

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

" APLICACION DE UNA TORRE
DE ENFRIAMIENTO A PRACTICAS DE
INGENIERIA QUIMICA "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

JOSE ERNESTO ARRIAGA GARCIA.

REGISTROS 28720 EN TESTONUM 1976

MEXICO, D.F.

1976



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS TESIS 1976.
ADP Not. 3er
FECHA _____
ANEC _____



QUIMICA

JURADO ASIGNADO.

PRESIDENTE.	PROF. ENRIQUE GARCIA LOPEZ.
VOCAL.	PROF. ROBERTO ANDRADE CRUZ.
SECRETARIO	PROF. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO.
1er. SUPLENTE	PROF. JORGE MARTINEZ MONTES.
2o. SUPLENTE	PROF. JOSE FCO. GUERRA RECASENS.

TEMA DESARROLLADO EN EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA Y EN ALGUNAS INDUSTRIAS DONDE SE UTILIZAN TORRES DE ENFRIAMIENTO (REFINERIAS Y TERMoeLECTRICAS).

SUSTENTANTE: JOSE ERNESTO ARRIAGA GARCIA.
ASESOR: PROF. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO.

CON CARIÑO DEDICO ESTE TRABAJO.

A MIS PADRES, EMELIA Y J. TRINIDAD
A QUIENES DEBO LO QUE SOY.

A MI ESPOSA, OFELIA
QUE SIEMPRE ME AYUDA A SEGUIR ADELANTE.

A MIS HIJOS, ITZEL Y LUIS GERARDO.

A MI SUEGRO, QUE SIEMPRE ME DA ANIMOS
PARA SEGUIRME SUPERANDO.

A MIS HERMANOS.

A MIS CUÑADAS Y CUÑADOS

A MIS AMIGOS Y FAMILIARES.

CONTENIDO:

SIMBOLOGIA.

INTRODUCCION.

OBJETIVOS.

CAPITULO I SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

CAPITULO II EQUIPOS PARA ENFRIAMIENTO DE AGUA.

CAPITULO III SELECCION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

CAPITULO IV DISEÑO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

CAPITULO V ESPECIFICACIONES DE LA TORRE DE EN--
FRIAMIENTO.

CAPITULO VI FACTORES QUE AFECTAN LOS CALCULOS
EN TORRES DE ENFRIAMIENTO.

CAPITULO VII CALCULOS COMUNES EN TORRES DE EN--
FRIAMIENTO.

CAPITULO VIII MANUAL DE: FUNCIONAMIENTO, INSTA-
LACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO.

CAPITULO IX PRACTICAS EN TORRES DE ENFRIAMIENTO.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

SIMBOLOGIA

- A = Acercamiento = $T_2 - t_{bh}$.
- a = Area de Transferencia en la Torre por unidad de volumen m^2 / m^3 .
- A = (Como subíndice), se refiere a la cantidad de agua arrastrada por el aire.
- B = Se refiere al ventilador.
- b = Bulbo
- C = Costo
- Ca++ = Calcio
- C_T = Coeficiente total de capacidad o funcionamiento.
- cal. = Caloría, medida de calor.
- cm. = centímetro.
- D = Densidad en Kg/m^3 .
- D = (Como subíndice) se refiere a condiciones de diseño.
- E = Se refiere a la cantidad de agua evaporada (como subíndice)
- epm = Equivalentes por millón.
- f = Factor de funcionamiento.
- f A.R. = Factor de funcionamiento, de acercamiento y Rango.

- f A. t_{bh} = Factor de funcionamiento, de Acercamiento y Temperatura de bulbo húmedo.
- G = Gasto de aire en Kg/hr. m² ó Kg/gr.
- g = gramo.
- h = Entalpia en Kcal/Kg.
- h₁ = Entalpia del aire a la salida de la Torre.
- h₂ = Entalpia del aire a la entrada de la Torre.
- h_a = Entalpia del aire ambiente.
- hr = hora, medida de tiempo.
- h* = Entalpia de saturación
- HP = Caballos, medida de potencia.
- h = Unido a b, como bh, significa húmedo (bulbo húmedo).
- H = Hidrógeno.
- K = Coeficiente de transferencia total Kcal/Kg hr m² Kg agua / Kg. aire seco.
- KW = Kilo watt.
- Kg. = Kilogramo, unidad de masa.
- Kcal. = Kilocalorías.
- L = Gasto de agua que circula en la Torre ya sea en masa o en volumen Kg/hr, m³/hr, l/min.

l	=	litros, medida de volumen.
M	=	(como subíndice) modificado.
m ³	=	Metros cúbicos = 1,000 l, medida de volumen.
m ²	=	Metros cuadrados, medida de área.
mñ.	=	minutos, medida de tiempo.
m	=	metros.
Na	=	Sodio.
O	=	Oxígeno.
p.p.m.	=	Partes por millón (1 miligramo en 1 Kg).
pH	=	Potencial de hidrógeno medida de acidez o alcalinidad.
Δ P	=	Caída o pérdida de presión, cm. de agua.
P	=	(Como subíndice) Se refiere al gasto de agua de purga.
Q	=	Carga térmica en Kcal/hr. ; igual a = (R) (L)
R	=	Rango (°C) = T ₁ - T ₂
R	=	(Como subíndice) Se refiere al gasto de agua de re- puesto.
\$	=	Signo de pesos.
S	=	Azufre.
T	=	Temperatura.

T	=	(Como subíndice) Se refiere al total.
T ₁	=	Temperatura de entrada del agua caliente a la Torre.
T ₂	=	Temperatura de salida del agua fría de la Torre.
t _{bh}	=	Temperatura de bulbo húmedo del aire.
V	=	Volumen de la Torre.
V ^l	=	Gasto de aire en volumen m ³ /min.
v	=	Velocidad del aire en m/seg.
V _H	=	Volumen específico del aire en m ³ /Kg.
vs.	=	Contra
W	=	Gasto de agua cuando lleva subíndices Kg/hr.
X	=	Número de ciclos de concentración.
Z	=	Altura de la Torre en m.
n	=	Eficiencia; del ventilador o de la bomba.

INTRODUCCION.

Uno de los problemas más comun y frecuente en la Industria es el enfriamiento, para su solución se recurre a una gran variedad de sistemas.- El análisis de las necesidades de enfriamiento permite seleccionar el sistema más adecuado.

En la actualidad el sistema más usual es el que emplea el agua como medio de enfriamiento, debido a sus características tales como: - bajo costo, abundancia, fácil manejo, absorbe gran cantidad de calor por unidad de masa, el cambio de volumen respecto al cambio de temperatura es pequeño y no se descompone.

El uso del agua, puede estar limitado por las condiciones iniciales de la misma, por lo que ese acondicionamiento es de gran importancia.- Al utilizar el agua para enfriar, cambian sus condiciones térmicas, haciéndose necesario que antes de utilizarla de nuevo o desecharla, se disminuya su temperatura, para satisfacer, que la cantidad desechada sea mínima y que cumpla con los reglamentos de cada país en relación a la ley de aguas residuales.

Una de las formas más comun para enfriar el agua es por medio del contacto con aire ambiente, en la actualidad existe una gran variedad de equipos que cumplen con este objetivo, dependiendo de la necesidad del proceso y de los recursos disponibles.

El conocimiento del contacto aire-agua, ha permitido desarrollar -- equipos cada vez más eficientes, siendo la torre de enfriamiento el más empleado en la actualidad.- El hombre ha ido penetrando cada vez más en el estudio de estos equipos, generando información muy valiosa como son las curvas características de diferentes rellenos y las curvas de funcionamiento, que los fabricantes utilizan como base para su diseño y construcción.- Lo anterior ha permitido que se especifique en forma cada vez más estricta los materiales de construcción y el funcionamiento de las torres de enfriamiento.

Las especificaciones de un equipo determinado deben cumplir con la llamada prueba de aceptación y funcionamiento, que efectúan com-

prador y fabricante.- Esta prueba que requiere los datos de operación y los de diseño, puede verse afectada por las condiciones ambientales del lugar donde se opere la torre así como por la información disponible para evaluar la misma.

Existen reglas perfectamente definidas para realizar una prueba de funcionamiento y la evaluación que se hace de ella con respecto al funcionamiento que garantiza el fabricante.- La información que presenta el fabricante de torres de enfriamiento, al comprador, se refiere principalmente a las características generales de funcionamiento, a su instalación y a su mantenimiento.

El ingeniero que trabaja con las torres de enfriamiento está relacionado principalmente con cuatro tipos de cálculos que son: diseño, generación de curvas características o de funcionamiento para una variedad de condiciones de operación, predicción del comportamiento del equipo para condiciones de operación diferentes a las de diseño y evaluación de la prueba de aceptación o funcionamiento.

Finalmente, considero que el profesionista que se enfrentará a la operación de una torre de enfriamiento debe adquirir una preparación teórica y práctica al respecto, de aquí la utilidad que tiene este tipo de equipo para realizar prácticas de ingeniería que se referirán principalmente a problemas reales, como lo son: la prueba de aceptación o funcionamiento y la operación o mantenimiento del equipo.

OBJETIVOS GENERALES:

- 1.- Presentar información sobre torres de enfriamiento, especialmente sobre diseño y prueba de aceptación.
- 2.- Incorporar una torre de enfriamiento de agua al laboratorio de ingeniería química, representando en él una realidad industrial.
- 3.- Elaborar prácticas sobre torres de enfriamiento, en las que se presente fielmente la realidad; concretamente sobre:
Prueba de aceptación - funcionamiento y operación - mantenimiento.
- 4.- Proponer un estudio sistemático de los factores que afectan al funcionamiento de una torre de enfriamiento; generando las normas adecuadas para probar estos equipos en nuestro país.

CAPITULO I.- SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

(En la actualidad existen 5 diferentes formas para enfriar dentro de la Industria (11):

- 1.- Por medio de Aire.
- 2.- Por medio de Agua
- 3.- Refrigeración al vacío.
- 4.- Por Absorción.
- 5.- Por Refrigeración mecánica.)

El uso de alguno de los sistemas se basa en el conocimiento de tres factores principales:

1.- "El nivel de temperatura" que se desea.- Es de esperarse que el medio que enfríe deberá encontrarse en una temperatura menor que la del medio que se desea enfriar, cuanto mayor diferencia -- exista entre las temperaturas mayor facilidad se tendrá para lograr el enfriamiento aunque esto puede implicar mayor costo.- Existen -- dos niveles de Temperatura para realizar el enfriamiento:

A) A temperaturas cercanas a la ambiente en donde se usan principalmente como medios el Aire, el Agua o una combinación de --- ellos.

B) A temperatura abajo del ambiente.- Puede lograrse por los sistemas a vacío, por absorción y Mecánica.- El uso de los sistemas -- mencionados normalmente requieren de un previo enfriamiento con -- sistemas aire, agua o de una combinación de ellos.

II.- "La calidad del medio enfriamiento".- Se refiere a la contaminación en general que puede provocar sobre el proceso o al desechar se del proceso. También el medio de enfriamiento determina el equi po y material necesarios, así como el acondicionamiento que pueda -- requerir para su uso.

III.- "Disponibilidad".- Este aspecto puede ser de gran importancia pues la misma planta o su localidad pueden proveer los servicios que requiere el enfriamiento, optimizando los recursos disponibles.

Es necesario considerar también la capacidad de la planta así como la disipación de calor que se requiere.

Enfriamiento Mecánico. ✓

Este sistema es muy usado en la Industria para los casos en que se requiere tan baja temperatura como -50°C . Consiste en el uso de fluidos de bajo punto de ebullición como: propano, propileno, amoníaco, etc., son comprimidos primero y dicho fluido a presión puede condensarse con facilidad el líquido para un recipiente, después por contacto indirecto con el fluido del proceso (a través de bancos de tubos) absorben calor (enfriando el fluido del proceso) y se evaporan totalmente, éste vapor nuevamente se comprime para realizar el enfriamiento en forma continua, ver (fig. 3), obsérvese que este sistema requiere de un medio de enfriamiento adicional que puede ser agua.

Enfriamiento por Absorción. ✓

Este sistema puede considerarse relativamente complejo sin embargo es muy conocido.

Las temperaturas que logra son:

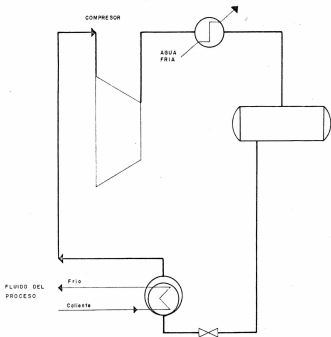
Menor de 0°C con una mezcla de amoníaco solución acuosa de amoníaco.

Un poco arriba de 0°C con una mezcla de agua-bromuro de litio en solución acuosa.

Su uso es limitado porque las unidades paquete existentes manejan cantidades de calor, están por arriba de 94,500 Kcal/min.

La figura 4 representa un sistema típico de enfriamiento por absorción que consiste en una mezcla de dos sustancias, una llamada refrigerante y la otra absorbente. El líquido refrigerante se vaporiza absorbiendo calor y enfriando el fluido del proceso, el vapor obtenido es absorbido en una Torre empacada en una solución diluida del refrigerante-absorbente y a la salida de esta Torre se obtiene una solución concentrada del refrigerante-absorbente, la solución es bombeada a un cambiador de calor y de ahí a un generador en donde por calentamiento se evapora el refrigerante y la solución diluida es regresada nuevamente a la Torre de absorción.

La substancia refrigerante en forma de vapor como ésta a presión puede ser licuada o condensada por enfriamiento con agua en contacto -

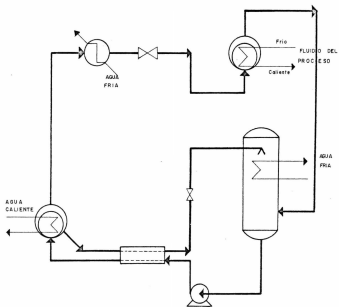


SIMBOLOS

-  CONDENSADOR
-  RECIPIENTE DE LIQUIDO
-  VALVULA REGULADORA
-  EVAPADOR

FIG. 3

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO MECANICO



SÍMBOLOS



CONDENSADOR



TORRE DE ABSORCIÓN



VALVULAS REGULADORAS



EVAPORADOR



BOMBA

FIG. 4

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR ABSORCIÓN

indirecto, finalmente el refrigerante líquido es Vaporizado absorbiendo calor y enfriando el fluido del proceso cerrándose el ciclo de enfriamiento. Obsérvese que este sistema requiere de un enfriamiento y un calentamiento adicional.

Enfriamiento al vacío.

El agua puede ser enfriada a una temperatura abajo de la ambiente según el vacío que se logre de manera que el agua llegue a su Temperatura de ebullición a presiones bajas del orden de 0.0082 a 0.0177 Kg/cm² correspondiente a 4.5 ó 16.0°C, parte del agua se evapora a dichas presiones y como efecto de esta evaporación del resto del agua se enfría.

El vacío es logrado por medio de vapor a través de equipos llamados eyectores que pueden ser de uno o varios pasos, el vapor que pasa por los eyectores es de relativa alta presión y a la salida de los mismos ya con menor presión es condensado por enfriamiento con agua en condensadores barométricos, el condensado unido al agua es llevado hasta una Torre de enfriamiento con el fin de bajar un poco su temperatura y de ahí se regresa nuevamente al equipo a vacío en donde puede lograrse una temperatura hasta de 4 ó 5°C, ver figura 5.

Nuevamente obsérvese la necesidad de un enfriamiento previo así como del enfriamiento (condensación) que requiere el vapor después de haber logrado el vacío al pasar por los eyectores.

Enfriamiento por agua.

El agua es muy usada en el enfriamiento y puede usarse en un solo paso o ciclo abierto o a ciclo cerrado. A ciclo abierto el agua enfría al fluido del proceso y se descarga al drenaje, siempre que no se provoque una contaminación. (fig. 1).

El uso del agua a ciclo cerrado permite recuperar el agua; enfriándola y utilizándola nuevamente. En el enfriamiento del agua para su uso en forma cíclica sólo se tiene una pérdida del 4% del total de agua usada que corresponde: 2% que se pierde por evaporación, 1.5% como purga para evitar un aumento excesivo en la cantidad de síldos en el agua y 0.5% o menos por arrastre en el aire. Ver Fig. 2.

El sistema a ciclo cerrado ha desplazado al sistema abierto en una

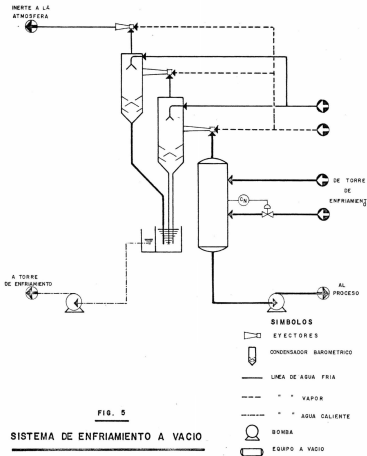
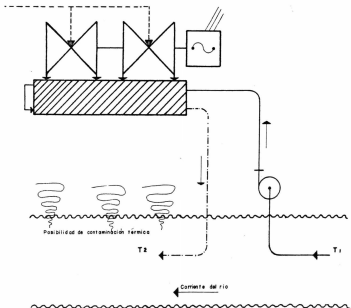


FIG. 5

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO A VACIO



SIMBOLOS

- Agua frío
- - - " caliente
- - - Vapor
- ⊕ Bomba
- ▨ Condensador
- ⊞ Generador de electricidad
- ⊞ Turbina

FIG. 1

SISTEMA DE UN PASO (TÍPICO DE UNA TERMOELECTRICA)

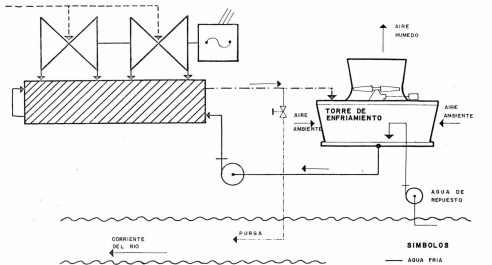


FIG. 2

SISTEMA DE CIRCUITO CERRADO

(TÍPICO DE UNA TERMOCÉLULA)

SIMBOLOS

- AGUA FRÍA
- - - CALIENTE
- - - VAPOR
- ⊕ BOMBA
- ▨ CONDENSADOR
- ⊞ GENERADOR DE ELECTRICIDAD
- ⊞ TURBINA

forma total aunque existen excepciones.

Enfriamiento con aire. ✓

El aire es muy usado para el enfriamiento y lógicamente ha surgido por su disponibilidad y fácil manejo. El equipo que maneje el aire requiere de un mantenimiento barato, el área de terreno necesaria (32) dependen del tipo de equipo usado y la temperatura lograda en el agua es del orden de 4°C arriba de la temperatura del ai re.

Los sistemas de enfriamiento mencionados tienen una aplicación específica según la temperatura que logran pero es de interés principal en este trabajo, presentar una información general sobre equipos de enfriamiento de agua por medio de aire, los cuales son muy usados en la actualidad, además de que existen una variedad de diseños.

CAPITULO II.- EQUIPO DE ENFRIAMIENTO DE AGUA POR MEDIO DE AIRE.

En este enfriamiento se emplean varios mecanismos, siendo el más importante el que emplea la evaporación de parte del agua; la evaporación de un kilogramo de agua substraee aproximadamente 560 Kcalorías (a las temperaturas en que se trabajan normalmente las torres) este principio tiene antecedentes de empleo muy antiguos (16) pero es sólo en este siglo que ha tenido un uso en gran escala. Poniendo en contacto directo agua caliente con aire frío, aquélla se enfriará por pérdida de calor sensible y por evaporación. Simultáneamente, el aire se calentará y se humidificará. Por tanto, la operación de enfriamiento de agua representa un caso de transferencia simultánea de materia y de calor (26), consistiendo la primera en el paso del agua evaporada desde la superficie líquida al seno del aire, la segunda de la superficie del agua caliente al aire y la tercera del seno del agua a la superficie de la misma. Como con todos los procesos de transferencia de materia y de transmisión de calor por contacto directo, una de las consideraciones primarias al diseñar la instalación es la creación de una gran área interfacial. Evidentemente una torre empacada puede constituir una solución para conseguir este propósito. Durante los últimos 40 años los progresos en el empleo del enfriamiento por evaporación han llevado a los siguientes desarrollos: (2)

- I. Estanques de enfriamiento.
 - II. Estanques con aspersores.
 - III. Torres con ventilación por viento.
 - IV. Torres con tiro natural.
 - V. Torres con tiro mecánico.
- { Inducido
Forzado.

