.

Esto se lleva a cabo por medio de una inspección general en donde se dará el informe de la siguiente manera:

DIRECCION DE MANTENIMIENTO

Inspección general

Nombre _____

Observaciones generales: _____

Fecha _____

Autorizo _____

Después de saber cuáles son las causas del mal funcionamiento de la torre o de saber cuál equipo está funcionando mal y porqué, se procede a hacer el trabajo, pero es necesario llenar una solicitud de trabajo, la cual tiene como objeto la seguridad en la planta.

Esto, además de ser un requisito, se implementa con el fin de evitar en algún momento accidentes dentro de la planta, en los cuales la empresa pueda salir involucrada legalmente.

Como en toda planta, debe de existir un libro de Comisión Mixta de Seguridad con el cual se revisa y se checa la seguridad de la empresa y de los trabajadores y que está formada por personas que nombra la misma empresa y el sindicato, controlada por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Es por ésto que para realizar cualquier trabajo de importancia se haga por medio de una solicitud autorizada, como la siguiente:

DIRECCION DE MANTENIMIENTO
Solicitud de trabajo

Nombre del solicitante _____
Lugar _____

Descripción del trabajo: _____

Ordinario ___ Urgente ___ Razón _____
Fecha _____

Análisis de requisitos

Escriba SI/NO

1. Debe estar fuera de operación el equipo?
2. Debe estar depresionado y purgado?
3. Es necesario aislarlo?
Válvulas _____ Juntas ciegas _____
4. Se requiere lavado vaporizado del equipo?
5. Pudo quedar producto inflamable?
6. Deben suspenderse trabajos adyacentes?
7. Hay suficiente ventilación?
8. El equipo eléctrico debe de estar desenergizado?
9. Los interruptores deben de estar abiertos?
10. Se va a trabajar en circuito de alta tensión?
11. Debe de ponerse a tierra y en corto el equipo?
12. Se requiere de ropa especial?
13. SE REGUIEREN PRUEBAS DE GAS?
14. PROTECCION CONTRA INCENDIO?

Está Usted seguro de saber los riesgos que implica el trabajo y de que el personal que lo va a ejecutar tenga un claro entendimiento de las prácticas de seguridad?. (Reglamento de Seguridad e Higiene, Capitulo 1 Artículo 7). SI ___ NO ___

Hizo Usted las recomendaciones adecuadas al personal?
SI ___ NO ___

Otras recomendaciones: _____

Responsable _____ Autorizó _____ Firma _____

Abarcando lo anterior, se debe contar con una identificación correcta de piezas de equipos de acuerdo a catálogos de los mismos, teniendo actualizada la libreta de refacciones.

También se debe contar con una programación de tiempos reales de acuerdo con la ejecución correcta de operaciones de mantenimiento.

CAPITULO 6

OPERACION

CAPITULO 6

OPERACION

Una alta precisión es necesaria cuando se desarrolla una tabla para seleccionar una torre de enfriamiento.

Muchos problemas de procedimiento con operación o requerimientos de aplicación, no son más que una aproximación razonable que consiste en desarrollar la habilidad de operación a través de la experiencia. Muchos de estos problemas caen en una clase general y son resueltos en base a principios básicos lógicos.

CARGA DE CALOR Y RANGO DE ENFRIAMIENTO

Una torre de enfriamiento es un intercambiador de calor que disipa una determinada carga de calor, fuera de un rango de enfriamiento.

La carga de calor determina el aumento de temperatura en un circuito exterior y la torre de enfriamiento llega a un equilibrio cuando el rango de enfriamiento es igual al aumento de temperatura.

El tamaño de la torre determina el nivel de temperatura, con el cual la carga de calor es disipada a la atmósfera.

Capacidad. La capacidad de la torre es determinada en términos de

acercamiento a la temperatura de bulbo húmedo.

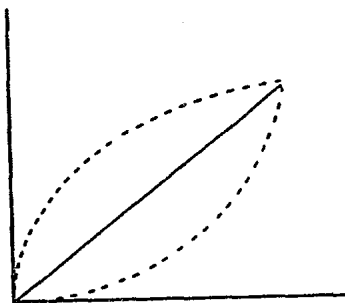
El acercamiento y el flujo de agua están representados en la siguiente gráfica por el punto.