I.- EL ESTANQUE DE ENFRIAMIENTO es el más simple y en algunos casos el más barato de los métodos de enfriar agua por evaporación pero también el menos eficiente (fig 6) su principal ventaja estriba en poderse construir fácil y económicamente levantando un

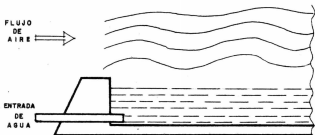
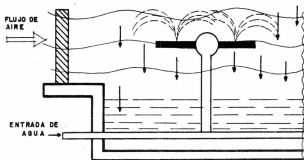


FIG. 6

ESTANQUE SIMPLE



ESTANQUE CON ASPERORES

FIG. 7

dique de tierra de uno a 1.5 m., pero tiene la desventaja de requerir una superficie muy grande que, a igualdad de carga térmica, puede ser 20 veces mayor que la de un estanque con aspersores o de 500 a 1000 veces la de una torre con tiro mecánico.

II.- UN ESTANQUE CON ASPERSORES es un estanque al que se le han colocado a metro, o metro y medio sobre la superficie del agua un sistema de toberas o aspersores cuyo objeto es producir -- una especie de lluvia (fig 7.) que aumenta notablemente la superficie de contacto entre el aire y el agua, en algunos casos puede agregarse al estanque una barda con persianas para reducir la pérdida de agua por arrastre del viento.

Aún cuando sea compacto el estanque aspersores tiene varios inconvenientes:

- 1.- Su rendimiento es limitado porque el tiempo de contacto entre las gotas de agua y el aire es reducido.
- 2.- La pérdida de agua puede ser considerable especialmente durante ciertas épocas del año en que prevalecen vientos fuertes.
- 3.- Requieren a igualdad de carga térmica aproximadamente 50 - veces más superficie que una torre de enfriamiento.

III.- TORRES CON VENTILACION POR VIENTO. Como su nombre lo indica son aquellas en que la circulación del aire depende principalmente del viento, en estas torres el flujo de aire es cruzado con respecto al flujo del agua ya que ésta última cae verticalmente por gravedad, mientras que el movimiento del aire es - producido por vientos que generalmente corren horizontalmente.

Se distinguen dos modalidades de torres de este tipo:

- a).- Sin relleno dispersor o llenas de lluvia (fig. 8)
- b).- Con relleno dispersor (fig. 9)

En las primeras, la dispersión para aumentar la superficie de contacto entre el agua y el aire se logra a base únicamente de toberas, colocadas en la parte superior de la torre, esta torre es muy similar a un estanque con aspersores, pero de forma alargada colocada perpendicular a la dirección prevaleciente del viento y con las paredes de persianas de altura considerable.

En las segundas contienen en su interior una serie de elementos generalmente de madera, que dispersan el agua al ir cayendo y au-

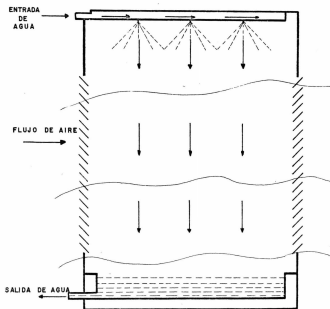


FIG. 8

TORRE DE VENTILACION NATURAL SIN RELLENO DISPERSOR

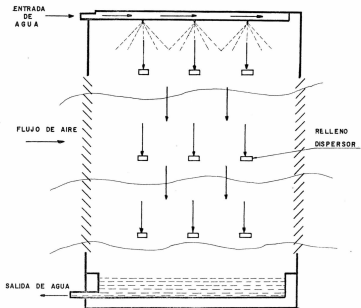


FIG. 9

TORRE DE VENTILACION NATURAL CON RELLENO DISPERSOR

mentan el tiempo de contacto entre el aire y el agua.

Las ventajas comunes son:

- 1.- Ausencia de partes mecánicas.
- 2.- Bajo costo de mantenimiento.
- 3.- No hay recirculación del aire empleado.

Las desventajas comunes son:

- 1.- Costo inicial elevado.
- 2.- Costo de bombeo elevado
- 3.- Deben de localizarse en lugares despejados.
- 4.- Deben colocarse normales a la dirección prevaleciente del viento.
- 5.- Teniendo además una gran longitud debido a que son de construcción estrecha.
- 6.- La temperatura del agua fría fluctúa con los cambios de dirección y velocidad del viento.
- 7.- La torre debe de estar perfectamente anclada para evitar que se derrumbe en casos de vientos fuertes.

Las torres sin empaque dispersor se prefieren para llevar pequeñas cargas de refrigeración y pueden tener operación sin complicaciones por muchos años y con poco cuidado, relativamente ineficientes y tienen mayor consumo de bombeo comparadas con las de relleno dispersor, que en general son más altas y la pérdida de carga que sufre el agua en las toberas es mayor.

El enfriamiento de agua es una operación en la cual la mayor resistencia a la transferencia corresponde a la fase gaseosa. Por consiguiente para mejorar la transferencia se necesita una elevada velocidad del aire. Por tanto, la pérdida de presión se hace crítica, y los rellenos se diseñan principalmente desde este punto de vista. Como consecuencia, el tipo de relleno más comunmente empleado para el enfriamiento de agua está constituido por las rejillas de madera (26) tanto de goteo como de película líquida, siendo este último el más utilizado en la actualidad.

La superficie ocupada por torres sin relleno es de aproximadamente quince veces y las de relleno cuatro veces la ocupada por una torre de tiro mecánico de carga térmica similar.

IV.- TORRES DE TIRO NATURAL, son en las que el flujo de aire es inducido por una chimenea de grandes dimensiones colocada encima del relleno de la torre (fig. 10) el tiro resulta de varios efectos combinados siendo el principal la diferencia de densidades entre el aire saturado de humedad saliendo de la torre y el aire entrando a la torre ya que mientras más humedad tiene el aire, menor es su densidad.

Sus principales ventajas son:

- 1.- Producen enfriamiento similar al obtenido con torres de tiro mecánico sin tener partes en movimiento y sin tener el gasto de energía causado por los ventiladores.
- 2.- Costo de mantenimiento muy bajo.
- 3.- Operación prácticamente libre de fallas.
- 4.- Comparadas con las torres de ventilación natural, tienen la ventaja de una operación independiente del viento.
- 5.- Requieren de una superficie de terreno relativamente pequeña.
- 6.- El aire fluye en dirección opuesta al agua, lo que garantiza una buena eficiencia.

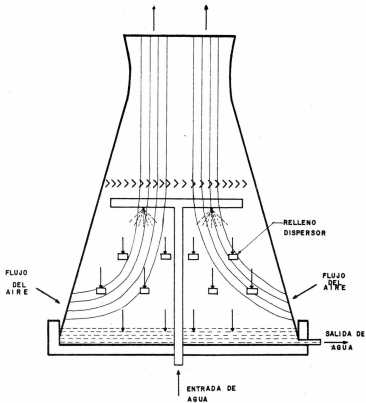
Sus principales desventajas son:

- 1.- La resistencia al flujo del aire debe mantenerse al mínimo por lo que el relleno debe diseñarse muy cuidadosamente.
- 2.- La gran altura requerida por la chimenea para mantener el flujo necesario.
- 3.- La temperatura del agua caliente entrando a la torre debe de ser superior a la temperatura de bulbo seco del aire.
- 4.- El control exacto de la temperatura del agua fría es difícil de lograr.
- 5.- El costo inicial bastante superior al de las torres de tiro mecánico.

V.- TORRES DE TIRO MECANICO, son aquellas que utilizan ventiladores para mover el aire a través de la torres, esto da al diseñador un control absoluto sobre la cantidad de aire, pudiendo escoger la cantidad y velocidad del aire sin restricciones.

Sus ventajas son:

- 1.- Buen control de la temperatura del agua fría.



TIRO NATURAL

FIG. 10

- 2.- Requieren una superficie relativamente pequeña.
- 3.- Generalmente tienen una carga de bombeo bastante baja.
- 4.- La ubicación de la torre no tiene restricciones.
- 5.- El enfriamiento se acerca mucho a la temperatura de bulbo - húmedo.
- 6.- Costo inicial inferior al de torres de tiro natural.

Sus desventajas son:

- 1.- El costo de operación es elevado debido a la energía requerida para hacer funcionar los ventiladores.
- 2.- Están sujetas a fallas mecánicas.
- 3.- Los costos de mantenimiento son elevados.
- 4.- Debido a su poca altura y a la succión creada por los ventiladores en muchos casos se tiene recirculación del aire húmedo, descargado por la torre.

Las torres de tiro mecánico se clasifican en torres de tiro forzado y torres de tiro inducido.

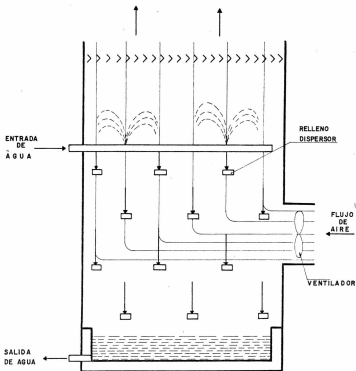
- ^{aproximada}
 1) Las torres de tiro forzado tienen uno o varios ventiladores localizados en la entrada del aire, que lo impulsan a través de la misma. (fig. 11).

Sus ventajas son:

- 1.- El ruido y la vibración son mínimos ya que el equipo mecánico se encuentra cerca de la base y está bien cimentado.
- 2.- Los ventiladores manejan aire seco por lo que la erosión de las aspas es mínimo y no se tienen problemas de condensación de humedad en la caja del reductor de velocidad.
- 3.- La operación de los ventiladores es ligeramente más eficiente que en el caso de los ventiladores de tiro inducida, porque parte de la energía presión dinámica del aire se convierte en presión estática y se recupera en forma de trabajo útil.

Sus desventajas son:

- 1.- El aire caliente y húmedo que sale por la parte superior de la torre tiende a recircular y en caso de vientos desfavorables puede reducirse la capacidad hasta un 20%.
- 2.- El diseño de estas torres limita el diámetro del ventilador a -



TIRO FORZADO

FIG. II

un máximo de 4 metros y si la carga térmica es grande se requiere un número considerable de motores, ventiladores y arrancadores -- (en el caso de tiro inducido se pueden usar ventiladores hasta de 20 metros de diámetro).

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

En las de contraflujo el aire se desplaza verticalmente (fig. 12), - su principal ventaja es el agua más fría es la que está en contacto con el aire más húmedo, lo que garantiza una buena eficiencia en el proceso de enfriamiento.

Sus desventajas son:

- 1.- El aire viaja en sentido contrario a las gotas de agua, lo que conduce a una pérdida de presión mayor y a la necesidad de consumir más potencia en los ventiladores que en el caso de flujo cruzado.
- 2.- La distribución de flujo de aire es dispareja teniéndose poco -- movimiento cerca de las paredes de la torre.
- 3.- Las torres de este tipo son bastante altas ya que la parte inferior del relleno debe elevarse para permitir la entrada libre del aire, por lo que requieren mayor potencia de bombeo.
- 4.- El sistema de distribución de agua colocada abajo de los eliminadores no se presta a un mantenimiento fácil.

En las torres de flujo cruzado una parte de corriente de aire viaja en forma horizontal mientras que otra parte cae verticalmente como se muestra en la fig. 13.

Sus ventajas son:

- 1.- Carga de bombeo reducida.
- 2.- Pérdida de presión baja en el aire.
- 3.- Permite un arreglo conveniente del sistema de distribución de agua, ya que sólo requiere un tirante de 15 a 20 cm. de agua en la parte superior de la torre.
- 4.- Es posible limpiar el sistema de distribución con la torre en servicio.
- 5.- La altura del relleno es prácticamente igual al de la torre misma.

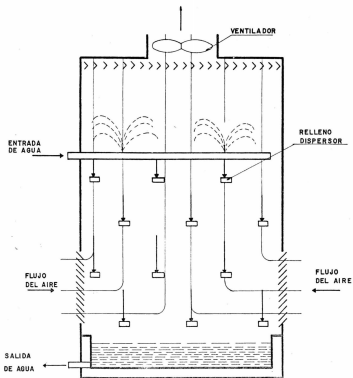


FIG. 12

TIRO INDUCIDO Y CONTRA FLUJO

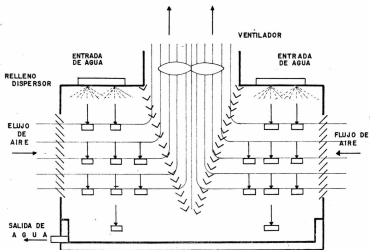


FIG. 13

TIRO INDUCIDO Y FLUJO CRUZADO

6.- Se pueden usar ventiladores de gran diámetro por lo que se requieren menos celdas para una determinada carga.

Desventajas comunes para torres de enfriamiento a contraflujo y a flujo cruzado:

1o.- La poca presión en el distribuidor de agua hace que los orificios se tapen fácilmente con desperdicios acarreados por el viento o por algas, por lo que requieren un mantenimiento frecuente.

2o.- Una superficie muy grande está expuesta al aire y al sol por lo que hay gran crecimiento de algas.

3o.- La eficiencia del enfriamiento es menor en el caso de contraflujo por lo que en ciertos casos, sobre todo cuando se quiere un acercamiento muy pequeño, las torres con flujo cruzado pueden requerir más superficie y consumir más potencia de ventilación que las de contraflujo.

Cada uno de los equipos mencionados encuentra aplicaciones en la práctica dependiendo del análisis económico que se realice.

En cada caso particular, es necesario hacer una evaluación económica que considere costos de instalación, operación, y mantenimiento, para determinar cuál es la solución más conveniente.

En términos generales, se puede decir que los estanques simples o con aspersores y las torres de ventilación por viento, son adecuados para cargas térmicas pequeñas y cuando el costo del terreno es bajo: Para cargas térmicas elevadas, como es el caso de muchas plantas térmicas, o cuando se dispone de poco terreno, lo más conveniente son las torres, ya sea de tiro natural o tiro mecánico.

La selección entre estos dos tipos de torre depende de condiciones locales, tanto económicas como de clima, K.K. McKelvey y M. Brooke (27) hacen ver que la diferencia de más de 5°C que existe entre la temperatura media del bulbo húmedo en Europa con respecto a los Estados Unidos, justifica la preferencia que las torres de tiro mecánico tienen en este país y las de tiro natural en Europa, ya que estas últimas trabajan mejor cuando la temperatura del bulbo húmedo es más baja.

Las torres de tiro natural y atmosférico, así como las torres y estanques de pulverización y tipos similares de instalación para el enfriamiento del agua, no son de uso frecuente y nuestro estudio se

reducirá a las torres de enfriamiento de tipo mecánico, las cuales tienen algunas variantes para su uso. (17)

Donde la cantidad de agua es ilimitado para suministrarle al proceso pero cuando el agua caliente resultante se encuentra a una temperatura por encima de la permitida por la ley de aguas residuales, las Torres de enfriamiento son usadas para completar el sistema abierto o de un paso de tal forma de reducir la temperatura del agua con el fin de evitar la contaminación térmica. (32)

La reducción de dicha temperatura puede lograrse por varios caminos:

El total de agua es bombeado a la Torre y en ella se reduce la temperatura pues su capacidad es la necesaria.

Una porción del flujo de agua es bombeado a la Torre, una vez fría, se mezcla con la otra porción de agua caliente para desecharse después (fig. 14).

Otra variante es que el agua fría obtenida de la Torre, sea regresada para el enfriamiento del proceso reduciendo la cantidad de agua natural. En este caso las Torres están actuando como colaboradores del sistema.

Para el caso en que el sistema abierto o de un paso, sea factible se complementa con una torre de enfriamiento y deberá considerarse en el diseño; la capacidad calorífica por disipar, en el invierno, así como en las diferentes épocas del año. Ejemplo, si la temperatura en el invierno es de 1 a 2°C al pasar por el proceso, puede aumentar hasta 10°C y a ésta temperatura, puede desecharse sin ningún problema omitiendo el uso de la Torre de enfriamiento (fig. 14) o de otra forma reducir el gasto de agua permitiendo una mayor elevación de temperatura y dicho gasto bombearlo a la Torre y el agua fría obtenida regresarla al enfriamiento del proceso (fig. 15) así el agua natural sólo se usará para reponer la cantidad de agua necesaria.

Partes principales de una torre de enfriamiento.

- I. Sistema de distribución de agua.
- II. Relleno.
- III. Ventiladores.

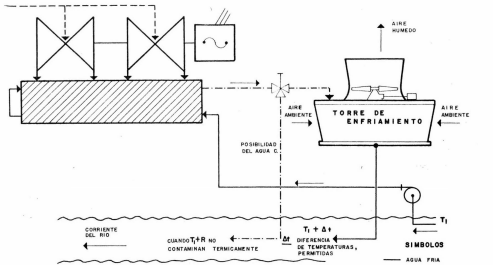


FIG. 14

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO A CICLO ABIERTO CON LA COLABORACION DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA EVITAR CONTAMINACION TERMICA

SIMBOLOS

—	AGUA FRIA
- - -	" CALIENTE
- - -	VAPOR
	BOMBA
	CONDENSADOR
	GENERADOR DE ELECTRICIDAD
	TURBINA

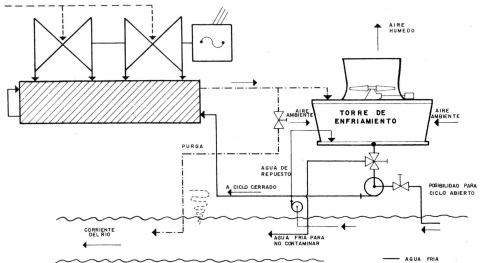


FIG. 15

COMBINACION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN INVIERNO Y EN VERANO PARA MANTENER TEMPERATURA Y GASTO DE AGUA - RESIDUAL EN CONDICIONES OPTIMAS

- AGUA FRÍA
- - - CALIENTE
- ⊕ VAPOR
- ⊕ BOMBA
- ▭ CONDENSADOR
- ⊕ GENERADOR DE ELECTRICIDAD
- ⊕ TURBINA

- IV. Persianas de entrada.
- V. Eliminadores de rocío.
- VI. Tanque de almacenamiento de agua.

I.- El sistema de distribución de agua, se usa para repartir uniformemente en la parte superior de la torre el agua caliente que requiere ser enfriada, hay varios tipos desarrollados por varios fabricantes de torres, pero todos caen dentro de los tipos de gravedad y a presión.

En las Torres de tipo inducido flujo cruzado, se emplea generalmente el sistema de gravedad (fig. 16) que consiste en un tanque abierto de poca profundidad colocado en la parte superior de la torre y que tiene en su fondo una serie de orificios por donde fluye el agua que al caer choca contra una placa difusora y se reparte uniformemente sobre el relleno. Un sistema similar emplea canales abiertos en lugar del tanque, pero el resultado es prácticamente el mismo.

Los sistemas de presión se utilizan, por ejemplo, en las torres con ventilación de viento y sin relleno dispersor, (Fig. 17) en ese caso por un sistema de tuberías se hace llegar el agua a unas tabe-ras que producen una lluvia, que llena la torre.

Sistema de distribuidor rotatorio, (fig. 18) consiste en dos o más brazos distribuidores que están fijos a un eje central, cada brazo consta de un tubo ranurado por el que sale una cortina de agua, el efecto del agua saliendo, hace que los brazos giren lentamente (25 a 30 R.P.M.) la velocidad puede variarse dentro de ciertos límites, girando el ángulo de la ranura del tubo.

II.- El relleno es la parte más importante de la torre, sirve para aumentar el tiempo y superficie de contacto entre el aire y el agua, además debe mantener una buena distribución tanto del agua como del aire. Existen dos tipos: de goteo y de película de agua.

En los rellenos de salpiqueo o goteo (fig. 19) se busca que el agua al ir cayendo, choque contra el relleno y se rompa en pequeñas gotas, este arreglo permite tener buenos resultados con torres de poca altura y por lo tanto de reducida carga de bombeo.