En la gráfica, el flujo de agua decrece constantemente, la temperatura de bulbo húmedo y el flujo de aire tienen como límite la temperatura del agua fría.

La curva de acercamiento sigue desde A a cero con una pequeña desviación de la línea recta.

El tamaño de esta desviación disminuye con el acercamiento. El acercamiento no varía más de 20 grados y los resultados son despreciables respecto a la línea recta.

$$A = L$$



F.1.6 CARGA DE CALOR Y RANGO DE ENFRIAMIENTO.

VARIACION DEL FLUJO DE AGUA

Ejemplo: Teniendo una torre de enfriamiento con un 100% de flujo de agua y con acercamiento de 10 grados, el flujo de agua varía con un acercamiento como se muestra en la siguiente tabla.

Si 12 grados de acercamiento son aceptables, el incremento de agua sobre la torre de enfriamiento podrá aumentarse 20% a condiciones constantes, y éste podrá disminuir constantemente a 20% con un acercamiento de 8 grados.

Flujo de agua y longitud en función del acercamiento

Acercamiento	% Flujo de agua	% Longitud
12	120	83.3
10	100	100
8	80	125
6	60	167
4	40	250
2	20	500
1	10	1000
0	0	

Si el incremento de agua es constante, la longitud de la torre varía inversamente como varía en la tabla.

La longitud podrá ser reducida 16.7 con 12 grados de acercamiento pero aumentará 25% con 8 grados de acercamiento.

VARIACION DEL FLUJO DE AIRE

En la operación usual de la torre de enfriamiento la rapidez de evaporación del agua es fijada en esencia por la rapidez de remoción de calor sensible del agua y las pérdidas de evaporación pueden estimarse en forma aproximadamente como 0.1% del flujo de agua en circulación por cada grado Fahrenheit del nivel de enfriamiento.

Las pérdidas por arrastre en la torre de enfriamiento se deben a las gotas de agua suspendidas que se descargan con el aire de salida. La función de los eliminadores de arrastre es limitar el número de gotas que escapan a un nivel aceptable. La mayor parte de pérdidas por arrastre están determinadas en las condiciones de diseño.

Las torres de enfriamiento se diseñan para el eliminadores de arrastre inferiores a 650ft/min y pérdidas de arrastre de menos del 1% del gasto del agua de circulación.

El desfogue de la torre de enfriamiento es una parte del agua de circulación que se descarga del sistema para evitar la acumulación excesiva de sólidos, la concentración máxima de sólidos puede tolerarse y se determina en los diversos componentes del sistema de enfriamiento como son bombas, tuberías, etc.

$$b = (e + (r-1)) - d$$

Donde: b = gasto de desfogue
 e = gasto de pérdida por evaporación
 r = razón de los sólidos
 d = pérdidas por arrastre

Para mantener una razón determinada de concentración de sólidos se debe agregar suficiente agua al sistema de agua de recirculación para reponer las pérdidas por evaporación, desfogue, arrastre y otras pérdidas.

El gasto requerido de reposición puede calcularse por medio de estas ecuaciones:

$$M = b + 3 + d$$

$$M = r+(r-1) * (e)$$

Donde: M = gasto de reposición
 b = gasto de desfogue
 e = gasto de pérdidas de evaporación
 d = pérdida de arrastre

r = razón de sólidos

El mantenimiento adecuado del equipo mecánico y del sistema de distribución asegurará la operación de la torre de enfriamiento por un largo periodo de tiempo.

La operación con éxito de las torres de enfriamiento de tiro inducido durante las temporadas extremadamente frías presenta con mucha frecuencia un problema para los operadores de la planta. El hielo tiende a formarse en las persianas de entrada del aire y el entramado interno inmediatamente adyacente a las persianas. Esto se debe a que el agua en contacto con la corriente del aire, salpica intermitentemente los tableros de las persianas, donde se congela y finalmente el hielo llega hasta el punto de restringir el flujo de aire. También el subenfriamiento se obtiene en el área de entramado interno inmediatamente adyacente a las persianas, donde se acumulará el hielo durante los periodos de baja carga o de alta velocidad del aire.