En el relleno de película (fig. 20) se divide el flujo de agua en

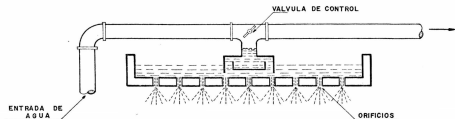


FIG. 16

SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA POR GRAVEDAD

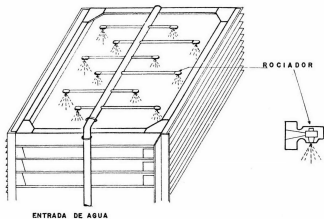


FIG. 17
SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA POR TOBERA

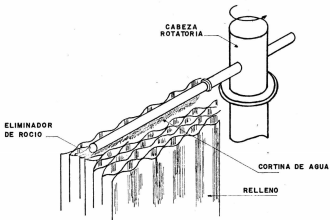
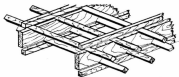
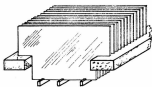
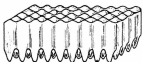


FIG. 18

SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA POR ROTACION



RELLENO DE SALPIQUEO



RELLENO DE PELICULA

FIG. 20

un gran número de capas delgadas que fluyen sobre el relleno exponiendo una gran superficie al aire y evitándose en lo posible la formación de gotas. La ausencia de gotas reduce la caída de presión del aire a través de la torre, permitiendo que se aumente la velocidad y volumen de aire manejado.

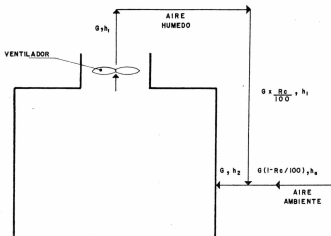
Por lo que se refiere al material del relleno, podemos decir que lo más usado ha sido la madera, pero recientemente se están utilizando también los plásticos y en el caso de relleno de película, el asbesto cemento, estos materiales tienen sobre la madera la ventaja de ser más durables, porque reducen el mantenimiento, pero a su vez son más costosas.

III.- Los ventiladores deben mover volúmenes considerables de aire a velocidades relativamente bajas (600 m-seg. o menos) y con una caída de presión mínima (del orden de 10 mm. de H₂O). Los más usados son los ventiladores del tipo de hélice, sin embargo, en torres de tipo forzado se utilizan también ventiladores centrífugos del tipo de jaula de ardilla.

Las aspas se hacen de materiales resistentes a la corrosión como aluminio, plástico reforzado con fibra de vidrio, madera laminada, acero inoxidable y metal monel.

IV.- Las persianas de entrada tienen por objeto dirigir el aire entrando a la torre y al mismo tiempo, impedir la pérdida de agua, en general su construcción es muy sencilla, consistiendo en una serie de tablas inclinadas de tal manera, que el agua escurra hacia el interior de la torre.

V.- Los eliminadores de rocío reducen a un mínimo el agua arrastrada por el aire, que se perdería sin ser utilizada y, lo que es en muchos casos más importante, que se precipitaría posteriormente en forma de fina lluvia causando molestias al vecindario y a la planta. Los eliminadores de rocío constan de una o varias persianas que obligan al aire a cambiar de dirección bruscamente y que por fuerza centrífuga hace que se separen las gotas de agua. Si los eliminadores de rocío son adecuados, se reduce la posibilidad de recirculación. (fig. 21).



Balance de calor;

$$G h_2 = G (1 - R_c / 100) h_a + G (R_c / 100) h_1$$

Despejando R_c :

$$R_c = \frac{h_2 - h_a}{h_1 - h_a} \times 100$$

En donde:

G = gasto de aire

h_1 = entalpia del aire a la salida

h_2 = " " " " " entrada

h_a = " " " ambiente

R_c = recirculación

FIG. 21

ESQUEMA DE LA RE-
CIRCULACION DEL AIRE

VI.- El tanque inferior, sirve para recibir el agua fría producto - de la torre, en general tratándose de torres grandes, el tanque se construye de concreto o a veces de madera, en caso de torres pequeñas construídas en los techos de fábricas o de edificios, se acostumbra tener tanques metálicos.

CAPITULO III.- SELECCION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

CONSIDERACIONES GENERALES.

Información proporcionada por el cliente:

- 1.- Capacidad de la planta, tipo de proceso y cantidad de calor - que se desea disipar. Esta información permite determinar los materiales de construcción.
- 2.- Temperatura del agua caliente y fría más aceptables según el - medio que se enfriará en el proceso.
- 3.- Gasto de agua.

Información que debe investigar el fabricante:

- 1.- Programar las variaciones de la carga Térmica con las estaciones del año.
- 2.- Obtener de información meteorológica:
 - a).- Variación de la temperatura de bulbo húmedo con las estaciones del año.
 - b).- Frecuencia de la temperatura de bulbo húmedo y su variación en las estaciones del año.
 - c).- Frecuencia de la temperatura de bulbo seco.
 - d).- Velocidad y dirección del aire.
 - e).- Temperatura de bulbo seco promedio que se espera para los diferentes bulbos húmedos.
 - f).- Distribución de la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco - para las épocas sin viento.

Con la información mencionada y las cartas de funcionamiento para varios tipos de rellenos que ya tiene el fabricante, se hacen los - cálculos aproximados de las dimensiones de la Torre de enfriamiento, así como de los equipos necesarios con potencias y materiales deter-minados.

Finalmente con el conocimiento de:

- 1.- Costo de terreno.

- 2.- Costo de potencia.
- 3.- Costo del agua de suministro.
- 4.- Costo de construcción de estanques, cubierta y sistemas de distribución y recolección de agua.
- 5.- Costo de la Torre
- 6.- Factores de fricción del empaque
- 7.- Costo de instalación.

Será posible seleccionar de entre las Torres evaluadas, la que resulte más económica. Se necesita el dimensionado en detalle para obtener la Torre precisa que cumple con el proceso.

CAPITULO IV.- DISEÑO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

Como se dijo en el capítulo anterior, la selección de la Torre de enfriamiento para una necesidad determinada, requiere del diseño previo de diferentes Tipos y Tamaños de Torres en el fin de evaluar concretamente sus diferencias para determinar cuál es la más "económica."

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

- 1.- Datos para el diseño L, R y Q.
- 2.- Estimación de la Temperatura del bulbo húmedo.
- 3.- Elección del tipo de Torre como primera aproximación.
- 4.- Estimación de altura de la Torre y tipo de relleno.
- 5.- Cálculo de la cantidad de aire y L/G para que las características del empaque cumplan con el funcionamiento deseado.
- 6.- Estimación del Area transversal como primera aproximación.
- 7.- Cálculo de la caída de presión en la Torre.
- 8.- Cálculo de la potencia del ventilador.
- 9.- Segunda aproximación para determinar la Torre de características comerciales.
- 10.- Estimación del costo anual.
- 11.- Estimación del agua de repuesto.
- 12.- Cálculo del funcionamiento de la torre para variación con el gasto de agua en $\pm 10\%$ del gasto de diseño.

La realización de cada una de las etapas de diseño requiere de la información adecuada, a continuación se presenta el detalle de cada etapa, así como la información mínima necesaria, en base a un ejemplo ilustrativo.

- 1.- Datos para cumplir con la necesidad de enfriar agua:

Gasto de agua (L) = 10,000 Kg/min, diferencia de temperaturas (R) = 9°C.

Carga Térmica (Q) = 90,000 Kcal/min.

Lugar de la planta: Nivel del mar, con una temperatura de bul-

bo húmedo de 15.5°C.

2.- Estimación de la temperatura de bulbo húmedo.

Según la localidad en que se encuentre la planta que necesite de una torre de enfriamiento, el fabricante se informará cuál es la temperatura de bulbo húmedo a la que conviene hacer el diseño.

Se dice que aquel la temperatura que sólo sea excedida por 150 hrs. en la época de verano que tiene un total de 2,920 hrs. es decir - la temperatura de bulbo húmedo del 5%, es la que normalmente se utiliza como de diseño. Ver referencia 13.

Debe considerarse también que de acuerdo al tamaño y capacidad - de la Torre habrá un cierto porcentaje de "recirculación" que modificará la temperatura de bulbo húmedo (5), figura 21.

El uso de esta temperatura modificada dará un diseño más comparable con la operación real de la torre de enfriamiento.

Como ejemplo según 1, consideremos Temperatura de bulbo húmedo de 15.5°C.

3.- La elección de la Torre, podría ser complicada puesto que necesariamente se diseñaría en base a todos los tipos existentes, incluyendo además diferentes materiales como: maderas, plásticos, asbesto-cemento, etc.

La realidad es que cada fabricante ya tiene definido el tipo de Torre para casos específicos o simplemente trabaja algún tipo de Torre y éste lo propone como el más económico.

El tipo común es de Tiro inducido y de madera.

Para uso del ejemplo consideramos que se trata de una Torre a Contraflujo, de la cual existen 6 diferentes arreglos del relleno, tipos "A", "B", "C", "D", "E", y "F". (21.)

4.- Selección del arreglo y la altura empacada para la primera - iteración.

La altura empacada determina la potencia de la bomba que alimenta el agua caliente a la Torre. La altura y el tipo de arreglo determina la potencia del ventilador así como la cantidad de aire - que se requiere para el funcionamiento deseado, es decir la carga térmica y el gasto de agua.

Factores que afectan la selección del arreglo y de la altura empa-

cada.

En busca de la Torre más económica debe considerarse la mejor -- evaluación de costos de:

Potencia del ventilador, potencia de la bomba, estanque, Torre, cables, tubería, instalación, amortización, obsolescencia. Estas -- son muchas variables, de aquí que los fabricantes han estudiado es -- te asunto de tal forma de manejar alturas óptimas y 2 ó 3 arreglos de la máxima eficiencia. La información sobre el funcionamiento de arreglos y alturas con caídas de presión, se han publicado (31) (18) y se muestran en las figuras 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28 pa -- ra algunos tipos de arreglos.

La forma como puede evaluarse la relación entre potencia del ventilador y potencia de bombeo, se muestra en la fig. 29 que corresponde a un ejemplo presentado en la referencia (31).

En general se dice que la altura empacada no debe exceder a 12.2 m.

En el cálculo de potencia de la bomba, no solo debe incluir la -- altura de la Torre, sino la caída de presión que tiene en el sistema de distribución que es del orden de 2.13 m. aunque hay Torres con distribución de agua por gravedad que no requeriría de esta caída -- de presión.

Siguiendo con el ejemplo tomamos el tipo de arreglo "A" y una al -- tura de 6.87 m.

5.- Determinación de la cantidad de aire, según el funcionamiento que se desea y de acuerdo con el arreglo y altura empacada que -- se seleccionó.

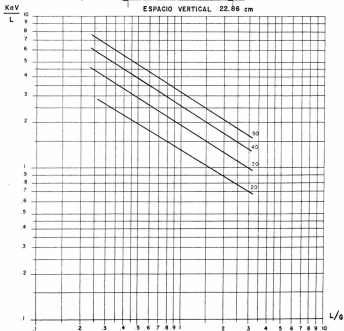
La teoría básica sobre humidificación y psicrometría (26) es la que sirve de base para hacer el cálculo de la cantidad de aire y la -- ecuación de aplicación es la siguiente:

$$\frac{K a V}{L} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{h - h}$$

esta ecuación representa el funcionamiento deseado de la Torre de enfriamiento. El valor de $K a V/L$ (número de unidades de transferencia) puede calcularse por integración numérica o integración --

FIG. 22

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO
EMPAQUE TIPO "A"



CAIDA DE PRESION POR PISO TIPO "A"
 CALCULOS BASADOS EN UNA DENSIDAD PROMEDIO DE 1.19 Kg/m^3

17,000

FIG. 23

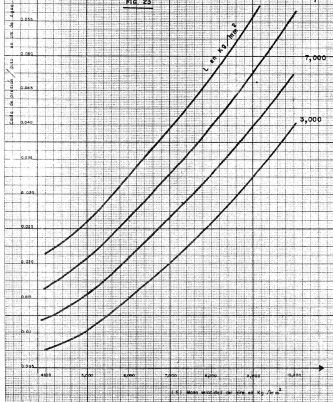
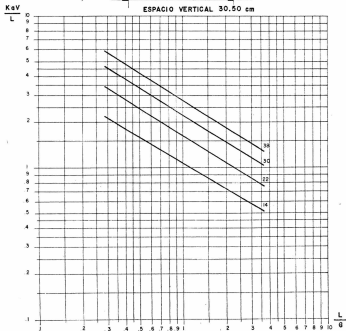


FIG. 24

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

EMPAQUE TIPO "B"



EMPAQUE TIPO "B"

CALCULOS BASADOS EN UNA
DENSIDAD MEDIA DE AIRE DE
1.15 Kg/m³

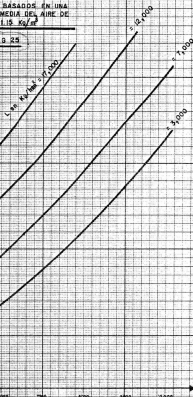
FIG 25

SECCION TRANSVERSAL EN CM DE AIRE

0.000
0.005
0.010
0.015
0.020
0.025
0.030
0.035
0.040
0.045
0.050

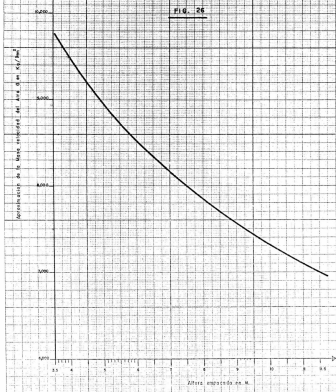
4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000

101 Nota: velocidad de aire en Kg/m²



ESTIMACION DE LA MASA VELOCIDAD DEL AIRE
PARA DIFERENTES ALTURAS DE EMPAQUE

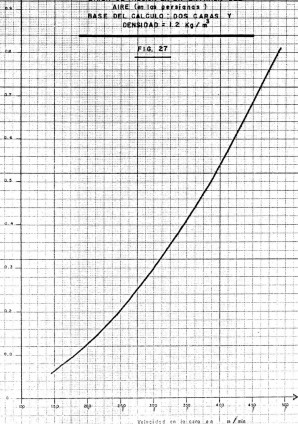
FIG. 26



CAIDA DE PRESION EN LA ENTRADA DEL
AIRE (en las perforaciones)
BASE DEL CALCULO: DOS CARAS Y
DENSIDAD $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

FIG. 27

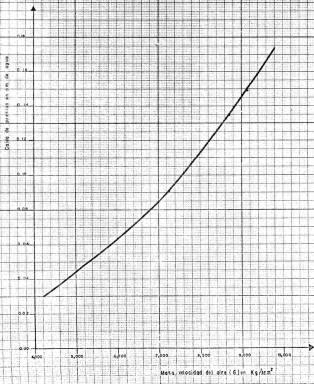
Caída de presión en las perforaciones en kg/cm²



Velocidad en la caña en m/s

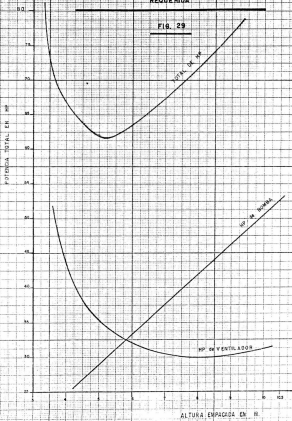
CAIDA DE PRESION EN ELIMINADORES DE ROCCIO
BASE: CINCO CARAS, DENSIDAD 1.08 Kg/m³

FIG. 28



EFFECTO DE LA ALTURA SOBRE LA POTENCIA
REQUERIDA

FIG. 29



gráfica siempre que se tenga la información al respecto según figura 30.

Temperatura del agua caliente = T_1

Temperatura del agua fría = T_2

Entalpía del aire a la entrada a la Torre = h_2

Entalpía del aire a la salida a la Torre = h_1

Línea de saturación de Entalpía vs temperatura en las condiciones atmosféricas del lugar para el cual se diseñará la Torre de enfriamiento (fig. 31 y 32)

Como se observa de la figura 30 el "área" entre la línea de operación y línea de saturación se ve afectada por:

Temperatura de bulbo húmedo del aire (tbh), Rango (R), Acercamiento (A) y relación de gastos L/G.

Para cálculos rápidos del número de unidades de transferencia en (18) y en (9) se presentan gráficas logarítmicas de $K a V/L$ vs. L/G para diferentes tbh y R, teniendo como parámetros el Acercamiento (A). Algunas de éstas gráficas se presentan en las fig. 33 a 46.

Existe además un estudio sobre las características del empaque, las cuales según (18) pueden representarse con la ecuación siguiente:

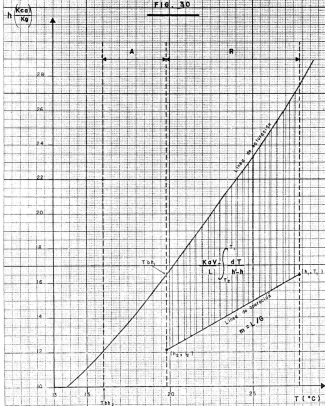
$$\frac{K a V}{L} = 0.07 + A' N' \left(\frac{L}{G} \right)^{-n}$$

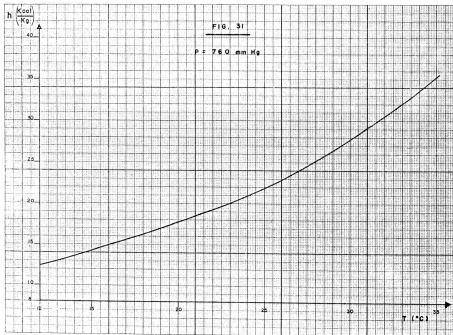
donde A' , N' y n son valores constantes que dependen del tipo de arreglo del relleno.

La contribución que tiene el sistema de distribución de agua que se use en la torre, tiene un valor de 0.07 y corresponde a un sistema por gravedad. La representación gráfica para tipos de arreglos se encuentra en las figuras 22 y 24.

La selección de la cantidad del aire, implica determinar el L/G óptimo para dicha operación de acuerdo con el funcionamiento del empaque, de aquí que la solución simultánea de las dos ecuaciones permite resolver este problema y puesto que la solución a dos

FIG. 30





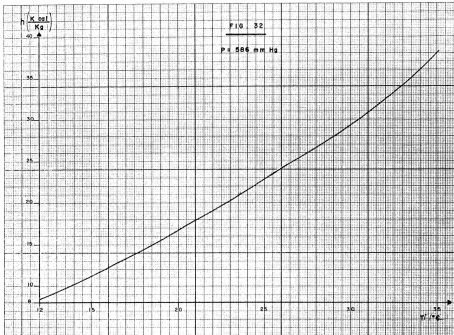


FIG. 33

PARA : $T_{bb} = 12$ °C
 $R = 5$ °C

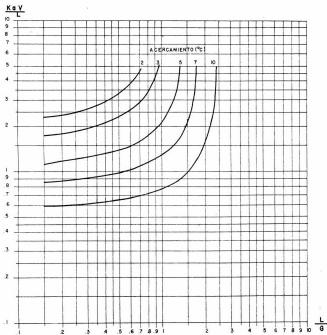


FIG. 34

PARA : $T_{bh} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $R = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$

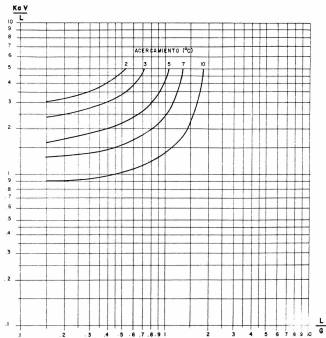


FIG. 35

PARA: T_{bb} = 12 °C
 R = 15 °C

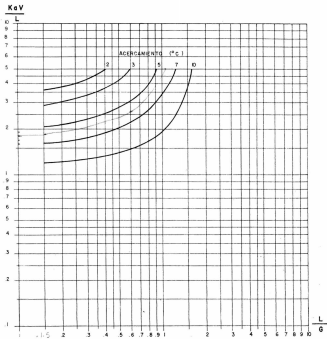


FIG. 36

PARA: $T_{bh} = 14^{\circ}C$

$R = 5^{\circ}C$

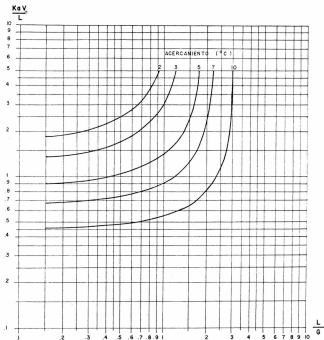


FIG. 37

PARA: $T_{bh} = 14^{\circ}C$
 $R = 10^{\circ}C$

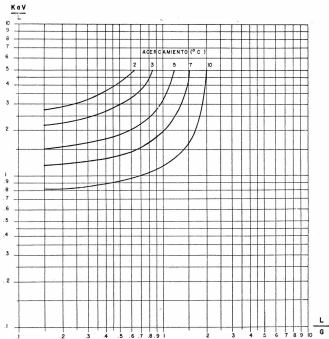


FIG. 38

PARA: $T_{db} = 14^{\circ}\text{C}$
 $R = 15^{\circ}\text{C}$

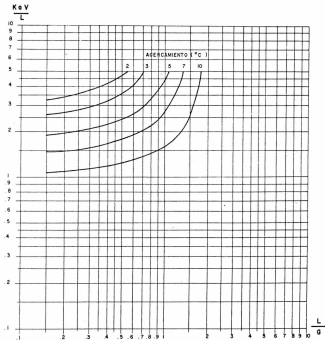


FIG. 39

**PARA: $T_{bh} = 16^{\circ}\text{C}$
 $R = 5^{\circ}\text{C}$**

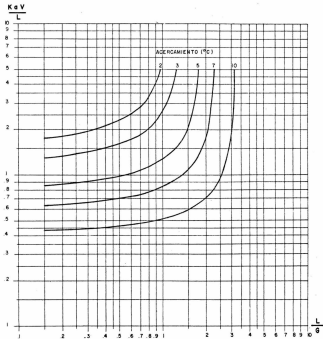


FIG. 40

PARA: $T_{bh} = 16^{\circ}\text{C}$

$R = 215,8^{\circ}\text{C}$

CURVA CARACTERISTICA DE LA TORRE
PAQUETE DEL LAB. DE ING. QUIMICA.