Deben hacerse todos los esfuerzos por mantener la cantidad de agua especificada por el fabricante y la carga de calor por celda. En caso de reducción en la carga de calor en la planta, es muy importante que la cantidad de agua se reduzca proporcionalmente y que las celdas se cierren para mantener la cantidad de diseño por celda. Esto es, se cierran las válvulas de elevación en las celdas ociosas. Además, la temperatura del agua en el estanque debe

mantenerse a un nivel razonable, como a 60 ó 70 grados F. y reducir el volumen de aire que entra a la torre.

Cuando mayor sea el aire movido por los ventiladores, mayor será la cantidad de hielo que se forme, por ésto es que se recomienda que los motores de los ventiladores en una torre de enfriamiento de celdas múltiples den de la velocidad plena a velocidad media, para mantener la temperatura del agua del estanque.

Cuando los ventiladores no están operando se provoca una inversión del flujo de aire tendiendo a fundir el hielo que se forme en el entramado y las persianas. En una torre con celdas múltiples, los ventiladores deben permanecer apagados durante 12 horas y ponerlos a funcionar después a velocidad baja.

Si ésto no es suficiente para controlar el hielo en la torre, se propone lo siguiente:

- a) Eliminar el hielo de las persianas con una manguera de vapor. Es importante indicar que si se permite la formación de hielo en el entramado mayor al de diseño, se puede desplomar al momento del deshielo.

- b) Deben quitarse los tableros intermedios de persianas para reducir así la cantidad de hielo formado entre esas hojas de persianas y permitir la salida de suministro ahogado de aire.

- c) Poner conmutadores de inversión en los controles de los motores para el funcionamiento de los motores en reversa. Esta operación deberá hacerse una vez al día.

CAPITULO 7

EJEMPLO PRACTICO

CAPITULO 7
EJEMPLO PRACTICO

En la práctica es indispensable mantener a los equipos en buen estado con el propósito de disminuir los costos que ocasionan las fallas generadas muchas veces por la poca atención que se le da a ciertos equipos.

Es muy común encontrar en nuestro país el darle mantenimiento o atención solamente a los equipos que de inmediato nos pueden generar un grave problema, pero es muy importante mantener todos los equipos de una planta en buen estado, porque tarde o temprano el no atender ciertos equipos puede provocar fallas en los demás equipos.

Uno de los equipos que por lo general sufre de este mal son precisamente las torres de enfriamiento.

A continuación se muestra un ejemplo en el cual en una planta termoeléctrica después de hacer todo el mantenimiento preventivo a todos los equipos con que cuenta una torre de enfriamiento se procede a inspeccionar la torre de enfriamiento para comprobar que esta funcionando adecuadamente.

Esta torre de enfriamiento cuenta con las siguientes características de diseño:

Flujo de diseño: 1400 M³/M

T1-Temperatura de entrada:42°C.

T2-Temperatura de salida:32°C.

Th-temperatura humeda:25°C.

Potencia de disaño:80Kw.

El primer paso que debemos de seguir es solicitar los instrumentos de medicion necesarios para poder efectuar las pruebas correspondientes.

DIRECCION DE MANTENIMIENTO

Prueba de rendimiento

Nombre del solicitante: _____

E q u i p o

Escriba SI / NO

Placa de orificio

Tubo de Pitot

SI

Tubo de Vénturi

SI

Anemómetro

Termómetro de mercurio

SI

Termómetro de resistencia

Velómetro

Wattímetro

SI

Fecha _____ Autorizó _____

De estos cuatro instrumentos son indispensables el tubo Vénturi el termómetro de mercurio y el wattímetro.

Una vez que se tienen los instrumentos se procede a la toma de mediciones (pruebas).

Para este fin usaremos el formato de toma de datos.