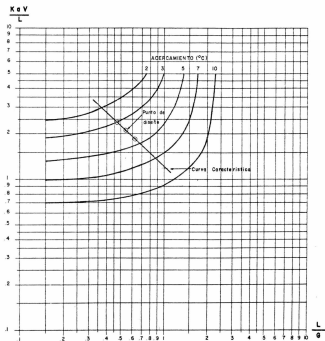


FIG. 41

PARA : $T_{bh} = 16^{\circ}\text{C}$
 $R = 9^{\circ}\text{C}$
 Y CURVA CARACTERISTICA PARA LA TORRE
 DE ENFRIAMIENTO No.4 DE LA TERMOELECTRICA
 DE LECHERIA.

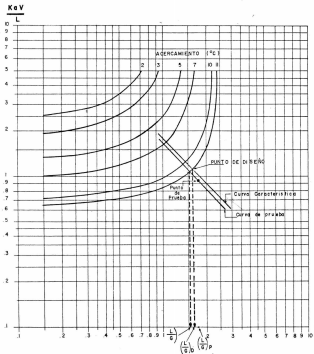


FIG. 42

PARA: $T_{bh} = 16^{\circ}\text{C}$

$R = 15^{\circ}\text{C}$

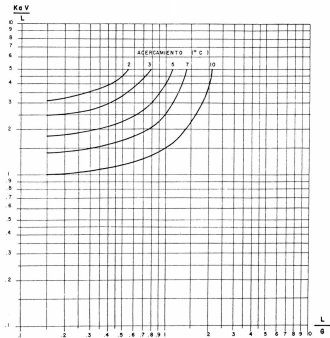


FIG. 43

PARA: $T_{bh} = 17^{\circ}C$
 $R = 5^{\circ}C$

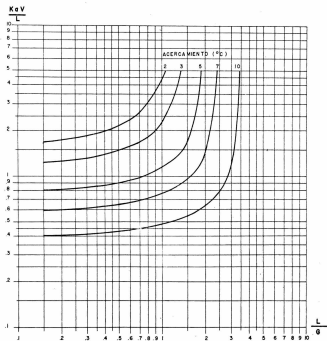


FIG. 44

PARA: $T_{bh} = 17^{\circ}\text{C}$
 $R = 8^{\circ}\text{C}$

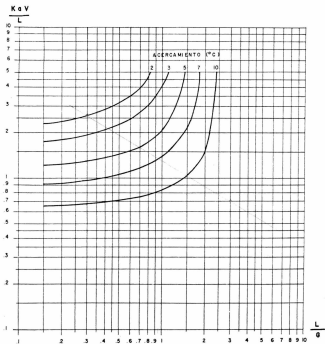


FIG. 45

PARA: $T_{bh} = 17^{\circ}C$

$R = 9^{\circ}C$

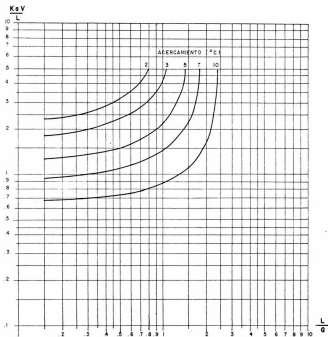
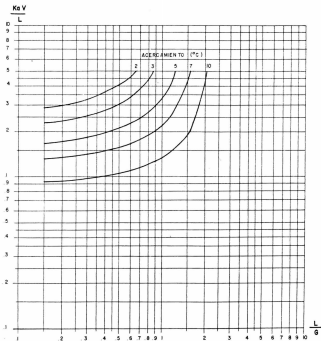


FIG. 46

$T_{bh} = 17 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $R = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$



ecuaciones representa el punto de intersección de las curvas, basta sobreponer sobre la gráfica de KaV/L vs. L/G que corresponde al bulbo húmedo y Rango de diseño, la gráfica de la característica del empaque para la altura que se ha seleccionado.

Del ejemplo, para la altura de 6.87 m. corresponden 30 pisos, ob-
serve en la figura 41 en donde se superpone la línea característi-
ca del empaque, en la gráfica de $t_{bh} = 16.0^{\circ}\text{C}$ $R = 9^{\circ}\text{C}$. El pun-
to de intersección de las curvas es de 1.5 por tanto:

$$\frac{L}{G} = 1.5 ; L = 10,000 \text{ Kg./min.}$$

$$G = 10,000/1.5 ; G = 6,667 \text{ Kg/min.}$$

6.- La Estimación del área transversal de la Torre, es muy simple gracias a la gráfica de la fig. 26 ya que nos permite conocer un valor de la masa velocidad del aire respecto a la altura que no -
provoque una caída de presión elevada y por tanto la potencia del ventilador no será muy elevada. Ejemplo:

Para una altura de 6.87 m. la masa velocidad más adecuada es -
de: 8,160 Kg/hr m^2 (fig. 26) y si el gasto de aire es de - - -
6,667 Kg/min = 400,000 Kg/hr., entonces la primera aproxima-
ción del área será:

$$A = 400,000 / 8,160 = 49.1 \text{ m}^2$$

Si consideramos que comercialmente se venden celdas de enfria-
miento 1.83 m. x 1.83 m. = 3.34 m^2 , el número de celdas sería
de 14.7 como no hay 0.7 de celda, podrían usarse 15, que equi-
valen a 50.1 m^2 . con este nuevo valor se calcula la masa velo-
cidad correcta para esta área que puede ser satisfecha por los fa-
bricantes:

$$\text{Masa velocidad del Aire} = 400,000 \text{ Kg/hr} / 50.5 \text{ m}^2 = 7,990 \text{ Kg/hr m}^2$$

7.- Determinación de las pérdidas de presión en la Torre.

a).- A través del empaque, un valor de 1.525 cm. de agua es el

límite para su caída de presión y se calcula a partir de la gráfica según el empaque que se seleccione, conociendo la masa velocidad del aire y del agua.

Ejemplo: $G = 7,990 \text{ Kg/hr. m}^2$

$$L = 11,980 \text{ Kg/hr. m}^2$$

Caída de presión/ piso = 0.0395 cm. de agua.

Caída de presión = (0.0395) (30 pisos) = 1.185 cm. de agua.

b).- A través de los eliminadores de rocío o niebla. La caída de presión en los eliminadores depende de su tamaño, sin embargo en la mayoría de las Torres existentes se tiene un mismo tamaño y tipo, así que puede evaluarse con la fig. 28, dando una buena aproximación.

Ejemplo: Para una masa velocidad de aire de $7,990 \text{ Kg/hr. m}^2$
la $\Delta P = 0.114 \text{ cm. de agua.}$

c).- A la entrada de las persianas. Durante muchos años se han usado persianas en ángulos de 45° , pero en la actualidad se usan de 30° o menor, la forma de calcular la caída de presión se hace por medio de la fig. 27. Generalmente se tiene persianas a dos caras de la torre, ésto es a doble flujo, se tiene una altura de las persianas al estanque de 1 m. aproximadamente y la altura de la entrada de aire por las persianas está en función de un gran número de variables como el ancho, la altura, el tipo de arreglo, el funcionamiento que se desea, la elevación del fondo del estanque, etc. Pruebas experimentales permiten decir que aproximadamente la altura de las persianas no debe ser mayor que 25 a 35% de la altura total de la Torre. Para determinar la velocidad del aire en las persianas es necesario conocer el área total en que se encuentran éstas. Por tanto debe conocerse: Ancho de la Torre, no debe ser mayor de 12.8 m. para una celda y 18.3 m. para dos celdas. Longitud de la Torre, no debe ser mayor de 2.5 veces del ancho.

Ejemplo: ancho = 5.5 m., largo = 9.15 m., altura total = 6.87 m.
 25% de altura = 1.715 m., $G = 40,000 \text{ Kg/hr-m}^2$. - Area de las persianas = $2 (9.15 \text{ m}) (1.715) = 26 \text{ m}^2$. Conversión del gasto en masa a gasto en volumen considerando una densidad del aire en condiciones estandar de 1.2 Kg/m^3 . $400,000 / (1.2)(60) = 5,550 \text{ m}^3/\text{min}$. y la velocidad será $5,550 / 26 = 21.3 \text{ m/min}$.

ΔP leído de la figura 27 $\Delta P = 0.1475 \text{ cm. de agua}$.

Total de caída de presión = $1.185 + 0.114 + 0.1475 = 1.4465 \text{ cm. de agua}$.

8.- Cálculo de la potencia del ventilador. Solamente se necesita - conocer: la caída de presión total en la torre, el volumen de aire manejado y la eficiencia, que normalmente se considera como del - 50 %.

El gasto en volumen (V') se calcula con el gasto en masa y con la densidad del aire considerando que sale saturado, la cual es de -- 1.08 Kg/m^3 aproximadamente (8).

$$\text{HP} = (V') (\Delta P) / (458) (0.5)$$

dónde 458 es un factor de conversión de unidades.

$$V' = 400,000 / (1.08) (60) = 6,180 \text{ M}^3/\text{min.}$$

$$\text{POTENCIA} = (6,180) (1.4465) / (458) (0.5) = 39 \text{ HP.}$$

9.- Segunda aproximación. Si la potencia del ventilador que se encuentra no existe comercialmente o es muy elevada, debe seleccionarse otra, para lo cual es muy útil considerar la siguiente ecuación: $\text{HP} = 1 / (\text{área})^{1.8}$

Ejemplo: Si la Torre tenía una área de 83.8 m^2 y la potencia del ventilador es de 39 HP; en la segunda aproximación, puede pensarse que un ventilador de 50 HP es el adecuado porque existe comercialmente, en cambio el de 39 HP no, entonces:

$\frac{1}{83.8} = \frac{1}{11}$
 $\frac{1}{11} = \frac{1}{11}$
 $\frac{1}{11} = \frac{1}{11}$

$$39 \text{ HP} = 1 / (83.8)^{1.8}$$

$$50 \text{ HP} = 1 / (X)^{1.8}$$

al dividir la primera ecuación entre la segunda y despejar el valor del área desconocida (X). $\text{Area} = 72.9 \text{ m}^2$.

en síntesis la nueva aproximación del área de la Torre, puede hacerse de acuerdo a la potencia del ventilador que se disponga comercialmente.

10.- Estimación del costo anual de la Torre.- Este costo anual, (C) = costo anual de capital invertido (C_c) = el costo anual de operación ($C_b = C_v$)

El costo anual de capital invertido, incluye diferentes elementos de la Torre, unos que no dependen de la altura, y otros que sí. Algunos de ellos son:

- A).- Estructura, Estanque.
- B).- Equipo de instalación, instalación eléctrica.
- C).- Distribuidores y soportes.
- D).- Ventiladores motores, motores de arranque.
- E).- Empaque de rejas de madera y su instalación.

El costo depende del % de este capital que se considera de acuerdo a la localidad, para cada uno de los elementos anteriores será diferente y dependerá del número de años en que se pretende depreciar y el costo total de inversión. En ocasiones, el costo --- anual se presenta en relación a los m^2 o ft^2 de área transversal de la Torre, y se llama costo unitario $\$/\text{ft}^2$ ó $\$/\text{m}^2$ y un porcentaje del orden de 15-20 % será el correspondiente al costo anual del capital invertido.

El costo anual de operación incluye:

- a).- Costo de energía del ventilador (C_v), para lo cual se calculará la potencia del ventilador y se multiplicará por el tiempo de trabajo y por el costo de electricidad ($\$/\text{KWH}$).

Potencia del ventilador: $HP = (V') (\Delta P) / (458)(0.5)$

$$1 \text{ HP} = 0.75 \text{ KWH.}$$

para obtener: $C_v = \$/\text{año.}$

b).- Costo de energía del bombeo del agua (C_b).

Incluyendo ya el factor de conversión para 350 días/año para obtener el valor en KW hr. se tiene:

$$\text{KWH/año} = 2.285 \times 10^{-2} (L) (Z)/n$$

$$C_b = (\text{KWH/año}) (\$/\text{KWH}) = \$/\text{año.}$$

Así pues el costo total anual será (C)

$$C = C_c + (C_v + C_b) (\$/\text{año})$$

11.- Estimación de la necesidad de agua de repuesto (gasto de W_R).

El gasto de agua de repuesto (W_R) es igual al gasto de agua evaporada (W_E) más el gasto de agua de purga (W_P) o de fondos más el gasto de agua arrastrada por el aire (W_A) es decir:

$$W_R = W_E + W_P + W_A$$

El agua de repuesto al sistema de enfriamiento que representaremos como W_R depende de tres factores principales:

a).- Agua de arrastre (W_A) que es provocada por la velocidad del aire aunque existan los eliminadores de niebla que en ciertas formas, son un filtro, la cantidad de agua eliminada por este medio es aproximadamente el 10% del agua de repuesto es decir $0.1 L = W_A$. Existe otro criterio que dice que el agua de arrastre depende del tipo de torre de enfriamiento, para el caso de una de doble flujo, es aproximadamente el 0.2% del total de agua recirculante, es decir $0.002 L = W_A$. Ambos criterios dan valores muy cercanos y pueden utilizarse indistintamente.

b).- Agua evaporada (W_E), en relación con la teoría del funcionamiento de la torre de enfriamiento.

Este gasto de agua eliminada por evaporación nos dice el enfriamiento

to logrado en el sistema por cada kilogramo de agua evaporada. - Aproximadamente 553 Kcal son disipados del agua a enfriar en el sistema.

Para el cálculo del gasto de agua evaporada se recurre a la siguiente ecuación:

$$W_E = G \left(\frac{1}{1 + h_1} \right) (h_2 - h_1)$$

ya que la diferencia entre la condición final-inicial del aire nos da la cantidad de agua que absorbió el aire ésta es precisamente la cantidad que el agua recirculante eliminó por evaporación.

c).- Agua de purga (W_p)

Se requiere de un estudio más a fondo de las condiciones reales de operación de la torre de enfriamiento (1) siendo este gasto aquél que permita, al sistema, un control adecuado de todos los materiales contaminantes provocados por:

Tipo de agua utilizada para el enfriamiento.

Análisis químico de la misma.

Concentración de sólidos disueltos.

Concentración de sólidos en suspensión.

Acidez o alcalinidad.

Condiciones del aire ambiente.

Concentración de gases corrosivos (CO_2 , H_2S , SO_2 , etc.)

Concentración de microorganismos.

Concentración de sólidos en suspensión (silicatos, carbón, etc.)

Material de construcción:

Del condensador o equipo en donde se utiliza el agua para enfriar.

De la Torre de enfriamiento.

De la Tubería

Del estanque de acumulación de agua fría.

Estos factores mencionados, tienen una gran influencia sobre el gasto de purga puesto que el hecho mismo de establecerse una evaporación en el sistema provoca un aumento gradual de las concentraciones de materiales en el agua, así como también por contacto con el aire adquiere otras sustancias químicas u orgánicas. Precisa-

te el gasto de purga nos permitirá un mayor número de ciclos del agua a enfriar en el sistema que se traduce en un máximo aprovechamiento de la misma.

El gasto de purga depende del número de ciclos de concentración y se calcula mediante el conocimiento del análisis del agua y las concentraciones máximas permitidas para evitar en lo que sea posible la corrosión, la incrustación y los problemas microbianos (29 y 1)

Las siguientes ecuaciones nos dan el valor del número de ciclos para tres aspectos diferentes (1)

$$A).- \text{ Por } Ca^{++}, x = \frac{800}{(\text{epm } Ca^{++}) (\text{epm } HCO_3) (\text{epm } SO_4)}$$

$$B).- \text{ Por sílice, } x = \frac{150 \text{ p. p. m. (máximo)}}{C_{Si} \text{ p.p.m. (en la muestra de agua)}}$$

$$C).- \text{ Por sílice y Magnesio, } x = \frac{36,000}{(\text{p.p.m. } Si) (\text{ p.p.m. Mg)}}$$

Los ciclos de concentración (x) conveniente será aquel que tenga el mínimo valor de los calculados en los puntos A), B), y C).

A partir del conocimiento de (x) ciclos de concentración se puede determinar ya el gasto de agua purga, con la siguiente ecuación:

$$W_p = \frac{W_E}{x - 1} - W_A$$

o también:

$$\% (\text{purga}) = \frac{\% (\text{evaporado})}{x - 1} - \% (\text{de arrastre})$$

el % se refiere al correspondiente del agua de recirculación total (L').

Otro criterio que puede utilizarse con una aproximación menor es el siguiente:

$$W_p = 0.54 \% L' \text{ para } 15^\circ F \text{ de Rango}$$

o las presentadas en el capítulo VIII

Finalmente el gasto de agua de repuesto será:

$$W_R = W_A + W_E + W_P$$

12.- Cálculo del intervalo de enfriamiento para cargas en exceso y en defecto 10% más o menos del L. de diseño.

En las operaciones de una industria, resulta que el gasto de agua real en la torre no siempre coincide con el gasto de agua de diseño de la torre. Se suele por consiguiente, dar por el fabricante la especificación de la efectividad que puede tener la torre, en otras palabras, su funcionamiento a gastos a exceso o en defecto; que significa:

Gasto en exceso, es aquél que corresponde al 10% arriba del diseño.

Gasto en defecto, es aquél que corresponde al 10% abajo del diseño.

Algunas compañías especifican el funcionamiento de la torre para un 20% en defecto o en exceso pero el valor de 10% es más usual. Debemos considerar, que la variación en el gasto no provoca ningún cambio apreciable en la caída de presión que tendrá el flujo de aire por tanto el gasto de aire permanece constante.

El valor L/G) diseño, cambiará a 1.1 L/G) exceso o a 0.9 L/G) defecto.

Si se trata de la misma localidad, es de esperarse que la humedad y la temperatura de bulbo húmedo del aire permanecen constantes. Puede pensarse que el Rango permanece constante.

El tamaño de la Torre, su arreglo, su ventilador, etc., son los mismos de las consideraciones anteriores, se deduce que el comportamiento de la Torre será aquél que fijen sus características, según figuras 22 y 24.

El procedimiento de cálculo para los excesos o defectos en gastos de agua se representan con un ejemplo en el capítulo VII.

La presentación de esta información por los fabricantes se hacía con la forma de gráficas de curvas de funcionamiento. Ver. figs. 55

Actualmente se presentan en la forma de curvas características como las de las figuras 40, 41.

CAPITULO V.- ESPECIFICACIONES GENERALES PARA EL PROYECTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

Al diseñar y construir una torre de enfriamiento (de madera); debe especificarse las siguientes normas:

ARREGLOS.

1.- Si se usa más de una celda, deberán ser divididas en dos hileras de celdas colocadas espalda con espalda o en línea y de tal manera arregladas que los ajustes y reparaciones puedan hacerse sin incurrir a un paro total de toda la torre. Deberán proveerse accesos en la base de cada compartimiento de la Torre.

2.- La Torre deberá tener una cubierta de doble hilera, y espacio de aire entre las cubiertas exterior e interior. Todas las cubiertas deberán ser de 25 mm (1 pulgada). Deberá tener una franja de tablas verticales para las juntas de la cubierta. El cuerpo de la torre también puede ser una cubierta simple de asbesto-cemento corrugado de 10 mm. (3/8 de pulgada). Atornillada a las columnas de la torre con pijas y arandelas de neopreno.

3.- El sistema de distribución del agua puede ser del tipo por gravedad, del tipo de baja presión, o del tipo de rociado hacia arriba o rociado hacia abajo, y consistirá de los tubos de distribución superiores, válvulas, boquillas, boquillas de rociado y por gargantas diseñados para la distribución del agua sobre el relleno de la torre.