DIRECCION DE MANTENIMIENTO

Toma de datos

Nombre _____

Valores de la prueba

Hora	th	t1	t2	Lp	Pp	t1-t2
12h	20.7	37.7	28.1	1.28	71	9.6
12h10'	20.7	37.7	28.2	1.28	71	9.5
12h20'	20.8	37.8	28.2	1.28	71	9.6
12h30'	20.9	37.8	28.4	1.28	71	9.4
12h40'	21.0	37.9	28.3	1.28	71	9.6
12h50'	21.0	38.0	28.2	1.28	71	9.8
13h	21.1	38.0	28.3	1.28	71	9.7
13h10'	21.2	38.1	28.5	1.28	71	9.6
13h20'	21.2	38.3	28.7	1.28	71	9.6
13h30'	21.3	38.2	28.7	1.28	71	9.5
13h40'	21.3	38.2	28.9	1.28	71	9.3
13h50'	21.4	38.2	28.9	1.28	71	9.3
14h	21.4	38.1	28.8	1.28	71	9.3
14h10'	21.4	38.3	28.8	1.28	71	9.5
14h20'	21.2	38.3	28.8	1.28	71	9.5
14h30'	21.2	38.3	29.1	1.28	71	9.2
14h40'	21.2	38.3	29.0	1.28	71	9.2
14h50'	21.3	38.5	29.1	1.28	71	9.4
15h	21.5	38.3	29.1	1.28	71	9.2

Valores de prueba:

th = 21.1°C

t1 = 38.1°C

t2 = 28.7°C

Lp = 1.28°C

Pp = 71

t1 - t2 = 9.4°C

Con estos valores obtenidos en la prueba se procede a calcular el valor del rendimiento de la torre con el cual sabremos en que condiciones esta funcionando.

Ejemplo: Para una torre de tiro mecánico se tienen los siguientes valores de diseño y prueba:

Parámetros	Diseño	Prueba
L (m ³ /h)	1.400	1.280
t1 (°c)	42.0	38.1
t2 (°c)	32.0	28.7
th (°c)	25.0	21.3
P (kW)	80	71

Se observa en la curva característica de diseño que el valor de L+G es 1,15.

Teniendo el valor de (L+G)_p=1,09 se tiene la entalpia de entrada del aire a 21,3°c de temperatura húmeda:

$$h_1 = 14,8 \text{ kcal/kg}$$

La entalpia de salida del aire es:

$$h_2 = h_1 + L+G (t_1 - t_2) = 14.8 + 1.09(38.1 - 28.7) = 25.1$$

‡	t(c)	hw	‡	ha	hw-ha	1/Ah
	t1=28.7			h1=14.8		
+10	=29.6	23.4	+10	=15.8	h1=7.6	0.132
+40	=32.5	27.2	+40	=18.9	h2=8.3	0.120
-40	=37.2	34.6	-10	=24.0	h4=10.6	0.094
	t2=38.1			h2=25.1		

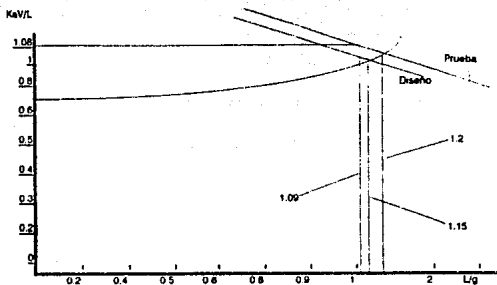
Tenemos entonces:

$$h_2 = (38.1 - 28.7) + 4 * (0.132 + 0.120 + 0.114 + 0.094) = 1.08$$

Este valor junto con el valor de L/G se llevan a la figura 4.1 trazándose a continuación la curva característica de la prueba, poniéndola paralela a la de diseño proporcionada por el fabricante.

El punto de corte de esta curva característica de la prueba con la curva correspondiente a 7°C de aproximación corresponde a un L/G de 1.20.

La capacidad de la torre en tanto por ciento es:



F.7.1 Curva característica de diseño.

El valor de:

$$\begin{aligned}
 (L/G)_p &= L_p + L_d * (P_d + P_p) * (L/G)_d = \\
 &= 1280 + 1400 * (80 + 71) * 1,15 = 1,09 \\
 \% &= 1.20 + 1.15 * 100 = 104.3\%
 \end{aligned}$$

Lo que significa que está trabajando por encima de su capacidad de diseño.