4.- El relleno de la torre consistirá de un hogar de madera o establo de parrillas de material inerte arreglados para evitar la caída libre del agua, exponiéndose así constantemente nuevas superficies al aire a contra corriente o flujo cruzado.

5.- La torre deberá proveerse con eliminadores de arrastre, diseñados para disminuir al mínimo estas pérdidas cuando esté operando a su máxima carga.

6.- Se deberá suministrar un sistema completo de escaleras, pasillos y pasamanos colocados de tal manera que den un acceso completo y seguro al interior y al exterior de la torre.

7.- En el caso de torres de enfriamiento con varias celdas, el re-

capiente de captación y el sistema de alimentación de agua deberán estar divididos o tener las preparaciones necesarias para dividirlos de acuerdo al número de celdas, para facilitar las maniobras de mantenimiento y reparación tanto de la torre como del mismo recipiente.

REQUISITOS DE PROCESO

Los requisitos de proceso se darán en una hoja de datos por separado para cada torre de enfriamiento. Hoja de datos 1.

DISEÑO.

1.- Diseño Térmico.

1a.- La torre de enfriamiento deberá diseñarse con las condiciones específicas establecidas en la hoja de datos.

1b.- El diseño y la capacidad de la torre de enfriamiento deberá efectuarse con las condiciones psicrométricas específicas que se encuentran en el lugar de instalación de la planta.

2.- Diseño mecánico.

2a.- Ventiladores.

2a.1.- Los ventiladores deberán diseñarse para operar a una velocidad baja en el extremo del espá (3,670 m/min. Máximo) y estar balanceado dinámica y estáticamente. El nivel de ruido deberá ser limitado a 75 decibeles máximo, a 15 m. del ventilador.

2a.2.- Las aspas de los ventiladores serán de aleación de aluminio o de acero inoxidable y diseñadas para permitir variaciones de su paso en el campo. El paso de los ventiladores se fija en inclinaciones de las aspas entre los 10° y 16°. El máximo diámetro del ventilador será de 6 m. (cuando se empleen ventiladores mayores de 3 m. de diámetro, éstos deberán tener ocho o más aspas por ventilador con objeto de eliminar las pulsaciones).

2a.3.- Los ventiladores deberán balancearse en fábrica, y las aspas del ventilador deberán marcarse de tal manera que se identifiquen fácilmente con los cubos y cajas del ventilador.

2a.4.- Las chimeneas de los ventiladores deberán diseñarse para minimizar las pérdidas de entrada y corrientes parásitas, así como para minimizar la recirculación de aire caliente a la torre.

PROY. N° _____	HOJA DE DATOS PARA TORRES DE ENFRIAMIENTO	N° DE RES. _____ FECHA _____
NAMA _____		Nº NÚM. COTIZACIÓN: 1 Nº NÚM. COTIZACIÓN: 2
LOCALIZACIÓN _____		
FABRICANTE _____	MODELO _____	TIPO _____
CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACIÓN		
GASTO DE AGUA _____ m ³ /h	CARGA POR VIENTO _____ kg/m ²	
TEMPERATURA DEL AGUA, SALIDA _____ °C	FACTOR SISMICO _____	
TEMPERATURA DEL AGUA, ENTRADA _____ °C	PERDIDA POR ARRASTE, MAXIMO _____ %	
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO AMBIENTE °C	PERDIDA POR EVAPORACION, MAXIMO _____ %	
TEMPERATURA DE BULBO SECO AMBIENTE _____ °C	ALTURA ESTÁTICA DE BOMBEO _____ m	
PRECION BAROMETRICA _____ °C	POTENCIA CONSUMIDA EN VENTILADORES _____ kW	
VELOCIDAD DEL VENT. _____ °C		
DETALLES ESTRUCTURALES		
Nº DE CELDAS _____	DIMENSIONES INTERNAS DE LA FOSA _____ m	
Nº DE VENTILADORES POR CELDAS _____	TIPO DE ANCLAJE _____	
Nº TOTAL DE VENTILADORES _____	PESO DE EMBARQUE DE LA TORRE _____ kg	
DIMENSIONES DE CADA CELDA LARGOxANCHO _____ m	Nº DE ENTRADAS DE AGUA _____	
ALTURA DE LA TORRE (DE EL BORDE DE LA FOSA AL PISO DEL VENTILADOR) _____ m	DIAMETRO NOMINAL _____	
ALTURA CHIMENEA DEL VENTILADOR _____ m	ALTURA TOTAL DE LA TORRE _____ m	
DIMENSIONES DE LA TORRE LARGOxANCHO _____ m	PESO EN OPERACION _____	
MATERIALES DE CONSTRUCCION		
MEMBROS ESTRUCTURALES _____	CUBIERTAS _____	
EMPAQUE _____	SOPORTERIA _____	
ELIMINADORES DE ARRASTRE _____	ESPACIADORES _____	
CHIMENEAS DE LOS VENTILADORES _____	LUMBREAS _____	
DIVISIONES _____	PISO DEL VENTILADOR _____	
SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA _____	VERTICADORES E MODULAS _____	
ESCALERAS Y BARRANDALES _____	CONDICIONES ESTRUCTURALES _____	
TORNILLOS Y TUERCAS _____	CLAVOS _____	
BRANDELES _____	CONEXIONES DE LAS ANCLAS _____	
SOPORTERIA, EQUIPO MECANICO _____	PERNOS DE ANCLAJE _____	
FOSA _____	PRETRATAMIENTO DE MADERA _____	
TIPO DE TRATAMIENTO _____	PARTES TRATADAS _____	
ACCESORIOS DE LA FOSA _____		
EQUIPO AUXILIAR		
VENTILADOR		
CANTIDAD _____	TIPO _____	
FABRICANTE _____	DIAMETRO _____ m	
Nº DE ASPAS _____	VELOCIDAD DE GIRO _____ R.P.M.	
VELOCIDAD PREFERIDA _____ m/min	POTENCIA AL FRENO _____ kW	
MATERIAL DE ASPAS _____	MATERIAL DEL CUBO _____	
PRECION ESTÁTICA _____ mmHg	PRECION DE VELOCIDAD _____ mmHg	
GASTO DE AIRE/VENT. _____ m ³ /h	EFICIENCIA ESTÁTICA _____ %	
REDUCTORES DE VELOCIDAD		
CANTIDAD _____	TIPO _____	
MODELO _____	FABRICANTE _____	
RELACION DE REDUCCION _____	CLASIFICACION MECANICA AGMA _____	
FACTUR DE SERVICIO _____	Nº DE REDUCCIONES _____	
TRANSMISIONES DE POTENCIA		
CANTIDAD _____	MODELO _____	
MODELO _____	FABRICANTE _____	
POTENCIA NOMINAL _____ m.p.	MATERIAL DE LA TRANSMISION _____	
MATERIAL DE ACOPLAMIENTO _____		
UNIDADES MOTRICES		
CANTIDAD _____	CLASE _____	
TIPO _____	FABRICANTE _____	
VELOCIDAD DE GIRO _____ R.P.M.	TENSION/Nº DE FASES / FRECUENCIA _____	
POTENCIA NOMINAL _____ m.p.		

La altura de la chimenea deberá cumplir con los requisitos mínimos de seguridad.

2a.5.- Las aspas, cubos y cajas del ventilador deberán diseñarse para prevenir la formación de hielo en cualquiera de dichas partes en época de frío.

2b.- Unidades de transmisión de potencia.

2b.1.- Los engranes serán preferentemente del tipo espiral y deberán diseñarse de acuerdo con AGMA. Clase 1 con un factor de servicio de 2.0. Se deberá instalar un interruptor de vibración que abrirá cuando ésta sea excesiva.

El voltaje para el interruptor deberá ser el mismo que para el motor hasta 440 volts, arriba de esta tensión deberá usarse un circuito auxiliar a tensión reducida.

2b.2.- La línea de aceite deberá estar por el lado de afuera del anillo del ventilador con un indicador de nivel. El tubo usado deberá ser de acero inoxidable tipo AISI 304. Cada unidad motriz y reductor de engranes deberá suministrarse con un cople flexible.

2b.3.- La transmisión por banda podrá usarse en los límites máximos señalados abajo, para la potencia transmitida y diámetro de las aspas del ventilador. Las bandas V serán del tipo de conducción estática. Deberán usarse unidades de engrane cuando se excedan los siguientes valores:

Tipo de Montaje.	Transmisión de potencia máxima (HP)	Máximo diámetro del aspa (m).
Suspendido.	25	3.65
Superior o de anillo.	20	3.05

2c.- Unidades motrices.

2c.1.- Las unidades motrices pueden ser: motores eléctricos, turbinas de vapor, turbinas de gas o algún otro tipo.

Los motores eléctricos deberán ser a prueba de humedad.

2d.- Estructuras.

2d.1.- Las estructuras de madera deberán diseñarse empleando el esfuerzo permisible de diseño para la madera de corazón elegida.

El esfuerzo de diseño se reducirá por los siguientes factores, que -

corrigen el esfuerzo cuando la madera está totalmente sumergida en agua: La compresión paralela al grano se reduce 10 por ciento. - La compresión perpendicular al grano se reduce un tercio. El Módulo de Young se reduce un onceavo.

2d.2.- Los esfuerzos unitarios permisibles de la madera se han asignado sobre la base de un período de carga de 10 años. Como el comportamiento y resistencia de la madera dependen del tiempo, de bido a sus propiedades reológicas, se deberán considerar factores -- que incrementen los esfuerzos nominales permisibles de diseño, para períodos de carga diferentes a 10 años, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tipo de Carga.	Tiempo continuo de aplicación de la carga (Máximo).	Incremento del esfuerzo permisible - %
Nieve	2 meses.	15
Nieve	7 días.	25
Viento o Sismo	- ----	33 1/3
Impacto	- ----	100

Cuando algún miembro estructural se vea sometido a un esfuerzo -- equivalente al esfuerzo máximo de diseño, en forma continua por -- un período mayor de 10 años, los esfuerzos permisibles se deberán -- disminuir en un 10%.

2d.3.- Las cargas de diseño para la armadura de la torre de enfriamiento, cimentaciones y depósito de agua, deberán ser los pesos de operación en húmedo de la torre, incluyendo todo el equipo auxiliar (sistema de distribución de agua, ventiladores, unidades motrices y sistemas de transmisión de potencia) y las cargas vivas en plataformas y pasillos.

2d.4.- Se deberán considerar los siguientes tipos de amarre, de acuerdo con el boletín STD-119 "Especificación de amarres de Madera para aplicación en Torres de enfriamiento Industriales", (Timber - Fastener Specifications for Application in Industrial Water-Cooling Towers) del CTI.

- I. Por medio de elementos de madera.
- II. Por medio de tornillos, tuercas y arandelas tipo comercial.
- III. Por medio de placas en forma de anillo.

2d.5.- Todos los esfuerzos deberán ser corregidos por temperatura - empleando la ecuación de predicción de los experimentos de Kollman, como sigue:

$$S_2 = S_1 - (37.35) G_o (T_2 - T_1) (1 - 0.0756 M/100)$$

S_1 = Esfuerzo a la temperatura T_1 (lb/pulg. cuad).

S_2 = Esfuerzo a la temperatura T_2 (lb/pulg. cuad).

G_o = Densidad relativa de la madera, base seca.

T_1 y T_2 = Temperatura ($^{\circ}$ F).

M = Contenido de humedad de la madera.

Con esta ecuación se obtienen resultados equivalentes a los obtenidos por el método empleado por el Departamento de Agricultura de los E.U.A. Laboratorio de Productos Forestales" (U.S. Department of Agriculture Forest Products Laboratory).

2d.6.- Los ventiladores unidades de transmisión de potencia y unidades motrices deberán montarse sobre una base metálica para así - asegurar la conservación de la alineación y el mínimo de vibración. Se deberán proveer las instalaciones necesarias para que las chumaceras, engrane y motores puedan lubricarse con el equipo en operación y sin riesgo para el personal.

2d.7.- No deberán existir fugas o derrames por los lados o extremos de la torre.

2e.- Materiales.

2e.1.- Todas las maderas usadas en la construcción de la torre deberán ser de madera de corazón de esfuerzo graduado y de la calidad más fina.

2e.2.- Puesto que los grados de esfuerzo y métodos de clasificación varían por las diferentes medidas y usos proyectados, los requisitos - de resistencia mínima para la madera, se especificarán de acuerdo - con lo siguiente:

51 mm. de espesor.	Kg/cm ²
Fibra extrema en dobleces y tensión paralela al grano.	123.0
Esfuerzo cortante horizontal.	7.4
Compresión perpendicular al grano.	32.0
Compresión paralela al grano.	109.0
Módulo de elasticidad.	123,700

76 mm. y 102 mm. de espesor.

Fibra extrema en dobleces y tensión paralela al grano.	84.3
Esfuerzo cortante horizontal	7.4
Compresión perpendicular al grano.	27.4
Compresión paralela al grano.	63.3
Módulo de elasticidad.	123,700

2e.3.- Tratamiento de la madera (25). Puesto que la mayoría de las maderas sufren deterioro cuando son expuestas a condiciones adversas (humedad, temperatura y hongos), es necesario un tratamiento previo, para conferirles resistencia adecuada a dichas condiciones. Principalmente los agentes biológicos (hongos, bacterias) son los causantes del deterioro prematuro de las maderas y en consecuencia la mayoría de los métodos de protección están encaminados a combatir estos agentes específicos.

Para combatir la acción biológica de los hongos destructores de la madera se dispone de varias sustancias:

- I. De origen orgánico. Como la creosota y el pentaclorofenol.
- II. De origen inorgánico. Cromo-cloruro de zinc, cromato cúprico ("Celcure"), arseniato de cobre amoniacal ("Chemunite"), arseniato de cobre ("Erda lith" o Sal Verde), cromo arseniato de zinc (Sal de Boliden), etc.

Las sales minerales son más eficaces, por su mayor penetración.

SISTEMAS DE CONTROL.

El tipo de sistema de control deberá especificarse de acuerdo con -

una serie de reglas fijas, dependiendo del siguiente criterio:

1.- No se requiere control del proceso:

a).- Los ventiladores deberán ser manualmente ajustables.

b).- Los motores deberán ser de una velocidad.

2.- Control de proceso limitado:

a).- Los ventiladores deberán ser manualmente ajustables.

b).- Por lo menos un motor deberá ser de dos velocidades.

3.- Se requiere cuidadoso control de proceso.

a).- Pueden usarse ventiladores autovariables, del tipo baja histéresis.

b).- Como alternativa, se podrían usar lumbreras en los lados de la torre para controlar el flujo de aire de enfriamiento a través de la torre. Las lumbreras pueden ser operadas manual o automáticamente.

Una vez que la torre ha sido diseñada, construida e instalada; es necesario comprobar que su funcionamiento es el mismo que el fabricante garantiza. En la actualidad no se tiene ningún lineamiento nacional sobre las normas que debe cumplir dicha prueba, por lo que se utilizan las que presenta el Instituto de Torres de enfriamiento.

INSPECCION Y PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO (2).

Todos los materiales y trabajo estarán sujetos a inspección por parte del comprador.

La inspección o pruebas atestiguadas de ninguna manera relevan al proveedor de garantizar los materiales, aparatos y mano de obra.

Código para pruebas térmicas de torres de enfriamiento. Las pruebas comprenden las siguientes observaciones y determinaciones:

1.- Condiciones del equipo. En el momento de la prueba el equipo deberá estar en buenas condiciones de operación con atención a lo siguiente:

El sistema de distribución del agua deberá estar limpio y libre de materiales extraños que le impidan la circulación normal del agua.

El equipo mecánico deberá estar en buenas condiciones, con los ventiladores ajustados para una rotación correcta y la carga de potencia dentro de las especificaciones.

Los eliminadores de arrastre deberán estar limpios y libres de algas o algún otro depósito que impida el flujo normal del aire.

El empaque de la torre deberá estar libre de materiales extraños, tales como aceite, gomas, incrustaciones o algas.

El nivel de agua en el depósito de captación deberá estar en un punto normal, manteniéndose en esas condiciones durante la prueba de la torre.

2.- Condiciones de operación. La prueba se deberá realizar de acuerdo a las siguientes restricciones:

La medición de la temperatura de bulbo húmedo deberá realizarse precisamente a la entrada de la torre mediante aparatos con sensibilidad de 0.138°C mínimo, y de acuerdo al Código.

La velocidad media del viento no deberá exceder a los 16.1 Km/hr

La velocidad deberá medirse por medio de un anemómetro y efectuarse en un punto libre cercano a la torre, en dirección al viento. El anemómetro deberá localizarse a una altura de 1.5 m. sobre el nivel del recipiente de agua.

3.- Serán permitidas las siguientes desviaciones, con respecto a las condiciones de diseño de la torre:

La temperatura de bulbo húmedo no podrá ser 1.66°C mayor a 3.88°C menor que el valor de diseño.

La carga térmica podrá tener una variación de 20% con respecto al valor de diseño.

La diferencia de temperaturas del agua podrá tener una variación de = 20% con respecto al valor de diseño.

El gasto de agua a la torre podrá tener una variación de = 10% con respecto al valor de diseño. En aquellos casos en que la torre tenga que operar a baja capacidad, es conveniente poner fuera de servicio una o más celdas, y mantener el gasto de agua dentro de los límites indicados.

El agua circulante no deberá contener una cantidad de sólidos totales mayor a $5,000 \text{ ppm}$ determinados por evaporación y no más de 10 ppm de aceites o gomas.

El agua se deberá distribuir a todas las celdas y a las partes internas de la columna, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

4.- Constancia de las condiciones durante la prueba de la torre.

Durante la prueba de la torre, el gasto de agua, la carga térmica y la diferencia de temperaturas del agua no deberán sufrir variaciones mayores a un 5%. La temperatura de bulbo húmedo no deberá variar con una rapidez mayor de 1.1° por hora.

NOTA: Estos puntos reflejan las dificultades que se tienen a veces para mantener constantes las condiciones de la prueba, en particular la temperatura de bulbo húmedo sobre la cual no se tiene ningún control.

5.- Duración de la prueba y número de lecturas.

Una vez que se han alcanzado condiciones estables la duración de la prueba será de una hora.

Durante ese tiempo se deberá tomar el siguiente número de lecturas:

MEDICION.	Número de lecturas - por hora.
Temperatura de bulbo húmedo (tbh)	6
Temperatura del agua fría (T_2)	6
Temperatura del agua caliente (T_1)	6
Gasto de agua de circulación (L)	3
Carga de bombeo (HP)	3
Potencia de los motores de los ventiladores (HP)	1
Velocidad del viento	6
Temperatura agua de repuesto	2
Gasto de repuesto	2
Temperatura agua de descarga	2
Gasto agua de descarga	2

6.- Instrumentos y Mediciones.

Mediciones de gasto de agua:

Podrá hacerse por cualquiera de los siguientes caminos:

Tubo Pitot, Venturi, Orificio, Vertedor y medición volumétrica.

La exactitud deberá ser de $\pm 1.25\%$, la localización del punto de medición dependerá de la naturaleza de la instalación.

En caso de utilizar un tubo Pitot se va a tomar dos juegos completos de lecturas de toda la sección uno antes y otro después de la prueba.

Medición de la temperatura del agua:

La medición se hace con método aceptado por la ASME, con termómetros de resistencia o termómetros de mercurio, los termómetros deben indicar o registrar graduaciones de 0.138°C . El elemento sensitivo del termómetro deberá localizarse cuidadosamente en donde el agua esté completamente mezclada.

La lectura del agua caliente se efectuará en el cabezal de distribución antes del primer tubo elevador.

La temperatura del agua fría deberá medirse preferentemente en la descarga de la bomba de agua de circulación, tomando en cuenta la elevación de temperatura del agua debido a las pérdidas de energía.

La temperatura del agua de repuesto se toma en el punto en que dicha agua entra al sistema.

La temperatura del agua de purga se mide en el punto en que dicha agua deja el sistema

Medición de la temperatura de bulbo húmedo, del aire a la entrada de la Torre:

Debe medirse con psicrómetros de aspiración mecánica.

Los instrumentos podrán indicar o registrar graduaciones de 0.138°C .

El elemento sensitivo debe "ver" únicamente superficies que estén aproximadamente a la temperatura del bulbo seco evitándose que quede expuesto a los rayos directos del sol o a cualquier otra fuente de calor mediante la velocidad del aire sobre el elemento sensitivo deberá mantenerse entre 290 y 320 m/min. La mecha del termómetro se humedecerá mediante adición de agua destilada de temperatura aproximadamente igual a la del bulbo húmedo por medir.

Para esta medición los psicrómetros localizados a 1.5 m. arriba del borde del tanque inferior y a una distancia de cuando más 1.2 m. de las entradas de aire a la torre. Se colocan 3 estaciones de medición igualmente espaciadas a lo largo de cada lado de la entrada de aire de la torre.

Velocidad del viento:

La medición de la velocidad del viento se efectuará con un anemómetro del tipo de copa rotatoria. Se hace en un lugar libre de obstrucciones; cerca de la torre, del lado donde sopla el viento y

a una altura de 5 pies sobre el borde del tanque de la torre.

Carga de bombeo de la torre.- Será igual a la suma de la presión, medida al centro de un tubo elevador más la distancia vertical entre el punto de medición sobre el nivel del agua.

Potencia consumida por los motores de los ventiladores.

En el caso de motores eléctricos se determinará la medición de voltaje, la corriente y el factor de potencia o directamente con un Wattmetro.

Análisis del agua.

Una muestra de agua se tomará y se analizará.

REPORTE DE RESULTADOS.

Este reporte debe tener resumidos todos los datos que necesite o que exige el procedimiento de prueba, además debe incluir una descripción de la Torre de enfriamiento; sus dimensiones su orientación, diagramas de instalación, descripción de los puntos donde se mide el gasto de agua, la temperatura de agua y el aire, etc. Debe indicarse claramente si se encuentra en la cercanía de la Torre alguna construcción o equipo que interfieran u obstruyan de alguna forma el buen funcionamiento de la torre, con mayor razón si se trata de equipos que generan calor o vapor en la vecindad de la Torre. Existen hojas de datos para reportar los resultados según forma A, B, C, D, y E del A T P - 106 del instituto de Torres de Enfriamiento que se preparan por Tríptico. La información completa de la prueba se entregará: al comprador, al fabricante y al Instituto de Torres de Enfriamiento.

La hoja de datos, promedio y el funcionamiento de la Torre no obtenida se preparará por el observador del I.T.E. en los 10 días siguientes al día de la prueba y la entregará al comprador y al fabricante.

EVALUACION DE RESULTADOS.

a).- OBJETIVO Dar un método uniforme que permite referir los datos de prueba a las condiciones de diseño para determinar la capa-

cidad de la Torre de enfriamiento.

b).- INFORMACION PROPORCIONADA POR EL FABRICANTE.

Gráfica del funcionamiento de la Torre de los valores característicos de KaV/L vs L/G en una amplitud mínima de $\pm 10\%$ el $\bar{L/G}$ de diseño.

La curva debe corresponder a la ecuación de la forma $KaV/L = C (L/G)^{-0.6}$

Dicha gráfica debe tener también la curva de acercamiento de diseño, además de indicar claramente la temperatura de bulbo húmedo y Rango, de diseño.

c).- DETERMINACION DE L/G DE PRUEBA.

Con los datos de gasto de agua promedio (L_o) y la potencia del ventilador en la prueba (HP_o) sustituyendo en la siguiente ecuación:

$$L/G)_{\text{prueba}} = (L_o/L_{\text{diseño}})(HP/HP_o) (L/G)_{\text{diseño}}.$$

d).- DETERMINACION DEL VALOR KaV/L , correspondiente a la prueba:

El cálculo puede hacerse según la ecuación siguiente:

$$KaV/L = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{h^2 - h}$$

resolviendo la integral numéricamente o gráficamente, si se disponen de gráficas KaV/L vs L/G , para diferentes acercamientos, diferentes temperaturas de bulbo húmedo y rangos.

En el valor de L/G y el acercamiento de prueba, en la gráfica -- lee el valor de la ordenada correspondiente, es decir KaV/L de -- operación.

e).- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

En la gráfica de la curva característica de la Torre debe localizarse el punto (KaV/L , L/G) de prueba; desde ese punto se traza una línea recta paralela a la curva, ver figura 41.- El punto de cruce entre esta línea llamada de operación con la línea del acerca-

miento de diseño dará el valor del L/G que produciría el acercamiento de diseño a la temperatura de bulbo húmedo de diseño. La capacidad en % se obtendrá de la siguiente ecuación.

$$\frac{\text{L/G modificado de la operación, al acercamiento de diseño.}}{\text{L/G diseño.}} \times 100 = \% \text{ capacidad.}$$

MARCAS.

Cada partida diferente deberá proveerse con una placa de identificación de acero inoxidable mostrando el nombre del fabricante, número de equipo y servicio, presión y temperatura de diseño y materiales de construcción. Cada pieza de equipo deberá marcarse por separado con su número de partida y número de pieza, para permitir fácilmente su identificación en el campo durante su instalación.

GARANTIAS.

El fabricante deberá garantizar el comportamiento de la torre a las condiciones de diseño y dentro de los límites indicados por la prueba de funcionamiento (2) y (6).

El fabricante deberá garantizar la fabricación, materiales y mano de obra de todo el equipo suministrado por él por un período mínimo de un año a partir de su puesta en operación .

PREPARACION DEL EMBARQUE.

La torre totalmente desarmada y marcada deberá empacarse en la forma más adecuada para que pueda resistir un almacenamiento a la intemperie durante un año.

Todos los equipos auxiliares deberán desarmarse, cuando el tamaño así lo requiera y empacarse para soportar un almacenamiento a la intemperie durante un año.

INFORMACION GENERAL.

Antes de colocada la orden de compra.

- 1a.- Dibujos con dimensiones generales con propósito de localización.
- 1b.- Información complementaria de las hojas de datos.
- 1c.- Detalles de construcción de la torre.

- 1c.1.- Espaciamiento longitudinal y transversal entre columnas.
- 1c.2.- Tipo de anillo del ventilador.
- 1c.3.- Materiales de construcción de la torre, el anillo y chimenea del ventilador.
- 1c.4.- Número y tipo de accesos a la torre.
- 1c.5.- Drenajes y derivaciones.
- 1d.- Detalles del ventilador.
 - 1d.1.- Material de construcción.
 - 1d.2.- Velocidad y potencia consumida.
 - 1d.3.- Nivel de ruido.
 - 1d.4.- Angulo del paso del ventilador.
 - 1d.5.- Tipo de control del paso del ventilador, si se requiere.
- 1e.- Unidad Motriz.
 - 1e.1.- Protección de la armadura.
 - 1e.2.- Velocidad y potencia de la unidad.
- 1f.- Comportamiento.
 - 1f.1.- Area mojada proyectada (m^2)
 - 1f.2.- Masa velocidad del aire y del agua por celda ($kg/hr-m^2$)
 - 1f.3.- Volumen total de enfriamiento.
 - 1f.4.- Velocidad y pérdidas de presión en las lumbreras (m/seg) ($cm H_2O$).
 - 1f.5.- Temperatura y humedad relativa del aire que sale de la Torre. ($^{\circ}C$) (%).
 - 1f.6.- Recirculación de aire a la torre (%).
- 1g.- Información adicional solicitada.

Después de colocada la orden de compra.

- 2a.- Dibujos de arreglo general, planta y elevaciones.
- 2b.- Diagrama de cargas y localización de anclas.
- 2c.- Diagrama de montaje
- 2d.- Dibujos de arreglo general de los equipos auxiliares de la Torre.
- 2e.- Diagrama unifilar del sistema de control de los ventiladores.
- 2f.- Curvas de comportamiento de ventiladores de torre de enfriamiento.
- 2g.- Información adicional solicitada en la orden de compra.

CAPITULO VI.- FACTORES QUE AFECTAN LOS CALCULOS EN TORRES DE ENFRIAMIENTO.

Se han realizado cálculos para el diseño, usando gráficas y consideraciones empíricas (21), (27), (31), pero en ellas no se menciona la limitación que tiene su uso, para la existencia de dicho material se ha usado la experiencia de muchos años que es difícil - asimilar o profundizar en la misma sin embargo se discutirán en seguida algunos aspectos de importancia que limitan el diseño de las torres de enfriamiento:

- 1.- El sistema de distribución de agua (31)
- 2.- El efecto de la densidad del aire (31) y (8)
- 3.- La concentración del agua en la Torre.
- 4.- Potencia de ventilador (31)
- 5.- La temperatura del agua caliente (31)
- 6.- La velocidad del aire.
- 7.- La altitud del lugar (8)
- 8.- La recirculación (5)
- 9.- La prueba de funcionamiento (7)

SISTEMA DE DISTRIBUCION DEL AGUA.

Como se mencionó anteriormente la ecuación:

$KaV/L = 0.07 + A N (L/G)^{-n}$, que representa la capacidad de la torre según sus características generales, el valor 0.07 se refiere a la contribución del sistema de distribución por gravedad. Es de esperarse que dicho valor se modifique según el tipo de sistema de distribución del agua, por ejemplo si se trata de un sistema de toberas que requiere de una presión de 3.4 a 4.8 Kg/cm² manométricos, el valor de 0.07 puede modificarse hasta 0.25.

Normalmente el sistema usado es por gravedad porque el aumento - que sufre el valor de KaV/L con el sistema de toberas no es suficientemente atractivo como para aumentar la cabeza de bombeo y provocar un costo del mismo mucho más elevado.

EFFECTO DE LA DENSIDAD DEL AIRE.

Las curvas de caída de presión (fig. 23, 25, 26, 27 y 28) se han

calculado para condiciones normales es decir 1.2 Kg/m^3 sin embargo la evaporación del agua en la Torre reduce la densidad del aire hasta un valor de 1.08 Kg/m^3 y con cierta razón la caída de presión en los eliminadores de rocío están sobre la base de esta densidad. Finalmente la caída de presión en el empaque se basa en una densidad promedio entre la entrada y la salida de la Torre, es decir 1.14 Kg/m^3 .

La realidad es que no todas las Torres que se diseñan se encuentran a nivel del mar pues se encuentran a diferentes altitudes y esta altitud provocó una densidad diferente que provoca ciertos errores en el uso de las gráficas de caída de presión.

El recíproco de la densidad o sea el volumen húmedo V_H se encuentra graficado para diferentes temperaturas de bulbo húmedo y para diferentes alturas sobre el nivel del mar en la Fig. (8).

CONCENTRACION DE AGUA.

La capacidad de la Torre está relacionada con el valor de L/G y por tanto lo está con la masa velocidad del agua que tendría las unidades de $\text{Kg/m}^2 \text{ hr.}$, mediante pruebas experimentales se ha comprobado que un gasto del orden de $2,440 \text{ Kg/hr m}^2$ ya no funciona para el cálculo de KaV/L de la ecuación:

$$Ka V/L = 0.07 + A N (L/G)^{-n}$$

De lo anterior se induce que la Torre no debe tener una masa velocidad tan pequeña. Por otro lado resulta que una masa velocidad del orden de $14,600 \text{ Kg/hr m}^2$ o más, provoca una caída de presión excesiva y por tanto una potencia del ventilador muy grande, de aquí que estas masas velocidades del agua nunca se manejan en Torres de enfriamiento.

POTENCIA DEL VENTILADOR.

Existen dos limitaciones al respecto:

- La selección de la Torre más económica no debe necesitar ni menos de $.537 \text{ HP/m}^2$ ni más de 0.859 HP/m^2
- Potencias mayores de 75 HP para un ventilador no se usa comercialmente por problemas de su soporte, vibración y ruido.

TEMPERATURA DEL AGUA CALIENTE.

El funcionamiento de las Torres pueden determinarse de las características del empaque (Fig. 22 y 24) estas gráficas fueron determina-

das a una temperatura del agua caliente de 48.8 °C, estos datos - se encuentran reportados en (18) quienes también han comprobado - que un incremento en la temperatura del agua caliente da como re - sultado una reducción en el valor de KaV/L que se obtendría aun - que todos los demás factores permanezcan invariables.

Se ha comprobado que KaV/L se reduce en un 2% por cada 5.55°C. que se incremente la tem. del agua caliente. Por lo anterior se - concluye que la variación que sufre el valor KVa/L no es muy sig - nificativo cuando la temperatura no es mayor de 65.5°C y dichos - datos son bastante aproximados.

No debe olvidarse que las torres de madera no deben usarse para - temperaturas de 65.5°C o más ya que es muy acelerado el deterio - ro de la madera. La temperatura conveniente es de 45°C o menos.

VELOCIDAD DEL AIRE.

Se ha buscado algún límite de economía para la masa velocidad del aire en $Kg/hr.m^2$ y se dice que un valor cercano a 9,700 $Kg/hr.m^2$ provoca un arrastre de agua que ya no es conveniente, puesto que - la caída de presión en los accesorios es más grande que 5 cabezas - de velocidad.

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

Las gráficas de KaV/L vs L/G han sido construidas sobre la base - del nivel del mar para los datos de entalpia-Temperatura. Estos da - tos requieren una modificación puesto que para una gran altitud co - mo ejemplo el D. F., se tiene grandes diferencias en cuanto al -- KaV/L requerida para un funcionamiento dado que es menor al que se necesitaría para las condiciones del nivel del mar. Al mismo -- tiempo existe una reducción de la presión total (586 mm Hg) y la - densidad del aire disminuye, aumentado el volumen específico del - aire.

El resultado neto de estas variaciones dan como respuesta que una - Torre diseñada para un lugar como el D. F. (de gran altitud) con - la información a nivel del mar, sea muy conservadora en tamaño y lo potencial del ventilador, es decir sobrada. La carga térmica -- que podría manejar puede ser del orden del 70% más que al nivel - del mar. Existe un método sencillo para la conversión de los datos de una altitud dada a su equivalente al nivel del mar de tal mane - ra de poder utilizar toda la información necesaria para el diseño -

y que tenga como base el nivel del mar. En resumen el procedimiento consiste en lo siguiente (8)

- a).- Mediante el uso de la figura 47 encontraremos la temperatura de bulbo húmedo modificado de diseño al nivel del mar.
- b).- Usar la fig. 47 para encontrar la temperatura media del agua que existiría al nivel del mar.
- c).- En función del rango de diseño, calcular la nueva temperatura del agua fría y del agua caliente.
- d).- Encontrar L/G basado en las condiciones modificadas.
- e).- Determinar la entalpía del aire a la salida según el balance de calor $h_1 = (L/G) (R) + h_2$
- f).- Encontrar la temperatura del aire a la salida con la fig. (48)
- g).- Encontrar el volumen específico del aire a la salida de la -- fig. (49).
- h).- Calcular el volumen de aire utilizando el volumen específico correcto.
- i).- Modificar la presión estática para el cálculo de los H_p del ventilador, corrigiendo según la densidad del aire.

Según datos reportados (8) el error que se tiene al calcular el valor de KaV/L usado el método anterior, respecto al calculado por el método de integración gráfica es:

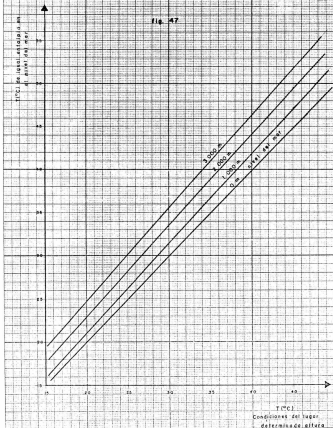
Para una altura sobre el nivel del mar de 2,440 m.

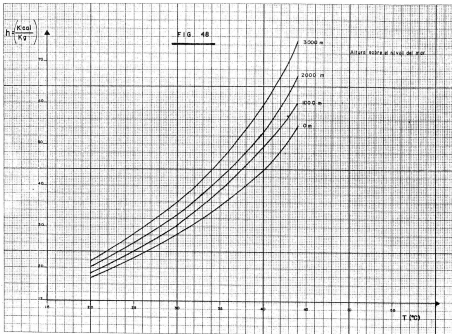
0.1 %	para $t_{bh} = 60$	$A = 20$	$R = 20$
3 %	para $t_{bh} = 70$	$A = 10$	$R = 20$
7 %	para $t_{bh} = 80$	$A = 5$	$R = 40$

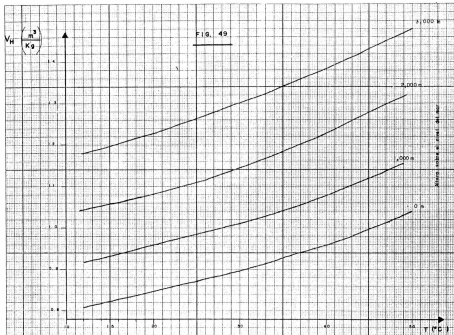
RECIRCULACION.

Cuando se diseña una torre se utiliza una temperatura de bulbo húmedo de diseño según las características del lugar, sin embargo durante la operación inicial de una Torre, la temperatura de bulbo húmedo del aire, será el promedio de las lecturas que se hagan en ambos lados de la Torre. Las condiciones ambiente del aire son adulteradas por una parte del aire saturado que sale de la Torre y por tanto el aire a la entrada no tiene las mismas características que el aire ambiente (fig. 21) es de esperarse que la Tempe

fig. 47







ratura de bulbo húmedo sea mayor al ambiente y por tanto la capacidad de la Torre ha disminuido provocando una temperatura de -- agua, agua fría mayor a la que se pudiera esperar según el diseño. Investigaciones al respecto, reportadas, muestran (31) el efecto de la recirculación sobre variables del enfriamiento, (figs. 50-51).

Si se deseara mantener un funcionamiento determinado de la Torre sería necesario aumentar el gasto de aire, lo cual implica una mayor potencia del ventilador.

Si la recirculación corresponde al 10% el aumento del gasto del aire sería de un 20%, que implicaría un aumento de más del 50% -- en la potencia del ventilador (31)

Inicialmente se pensó que la recirculación en Torres de enfriamiento provenía de muchos efectos como los siguientes:

Velocidad y dirección del viento.

Rango,

Acercamiento.

Altura y longitud de la Torre.

Estudios más recientes (5) comprueban que el principal de éstos factores para recirculaciones máximas es la longitud de la Torre, ---- (fig. 52), aunque los demás no dejan de tener un cierto efecto, - principalmente en Torres pequeñas.

En la búsqueda de información al respecto y de aplicación práctica (5) se han relacionado las siguientes ecuaciones:

$$h_1 - h_2 = L/G \quad (R)$$

$$R_c = \frac{h_2 - h_a}{h_1 - h_a} \times 100$$

además con la consideración de que la torre tiene como máximo -- una longitud de 19.3 m. o de otra manera su longitud es igual a - su ancho se ha concretado que la variación de entalpía en el aire $h_2 - h_a$ es proporcional al gasto de agua, al rango y a la relación L/G . Esta diferencia de entalpías a su vez es proporcional a la diferencia en temperaturas de bulbo húmedo.

Como conclusión al respecto se llega a la elaboración de una gráfica que relaciona el gasto de agua vs. la diferencia o aumento que sufrirá la temperatura de bulbo húmedo (fig. 53) calculada para un $R = 11.5^\circ\text{C}$ y un $A = 5.55^\circ\text{C}$ obsérvese en dicha gráfica que para -

FIG. 50

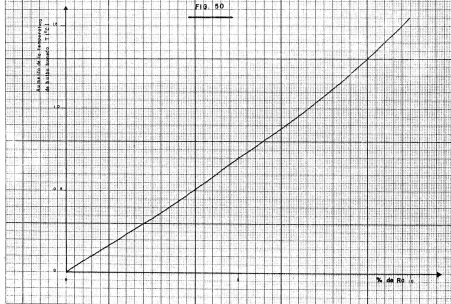


FIG. 51

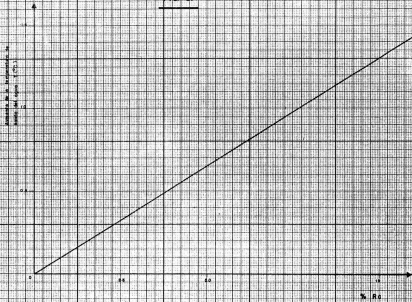


FIG. 52

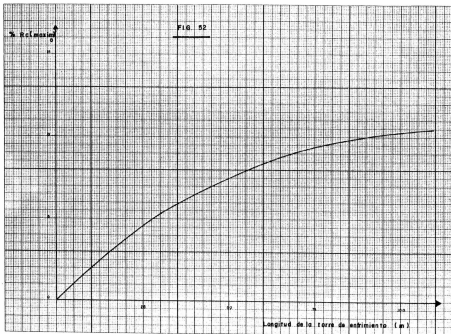
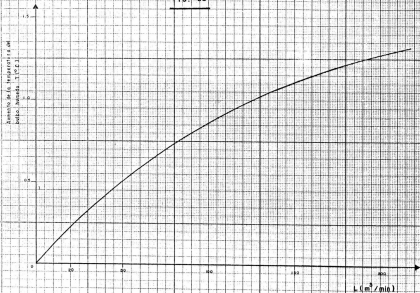


FIG. 53



gastos de agua menores a 56,000 l/min el aumento de temperatura de bulbo húmedo ambiente es solamente de 0.6°C, sin embargo es to corresponde a una recirculación del 5% aproximadamente que tiene un gran efecto en la eficiencia de la torre.