CONCLUSIONES

En nuestro país es común encontrar equipos que no reciben mantenimiento preventivo. Esto se debe a que en muchas ocasiones las industrias trabajan a capacidades muy altas, lo cual provoca que los equipos trabajen en servicio continuo, sin tiempo de darles mantenimiento, a pesar de no haber sido diseñados para efectuar esta función.

Esta manera de trabajar de los equipos, a menudo provoca descomposturas inesperadas y frecuentemente los departamentos de mantenimiento solamente llegan a tener tiempo para reparar equipos que afectan directamente a la producción, descuidando por esto, el mantenimiento preventivo que requieren las instalaciones en general.

Por estas razones las torres de enfriamiento, se ha convertido en equipos de segunda prioridad. Además esta situación se ve agravada por el hecho de que puedan incluso funcionar con algunos equipos fuera de servicio.

Debido a que en la zona metropolitana del Valle de México ha habido un crecimiento sin control, el problema de la contaminación ha alcanzado niveles preocupantes. Por lo tanto las medidas que el gobierno está tomando son muy drásticas cuando de contaminación se está hablando, en

especial para el sector industrial.

Los principales contaminantes son los que se encuentran en el aire y el agua, en consecuencia las sanciones impuestas con las reformas ecológicas se han enfocado al control de las emisiones a la atmósfera y a regular el aprovechamiento de las aguas industriales.

Una de las formas más comunes de aprovechamiento de agua en industrias con procesos químicos y aquellas que requieren del enfriamiento del agua para su reutilización, son las torres de enfriamiento.

Si una torre de enfriamiento no está funcionando adecuadamente, tanto el desperdicio de agua como de energía son muy grandes y las sanciones son igualmente grandes variando entre multas, reposición de equipos y clausuras.

El objetivo principal de este trabajo es proporcionar un documento que sirva de referencia para detectar si una torre de enfriamiento, de acuerdo a su diseño, trabaja adecuadamente sin la necesidad de hacer una serie de cálculos complicados para medir el rendimiento y poder localizar el problema rápidamente.

Un segundo objetivo es la optimización del uso de las aguas,

manejando un método sencillo y accesible a todos los niveles del personal de operación.

Otro objetivo de estas páginas es proporcionar un documento que maneje información suficiente para poder calcular el rendimiento de las torres de enfriamiento y detectar de esta manera tanto problemas operativos como de mantenimiento que pudieran surgir.

Debido a los graves problemas de contaminación que existen actualmente en el país y a las grandes necesidades de incrementar la producción en la industria mexicana, se consideró que el dar un uso práctico a un trabajo de este tipo, podría ser más útil en estos momentos que un enfoque teórico.

BIBLIOGRAFIA

1. Manual del Ingeniero Químico. Perry. Mc Graw-Hill.
2. Procesos de Transferencia de Calor. Donald Q. Kern. Editorial Limusa.
3. Manual Técnico de Instrucción para Conservación de Energía. Ministerio de Industria y Energía, Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales.
4. Química del Agua. J. Catalán la Fuente, Editorial Blume.
5. Improvement of environmental and Economic Characteristics of Cooling Towers. Aadeen B. R. Glicksman, Massachusetts Institute.
6. Cooling tower Institute. Basic Concepts Operation.
7. Cooling Towers Energy. Studies Conservation Techniques. Aplicable to Existing Installations Plus, Comparative Economics and Energy.
8. Cooling Tower Performance. Baker, Donald. Chemical Publishing.
9. Cooling Tower Manual Chapter Performance. Cooling Tower Institute.
10. Manual del Ingeniero Mecánico. Marks. Mc Graw-Hill.
11. Manual de Tratamiento de Aguas. Eddy Metcalf, Ed. Labor, República de Argentina.

NORMAS

Bequiner "Torres de enfriamiento-Definiciones y ensayo de recepción" BQ-E2.20. 1975.

Coolin Tower institute. "Nomenclature for industrial Water-Cooling Towers" CTI Bulletin NCL-109.1958.

Cooling Tower institute "Acceptance Test Code for Water -Cooling Towers". CTI Code ATC-105.1975.

Cooling Tower institute "Field Tests of Fans Performance on Induced Draft Cooling Towers" CTI Bulletin TRP-122. 1962.

The American Society of mechanical Engineers.

Normas Pemex.