Con la finalidad de hacer estimaciones más precisas del efecto de la recirculación, se presenta una gráfica (5) de factores Acercamiento-Rango (f A,R) vs. Acercamiento para diferentes Rangos que modifican el aumento de temperatura.

Ejemplo: Si el agua es su gasto de 50,000 l/min y la temperatura de bulbo húmedo del 5% del lugar es de 16°C, si la Torre se diseña para un R = 12°C y un A = 8°C; la temperatura de bulbo húmedo para el diseño debe ser:

a).- Con gasto de agua, (fig. 53) se obtiene diferencia de temperatura de 0.5°C.

b).- De gráfica 53-A el efecto de corrección al aumento de temperatura es de 1.2.

c).- Diferencia total = (0.5°C) (1.2) = 0.6°C.

d).- Temperatura de bulbo húmedo de diseño; 16 + 0.6°C = 16.6°C

El considerar la temperatura de bulbo húmedo de 16.6°C en lugar de 16°C permite que la operación de la Torre cumpla precisamente con la capacidad esperada.

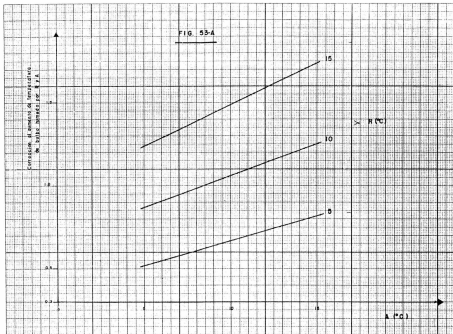
Recomendaciones para minimizar la recirculación.

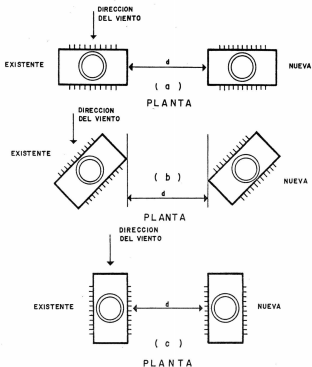
a).- Las Torres menores de 250 ft de longitud deben colocarse paralelamente a la dirección del viento.

b).- Las Torres mayores de 250 ft deben colocarse perpendicularmente a la dirección del viento.

Para el caso de que la planta ya tenga una Torre de enfriamiento, ésta y su posición, deben considerarse para la posición que tendrá la Torre nueva según la siguiente recomendación: que tiene por objetivo disminuir al máximo la recirculación.

1.- Cuando la Torre se encuentra perpendicular a la dirección -- del viento, la nueva Torre debe colocarse a una distancia igual a la Longitud de la Torre más grande, y se debe colocar alineada a la Torre vieja (fig. 54 a).





d = distancia igual o aproximada a longitud de la torre

**DISTANCIAS MINIMAS RECOMENDABLES ENTRE TORRES
EXISTENTES Y NUEVAS**

FIG. 54

2.- Cuando la Torre se encuentra paralela a la dirección del viento, la nueva torre debe colocarse a una distancia igual a la longitud de la Torre más grande (54 b)

3.- Cuando la Torre se encuentra a 45° de la dirección del viento, la nueva torre debe colocarse a una distancia igual a la longitud de la torre más grande, medida en forma normal (fig. 54 c).

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO.

Como se dijo en el capítulo de especificaciones generales debe hacerse una evaluación precisa de los datos obtenidos durante la prueba, sin embargo en ocasiones no se dispone de la información necesaria para hacerla como lo plantean las normas (2). Entonces es necesario conocer otros procedimientos de evaluación de la prueba de funcionamiento que tiene ciertas semejanzas.

Se presentan en seguida, 4 formas diferentes de evaluar los resultados de pruebas de funcionamiento:

1.- Cuando se dispone de las curvas características.- Este método de evaluación de prueba de funcionamiento es el que cumple las normas establecidas actualmente (2); un ejemplo numérico se presenta en el capítulo VII.

2.- Cuando se tienen las curvas de funcionamiento (7) y (12).- La información necesaria se presenta en la fig. 55, ésta representa el funcionamiento que se espera de la Torre para variaciones de L en $\pm 10\%$ del valor de diseño.

El procedimiento consiste en las siguientes etapas:

Etapla 1.- Cálculo del gasto de agua real en la prueba:

$$L_{\text{real}} = L_{\text{prueba}} \left(\frac{\text{HP diseño}}{\text{HP prueba}} \right)^{1/3}$$

Etapla 2.- Determinación del gasto de agua que predicen las curvas de funcionamiento para las condiciones de la prueba.

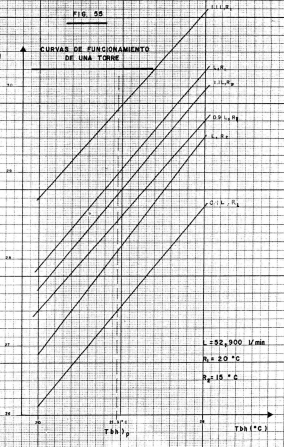
Etapla 3.- Cálculo de la capacidad de la Torre % de capacidad =

$$\frac{L_{\text{real}}}{L_{\text{predicción}}} \times 100 = \% \text{ Eficiencia.}$$

FIG. 55

CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA TORRE

T_2 (°C)



$L = 52,900$ l/min

$R_1 = 20$ °C

$R_2 = 15$ °C

T_{bh} (°C)

T_{bh} (°C)

Ejemplo numérico:

Las condiciones de la prueba de funcionamiento cumplen con las especificaciones (capítulo V) y los datos promedio obtenidos son:

	GARANTIA	PRUEBA
Gasto de agua. - - - - -	52,900 l/min	49,500 l/min
Temperatura del agua caliente. -	46.7° C	45.7° C
Temperatura del agua fría. - - -	30.0° C	28.2° C
Rango. - - - - -	16.7° C	17.5° C
Temperatura de bulbo húmedo. - -	24.4° C	21.9° C
Acercamiento. - - - - -	5.6° C	6.3° C
Potencia Total de Ventiladores.	230 HP	218 HP

ETAPA 1 del Ejem.

$$L = 49,500 \left(\frac{230}{213} \right)^{1/3} = 50,600 \text{ l/min.}$$

ETAPA 2 del ejem.

a) De la figura 55 para $t_{bh} = 21.9$ (prueba) las temperaturas del agua fría en rangos de 14 ---- 19°C para los gastos de 47,700, 52,900 y 38,200 se encuentran en la gráfica 56.

b).- De la figura 56 se obtiene la temperatura del agua fría para los tres diferentes gastos en el valor de $R = 17.5^{\circ}\text{C}$ (prueba).

Dichos valores están graficados en la fig. 57.

c).- Finalmente de la figura 57 para el valor de $T_2 = 28.2^{\circ}\text{C}$ --- (prueba) se obtiene el L) predicho de las curvas de funcionamiento; $L = 49,800 \text{ l/min.}$

ETAPA 3 del ejemplo.

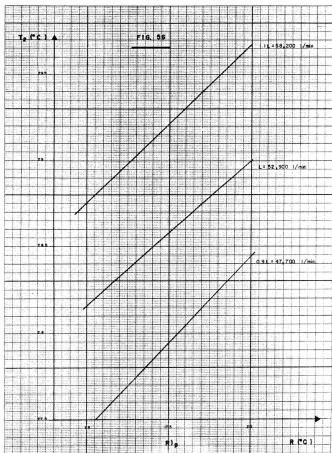
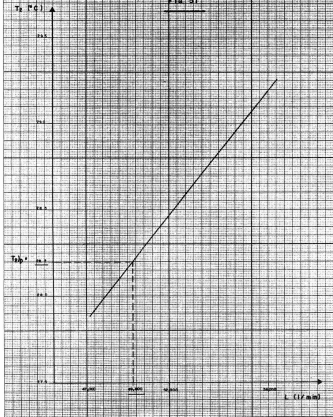


FIG. 5T



ETAPA 3 del ejem.

$$\% \text{ capacidad} = \frac{50,600 \text{ l/min.}}{49,800 \text{ l/min.}} = 101.6 \%$$

3.- Cuando se tienen los datos de diseño. En éste método se genera la curva característica de la Torre con:

a).- Los datos de diseño.

b).- Los datos de 2 diferentes operaciones de la Torre que se consideran de prueba.

DATOS

	Diseño.	Prueba 1	Prueba 2
Gasto de agua	52,900 l/min	49,500 l/min	55,600 l/min
Temperatura de entrada del agua (°C)	46.7	45.7	44.4
Temperatura de salida del agua.	30.0	28.2	28.8
Rango (°C)	16.7	17.5	15.6
Temperatura de bulbo húmedo (°C)	24.4	21.9	22.2
Acercamiento (°C)	5.6	6.3	6.6
Potencia de ventiladores.	230 HP.	218 HP.	221 HP.
Flujo de aire a la salida (m ³ /min.)	49,500	51,200	48,200

ETAPA 1

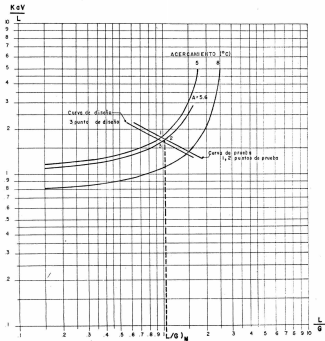
Determinar los valores de L/G y KaV/L para cada serie de datos.

a).- Se considera que para el caso del diseño debe conocerse el valor de L/G, para este caso el valor de L/G diseño = 0.992 y de una gráfica adecuada KaV/L vs. L/G para R = 16.7°C, A=5.6°C, t_{bh} = 24.4°C (fig. 58) se determina el valor de KaV/L = 1.684 para L/G = 0.992.

FIG. 58

PARA: $T_{bh} = 24.4 \text{ } ^\circ\text{C}$

$R = 16.7 \text{ } ^\circ\text{C}$



b).- El cálculo de L/G para las pruebas se calcula con la ecuación siguiente:

$$(L/G)_{\text{prueba}} = (L/G)_{\text{diseño}} \left(\frac{L_{\text{prueba}}}{L_{\text{diseño}}} \right) \left(\frac{HP_{\text{diseño}}}{HP_{\text{prueba}}} \right)^{1/3}$$

Substituyendo valores para prueba # 1 y resolviendo.- $L/G = 0.95$

Substituyendo valores para prueba # 2 y resolviendo.- $L/G = 1.05$

La siguiente tabla resume los datos obtenidos. Los valores de KaV/L para las pruebas fueron tomados de literatura (7)

Diseño	tbh	R	A	L/G	KaV/L
Diseño	24.4	16.7	5.6	0.992	1.684
Prueba # 1	21.9	17.5	6.3	0.95	1.802
Prueba # 2	22.2	15.6	6.6	1.05	1.712

ETAPA 2

Graficar los valores obtenidos de KaV/L vs. L/G , como la relación entre estos valores es lineal en una gráfica log-log; puede unirse los puntos de prueba dando la curva de prueba (fig. 58). Desde el punto de diseño se traza, una línea paralela a la de la prueba, que representa la curva de diseño (característica).

Finalmente se traza la línea de acercamiento de diseño que pasa por el punto de diseño $A = 5.6$ (fig. 58)

ETAPA 3.

El punto de intersección de la curva de operación y el acercamiento de diseño nos da el L/G modificado de operación que se substituye en la ecuación ya conocida de:

$$(1.04/0.992) (100) = 104.5 \%$$

La evaluación en este caso, cuando no se tiene ninguna curva de funcionamiento o característica de la Torre, es muy semejante a - cuando se tiene la curva característica, la diferencia es que primero se obtiene la curva de prueba y luego la curva característica.

4.- Cuando se dispone de factores ambientales de funcionamiento - $f_{A.R}$ y $f_{A.tbh}$.- La información necesaria se presenta en la fig. 59 y 60; éstas se refieren a los factores ambientales: (a) Acercamiento y Rango $f_{A.R}$. y (b) Acercamiento-bulbo húmedo $f_{A.tbh}$. El procedimiento de evaluación requiere de la siguiente ecuación:

$$(f_{A.R.}) (f_{A.tbh}) (\text{Gasto de agua l/min}) = \text{Coeficiente de funcionamiento Total } (C_T)$$

$$\% \text{ de capacidad} = (C_T \text{ prueba} / C_T \text{ diseño}) (100)$$

Con el fin de que pueda quedar claro el procedimiento de prueba - este se representará con el mismo ejem. que se ha usado en los mé todos anteriores.

ETAPA 1.

Determinación de factores según los datos de R.A y tbh.

	Diseño	Prueba 1	Prueba 2
$f_{A.R}$	0.67	0.63	0.565
$f_{A.tbh}$	0.878	0.97	0.955
Gasto (l/min)	52,900	49,500	55,600

Cálculo del coeficiente total de funcionamiento.

	Diseño	Prueba 1	Prueba 2
C_T	30,800	30,200	30,000

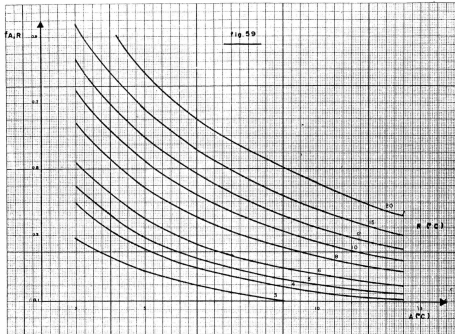
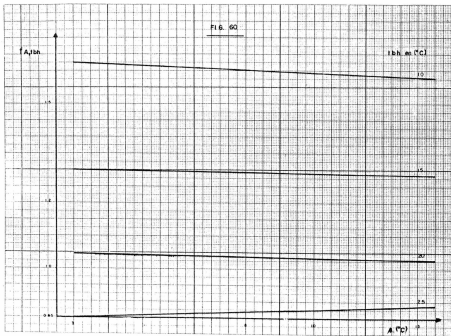


FIG. 60



ETAPA 3

Determinación de la capacidad de la Torre.

$$\% \text{ de Capacidad} = (30,200/30,800) (100) = 98.1 \%$$

$$\% \text{ de Capacidad} = (30,000/30,800) 100 = 97.5 \%$$

La información reportada en las figs. 59, 60, sólo es válida para Torres de enfriamiento de tiro mecánico, inducido, a doble flujo.- La deducción de las ecuaciones para los factores y coeficiente total de funcionamiento son estudiadas en Literatura (27). La interpretación que puede darse al coeficiente total es igual a la carga térmica universal que puede manejar la Torre a cualquier variación de Rango, Acercamiento o bulbo húmedo.

La prueba de funcionamiento puede verse afectada por la recirculación de agua, que ésta y su efecto debe considerarse para la determinación de los factores de funcionamiento.

Una evaluación más general de la prueba de funcionamiento o aceptación de una Torre de enfriamiento es la presentada por De Floss que consiste en los siguientes ejemplos:

Evaluación de:

- a).- Eficiencia de purga
- b).- Eficiencia del agua evaporada.
- c).- Eficiencia en el tratamiento del agua.
- d).- Eficiencia Térmica
- e).- Eficiencia económica.
- f).- Disipación de calor.
- g).- Eficiencia del Area de la Torre.
- h).- Capacidad de la Torre en coeficiente total de funcionamiento.

Existen además de este procedimiento, un procedimiento más estricto por el que deben pasar las Torres de enfriamiento, éste se presenta en el boletín STD -201 del I.T.E. que incluye un de

talle:

- a).- Métodos; de pruebas y evaluación.
- b).- Evaluación de pruebas.
- c).- Violaciones.

CAPITULO VII.- CALCULOS COMUNES EN TORRES DE ENFRIAMIENTO

I.- Dada una necesidad de enfriamiento con; Temperatura de bulbo húmedo, Temperatura del agua caliente, Temperatura del agua fría y gasto de agua. Determinar: El área, la altura, la cabeza de bombeo y la potencia del ventilador de la Torre de enfriamiento que satisfaga dicha necesidad.

II.- Dadas las características de una Torre de enfriamiento: Area, Altura, Tipo de empaque, Altura de persianas, Potencia del ventilador, Flujo de agua, Rango y Temperatura de bulbo húmedo. Calcular la temperatura del agua fría que debe obtenerse.

III.- Dadas las características de una torre de enfriamiento; Gastos de agua, Temperatura del agua caliente, Temperatura del agua fría, Temperatura de bulbo húmedo.

a) Calcular el acercamiento a diferentes gastos de agua (± 10 ó ± 20 % del gasto de diseño)

b) Calcular el acercamiento a diferentes rangos y a diferentes temperaturas de bulbo húmedo.

IV.- Dadas las condiciones para las que fué diseñada una Torre de enfriamiento, operarla con el fin de probar su funcionamiento su operación, debe cumplir con las especificaciones (2), el procedimiento de evaluación puede ser cualquiera de los presentados en el Capítulo VI.

EJEMPLOS

1.- Se necesita una torre para enfriar 37,850 l/min de 43.3°C a 29.45°C en un lugar cuya temperatura de bulbo húmedo de diseño es de 25.56°C se considera que existirá una recirculación del aire de descarga del 4 %; se dispone de una bomba de agua cuya cabeza de bombeo es de 10.05 m. Se sugiere un empaque Tipo "A" y se pide determinar: El área Transversal, La Altura y la Potencia del ventilador.

RESPUESTA:

Altura de la Torre.

Como se requiere de 2.13 m. para la entrada del agua al distribuidor

la altura de la Torre solo puede ser de 7.92 m y como el espacio - por etapa para el empaque "A" es de 0.228 m. (fig. 22).

El número de pisos o etapas será de 358, consideremos 35⁰ pisos de - la cual la altura es de 7.75 m.

a) Calcular el L/G para t_{bh} de 25.6°C, R = 13.9°C y A = 3.9°C. Puede hacerse superponiendo la curva característica del empaque (35 pisos) en la gráfica de KaV/L vs. L/G;

El valor a t_{bh} = 25.56°C, R = 13.9°C y A = 3.9°C el va-- lor es de L/G = 1.08 (31) del balance de calor h₁ = h₂ + (L/G) (R) de fig. 31 h₂ = 23.1 K cal/Kg.

$$h_1 = 23.10 + (1.08) (13.9) = 38.2 \text{ K cal/Kg.}$$

Al considerar el 4 % de recirculación del aire de salida se tiene - que la entalpia del aire a la entrada de la Torre será de:

$$h_2 = (0.96) (23.1) + (0.04) (38.2) = 23.7 \text{ K cal/Kg.}$$

Fig. 31 a esta entalpia corresponde una temperatura de bulbo húme- do de 26.1°C que será la temp. de bulbo húmedo de entrada a la - Torre así pues el cálculo de L/G a t_{bh} = 26.1°C es de L/G = 1.0

b) Selección del área transversal de la Torre: (fig. 26) para una al- tura de 7.92 m. la masa velocidad del aire es de 7,570 Kg/hrm² - de los datos L = 37,850 L/min = 2,270,000 Kg/hr. por tanto el - Area = 2,270/7570 = 299 m²

Como las celdas comerciales son de 1.83 m X 1.83 m. una área po- sible sería de 3 celdas de 5 X 6 bloques; esto representa una área - total de 300 m² la masa velocidad modificada sería:

$$L = \frac{2,270,000 \text{ Kg/hr.}}{300 \text{ m}^2} = 7,550 \text{ Kg/hr m}^2 \quad \text{y} \quad G = 7,550 \text{ Kg/hr m}^2$$

c) Cálculo de la caída de presión: En el empaque; de la Fig 23 pa - ra G = 7,550 Kg/hr m² y L = 7,550 Kg/hr m²

$$\Delta P = 0.0305 \text{ cm. agua para 31 etapas; } \Delta P = 1.065 \text{ cm. agua}$$

En persianas. Suponer 25 a 30 % de la altura correspondiente a en - trada de aire por las persianas esto sería aproximadamente 3.05 cm.

con los datos de longitud de la Torre y densidad del aire de 1.2 Kg/
 m^3 (longitud) (Altura) (2) = Area de entrada de aire por persianas.
 (27.4 m) (3.05 m) (2) = 16.7 m^2

El volumen de aire será:

$$V^1 = 31,600 \text{ m}^3/\text{min}$$

La velocidad en las persianas será:

$$v = 31,600 \text{ m}^3/\text{min} / 167 \text{ m}^2 = 190 \text{ m}/\text{min}$$

y finalmente de la fig 27 para

$$v = 19 \text{ m}/\text{min} \Delta P = 0.122 \text{ cm.}$$

En eliminadores de rocío para $G = 7,550 \text{ Kg}/\text{hr. m}^2$. $P = 0.104 \text{ cm}$
 $P_T = 1.291 \text{ cm. de agua.}$ de agua.

Potencia del ventilador.

Volumen de aire a la salida considerando una densidad de 0.00108 g
 $/\text{cm}^3 = 1.08 \text{ Kg}/\text{m}^3$

$$V^1 = 34,800 \text{ m}^3/\text{min}$$

Substituyendo ΔP , Gasto de aire y eficiencia:

$$\text{Potencia} = (34,80) (1.291) / (458) (0.5) = 197 \text{ HP}$$

Como son 3 celdas cada una tendrá 65.8 HP

Cada celda puede tener 66 HP ya que esta potencia existe comercialmente.

EJEMPLO II

Se tiene una torre de enfriamiento de (9.15 m X 9.15 m, con un ventilador de 50 HP., una altura de 11 pisos de empaque Tipo "D" (31), la altura de las persianas es de 1.83

Si se opera en un lugar cuya temperatura de bulbo húmedo es de 23.9°C y se alimentan 11,650 l/min de agua a un rango de 16.7°C
¿Cuál será la temperatura de salida del agua?

Nota.- Toda la información del empaque tipo "D" fué tomada de (31)
1.- Gasto de aire que maneja el ventilador de la Torre.- Altura de piso tipo "D" = 0.61 m.

a) $Z = (11-6) (0.61 \text{ m}) = 6.1 \text{ m}$ de la fig.28 para $G = 8,500 \text{ Kg/hr.}$
 m^2

b) Area = 83.5 m^2 .- Gasto de agua $L = 682,000 \text{ Kg/hr.}$ y masa velocidad

$$L^1 = 682,000 \text{ Kg/hr} / 83.5 \text{ m}^2 = 8,100 \text{ Kg/hr m}^2$$

c) Area de entrada por las persianas (2) (9.15 m) (1.83 m.) = 33.5 m^2

d) Gasto de volumen del aire = Densidad = 1.2 Kg/m^3 $V = 9,860 \text{ m}^3/\text{min}$

e) Velocidad en las persianas

$$V = \frac{9,860 \text{ m}^3/\text{min}}{33.5 \text{ m}^2} = 294 \text{ m/min}$$

f) ΔP total; de los datos obtenidos en los incisos anteriores:
en persianas. de fig. 27 $\Delta P = 0.285$ con agua.

en eliminadores de rocío, de fig. 28 $\Delta P = 0.1295$ cm. Agua.

en el empaque tomado de la literatura (31) $P/\text{piso} = 0.0737$;

$\Delta P = 0.81$ cm. de agua $P_T = 0.285 + 0.1295 + 0.81 + 1.224$ cm de agua.

g) Gasto de aire en volumen para densidad = 1.08 Kg/m^3 ,

$$V = 10,950 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$h) \text{ Potencia del ventilador} = \frac{(10,950)(1.2245)}{(0.5)(458)} = 58.3 \text{ HP}$$

i) El valor de G para 50 HP debe ser menor que $G=8,500 \text{ Kg/hf m}^2$ puesto que éste da lugar a una potencia mayor (58.3 HP)

Un segundo cálculo de G puede hacerse usando la siguiente ecuación (31)

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{HP_1}{HP_2}^{1/2.8} \quad \text{substituyendo valores}$$

$$G_2 = (8,500) \frac{50}{58.3}^{1/2.8} = 7,970 \text{ Kg/hr m}^2$$

2.- Cálculo de L/G; $8,100 \text{ Kg/hr m}^2 / 7,970 \text{ Kg/hr. m}^2 = 1.02$

3.- Cálculo de K a V/L para la curva característica del empaque tipo " D " (31) se obtiene de 1.28

4.- Cálculo del acercamiento. Sobre una gráfica de K a V/L vs L/G para $t_{bh}=23.8^\circ \text{ C}$ R 16.66° C se obtiene (31) que en el punto (L/G, K a V/L); (1.02, 1.28) el A 7.5° C finalmente

$$T_2 = t_{bh} + A \quad T_2 = 23.9 + 7.5 = 31.4^\circ \text{ C.}$$

con lo cual queda terminado el problema.

EJEMPLO III.

La operación de una Torre de enfriamiento cuyo arreglo de empaque es tipo " E " de 15 etapas, se garantiza para el siguiente funcionamiento.

L 13,600 l/min

R 13.9° C

T₁ 41.7° C

t_{bh} 22.8° C

$$T_2 = 27.80 \text{ } ^\circ\text{C} \quad A = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El comprador de la Torre pregunta ¿ Qué acercamiento se espera para la siguiente modificación ? en: el gasto de agua, en el rango y en la temperatura de bulbo húmedo.

$$L = 15,150 \text{ l/min}$$

$$R = 16.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{bh} = 26.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

1.- Determinar el L/G de diseño

De la fig. 61 se toma la curva característica para 15 etapas ó pisos, es ta se superpone sobre las figuras 62 y 63 para obtener:

en

$$t_{bh} = 21 \quad R = 13.9 \quad A = 5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad L/G = 0.92$$

$$t_{bh} = 24 \quad R = 13.9 \quad S = 5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad L/G = 1.08$$

Interpolando para

$$t_{bh} = 22.8 \quad R = 13.9 \quad A = 5; \quad L/G = 1.02$$

2.- Determinar el L/G de prueba

si consideramos que G permanece constante

$$L/G(\text{modificado}) = L/G) \text{ diseño} \quad (L \text{ modificado} / L \text{ diseño})$$

$$L/G) \text{ modificado} = 1.02 \quad (15,150/13,600) = 1.13$$

3.- Determinación del acercamiento en las condiciones modificadas. -

La misma curva característica (fig. 61, puede superponerse en la fig.- 64 en ella se tiene un $A = 4.60 \text{ } ^\circ\text{C}$ para el valor de $L/G = 1.13$

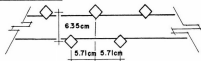
4.- Calculo de la Temperatura del agua fría, que se espera:

$$T_2 = 26.0 \text{ } ^\circ\text{C} + 4.60 \text{ } ^\circ\text{C} = 30.60 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

FIG. 61

CARACTERISTICA DE FUNCIONAMIENTO
EMPAQUE TIPO "E"

2.225 cm X 2.225 cm



ESPACIO VERTICAL 61 cm

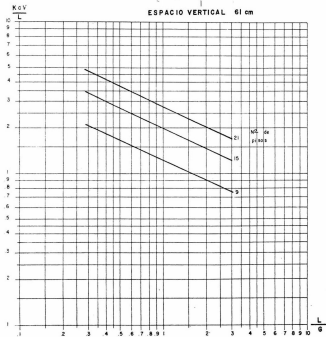


FIG. 62

PARA: $T_{bh} = 21^{\circ}\text{C}$
 $R = 131^{\circ}\text{C}$

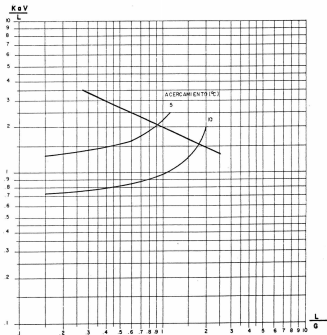


FIG. 63

PARA: $T_{bh} = 24^{\circ}C$

$R = 131^{\circ}C$

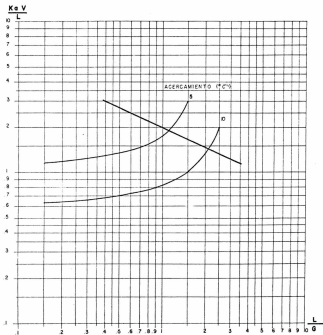
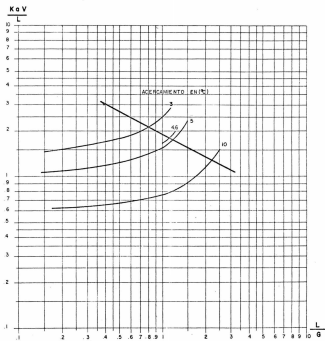


FIG. 64

PARA: $T_{bh} = 26. ^\circ C$
 $R = 16 ^\circ C$



EJEMPLO IV

Prueba de aceptación de la Torre de enfriamiento No. 4 de la planta-termoeléctrica de Lechería. Torre de Tiro inducido a contraflujo. Se revisó boquillas de distribuidor de agua y éstas se encontraron limpias. Se midió la inclinación de las aspas de los ventiladores, estando ajustados entre 14 y 13.75° contra 14° que era el valor propuesto por el fabricante.

La medida entre la punta del aspa y el claro del ventilador era de 10 a 20 mm satisfactorio.

Se inició el arranque del equipo y después de 1 hr. se había establecido la operación. Se tomaron de 3 a 6 lecturas de cada dato, de las cuales su valor promedio es el siguiente.

	Garantía	Prueba
Gasto de agua	$15,670 \text{ m}^3/\text{hr}$	$16,755 \text{ m}^3/\text{hr}$
Temperatura del agua caliente	36.0° C	36.5° C
Temperatura del agua fría	27.0° C	28.0° C
Temperatura de bulbo húmedo	16.0° C	17.0° C
Rango	9.0° C	8.5° C
Acercamiento	11.0° C	11.0° C
Consumo de ventilador	45.5 HP	43.7 HP

Solución:

1.- Determinación de (L/G) de prueba

$$\frac{L}{G} = \frac{16,735}{15,670} \cdot \frac{45.5}{43.7}^{1/3} (1.6) = \underline{1.722}$$

2.- Calcular KaV/L Con ayuda de las gráficas (44 y 45) se ob--

$$\text{tiene } \frac{K_a V}{L} \begin{matrix}) 0 \\) 8.0 \\) 11.0 \\) 17.0 \end{matrix} \text{ A interpolando de } \frac{K_a V}{L} \begin{matrix}) 8.0 \\) 11.0 \\) 17.0 \end{matrix} = 0.95 \text{ y de}$$

$$\frac{K_a V}{L} \begin{matrix}) 9.0 \\) 11.0 \\) 17.0 \end{matrix} = 1.02 \quad \text{Se obtiene} \quad \frac{K_a V}{L} \begin{matrix}) 8.5 \\) 11.0 \\) 17.25 \end{matrix} = 0.971$$

de operación.

3.- El Punto (1.722, 0.971) localizado en la gráfica (Fig. 41 que representa la curva característica de la Torre de enfriamiento de Leche--ría permite trazar la curva de prueba
 Obsérvese que la intersección de la curva de prueba y de curva de acercamiento de diseño determinan el $(L/G)_M = 1.565$

4.- Cálculo de la capacidad de la Torre.

$$\frac{(L/G)_M}{(L/G)_D} = \frac{1.565}{1.6} \times 100 = 97.81 \%$$

Valor que puede considerarse aceptable y dentro de las especificaciones (6)

CAPITULO VIII. -MANUAL DE FUNCIONAMIENTO.

INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO.

Generalmente los fabricantes de Torres de enfriamiento anexas a las características del equipo un manual de instrucciones sobre Instalación, Operación y Mantenimiento, éstas instrucciones dependen del Tipo de equipo pero son realmente muy similares aun que sean diferentes compañías.

Como un ejemplo al respecto se presenta aquí el contenido de un Manual para la Torre de enfriamiento tipo paquete que se tiene en el Laboratorio de Ingeniería Química de esta Facultad.

DESCRIPCION DEL EQUIPO:

Torre de enfriamiento " Martey " Tipo paquete modelo 5860.

La Torre consiste de un armazón y relleno de madera de pino ponderosa tratada químicamente a presión, tornillos y tuercas galvanizadas y clavos de bronce. Trasmisión por bandas "V", con depósito de agua fría de Triplay marino pino ponderosa químicamente tratado a presión, cople de agua de repuesto y con válvula de flotador.

La Torre se embarca totalmente armada e incluye guarda ventilador galvanizado, puerta de acceso, cilindro del ventilador galvanizado, eliminadores de rocío, purga continua, coples de: entrada, salida, desagüe y derrame de exceso.

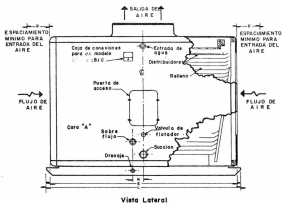
La torre es hermética a excepción de las entradas y salidas del aire.

DIMENSIONES GENERALES (Según Fig. 65)

Especificaciones:

Cubiertas.- Las cubiertas, tapas superiores y puerta de acceso están contruidas de Triplay marino tratado. Las caras exteriores llevan dos manos de barniz sellador. Todos las uniones y esquinas van cubiertas con biceles moldeados de aluminio.

Depósito de agua.- Este es parte de integral de la Torre y está formado por las cubiertas de la misma. Las conexiones del depósito incluyen la succión con su malla interior o colador, drenaje en el fondo del depósi-



MODELO DE TORRE	DIMENSIONES GENERALES EN CENTIMETROS													
	W	L	H	A	B	C	D	E	F	G	J	K	M	N
3880	181.6	320.0	241.3	136.4	170.1	155.5	137.1	310.5	149.2	3.6	2062	34.9	59.6	10.1

DIAGRAMA DIMENSIONAL DE UNA TORRE PAQUETE

MODELO DE TORRE	ENTRADA Y UBICACION DE ANCHOS DE ANCHOS	RODILLO FLUJO Y CORONA	VALVULA DE FLUJO 200 200	CARRA DE BOMBEO 200	MOTOR			PESO DE EMBALE QUE CON MOTOR 250	PESO DEL MOTOR 250	PESO EN OPERACION 250	
					HP	250V 50/60 Hz	250LBS				
3880	M 10.16	H 3.01	1.27	252.9	2	7.6	3.6	220/440	1102.25	45.36	2590.05

FIG. 65

to incluyen la succión con su malla interior o colador, drenaje en el fondo del depósito, descarga de sobre flujo en un costado de la cubierta lateral, purga continua conectada al tubo de alimentación, ésta descarga a la salida de sobre flujo por medio de un tubo de polietileno.

Sistema de distribución.- El agua caliente se distribuye a los depósitos superiores o recipientes de distribución, a través de una tubería en forma de "T" que también sirve como soporte del equipo mecánico. La entrada del agua caliente está sobre la cubierta lateral (Fig. 65). Los depósitos están fabricados de tripaly tipo marino, de madera pino ponderosa tratados químicamente a presión; en el fondo de éstos lleva una serie de orificios para permitir la salida del agua sobre los distribuidores y el relleno o empaque.

Relleno.- Es de madera y está diseñada en tal forma que no es necesario clavarlo, evitando así grietas, torcimiento y pandeo, además es sumamente fácil de instalarlo y por sí solo, se va bloqueando, evitando así su movimiento. El diseño ofrece una superficie mojada máxima, mayor contacto del agua con el aire y por lo tanto un enfriamiento más efectivo.

Los eliminadores de rocío están colocados entre el relleno y la cámara plena.

Equipo mecánico.- Este equipo lleva transmisión por bandas "V", y llevan ventiladores de aspas múltiples de aluminio fundido con ángulo ajustable tipo "H".

Los ventiladores van montados sobre chumaceras de bronce para servicio pesado en una caja de fierro fundido, con flecha de acero inoxidable, lubricado por medio de un baño de aceite para su mayor eficiencia y durabilidad. La tensión adecuada para las bandas "V" es mantenida constantemente por un templador automático, el cuál va ajustando la tensión según se vaya requiriendo, eliminando el deslizamiento de las bandas y manteniendo la potencia de diseño de la transmisión constante.

Motores.- Son del tipo de inducción, totalmente cerrados sin ventilación exterior, trifásicos 220/440 V., 50 o 60 ciclos y de características adecuadas para trabajar de acuerdo a las condiciones de operación de las torres, la corriente del aire del ventilador produce un enfriamiento en el motor que origina una temperatura baja de operación, siendo posible

una mayor eficiencia.

Características:

Las torres tipo paquete son de diseño "Marley" y bajo el principio de -
doble flujo, aprobado y reconocido como de gran eficiencia. El aprove-
chamiento máximo de los materiales inertes empleados en la cubierta, -
el cilindro del ventilador, el depósito de agua y el relleno, garantizan
una larga duración.

Todos los componentes de acero son de tipo pesado galvanizado en ca-
liente después de su fabricación para prolongar su resistencia a la oxidá-
ción y corrosión.

La salida del aire en forma vertical permite su instalación en áreas poco
adecuadas para salidas horizontales. El tipo de la corriente de aire es -
hacia arriba, alejado de estructuras o equipos adyacentes.

Funcionamiento.

	Datos específicos por el fabricante (24)						
T_1 (°C)	32.2°C	33.3	36.2	35.5	35.0	35.5	36.2
T_2 (°C)	26.6°C	27.8	30.5	30.0	29.4	30.0	30.5
t _{bh} (°C)	21.1°C	22.2	25.5	25.5	25.5	26.1	26.6
L (l/min)	900 l/min	900 l/min	973	880	796	813	830

Las condiciones del D.F. donde operará la Torre son:

t_{bh}, entre 8°C ----- 17°C.

Gasto de agua, de 300 ---- 450 l / min.

Gasto de aire en volumen, 770 m³/ min.

Como se ve las condiciones especificadas de t_{bh} y L caen fuera de
la operación real de la torre.

Con base en la información de los capítulos anteriores se procederá -
a determinar las características de funcionamiento de la Torre tipo -
paquete para las condiciones de su operación.

Los datos de funcionamiento (24) se transformarán a las condiciones
de operación, determinando las curvas características para los siguien-
tes datos de "Diseño" (condiciones más factibles en la instalación --
que se tiene en el laboratorio de Ingeniería)

$$t_{bh} = 16.000 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L = 375 \text{ l/min.}$$

$$R = 8.0^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 27.8^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 19.8^\circ\text{C}$$

1.- Determinación del acercamiento de diseño.

Calculando el coeficiente total de funcionamiento de los datos de funcionamiento de la Torre (24) con los factores de A.R y A. t_{bh} según las figuras 59 y 60, se obtiene que bajo cualquier condición, la Torre paquete debe manejar un $C_T = 265$ u.t.

Para: un gasto de 375 l/min. un $R = 8.00^\circ\text{C}$ y $t_{bh} = 16.0^\circ\text{C}$ existirá solo un valor de acercamiento que dará el mismo coeficiente total de funcionamiento, recordemos la fórmula.

$$C_T = f_{AR} \cdot f_{A.tbh} \cdot L$$

Para un A = 3. °C de fig. 59 y 60.

$$f_{AR} = 0.688$$

$$f_{A.tbh} = 1.269$$

$$C_T = (0.688) (1.269) (375 \text{ l/min}) = 328 \text{ u.t.}$$

Para un A = 5°C de fig. 59 y 60.

$$f_{AR} = 0.4530$$

$$f_{A.tbh} = 1.264$$

$$C_T = (0.4530) (1.264) (375 \text{ l/min.}) = 210 \text{ u.t.}$$

Para un A = 3.8°C de fig. 59 y 60.

$$f_{AR} = 0.5560$$

$$f_{A.tbh} = 1.267$$

$$C_T = (0.5560) (1.267) (375 \text{ l/min.}) = 265 \text{ u.t.}$$

Por tanto el Acercamiento de diseño es A = 3.8°C

2.- Determinación del L/G de diseño.

Gasto de aire en volumen $770 \text{ m}^3/\text{min.}$ (24) considerando que el aire a la salida tiene una temperatura de bulbo húmedo de 20°C el volumen específico correspondiente es de $V_H = 1.135 \text{ m}^3/\text{Kg.}$

tomado de fig. 49.- El gasto de aire en masa será:

$$G = \frac{770 \text{ m}^3/\text{min.}}{1.135 \text{ m}^3/\text{Kg.}} = 687 \text{ Kg/min.} \quad \text{y por tanto:}$$

$$L/G = \frac{375 \text{ Kg/min.}}{687 \text{ kg/min.}} = 0.547$$

Con el fin de comprobar la temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida. Con la ecuación

$$h_1 = \frac{L}{G} (R) + h_2 ; \quad h_2 \text{ a } t_{bh} = 15.55^\circ\text{C} \text{ (fig. 32)}$$

$$h_1 = (0.547) (833^\circ\text{C}) + 12.25 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg.}}$$

$$h_1 = 4.57 + 12.25 = 16.82 \frac{\text{K cal}}{\text{Kg.}}$$

De la fig. 32 se tiene que para $h = 16.82 \frac{\text{K cal}}{\text{Kg.}}$ la temperatura

es de 19.95°C con lo cual se concluye el cálculo de las condiciones de diseño que se resumen a continuación.

$$L = 375 \text{ l/min.} \quad G = 687 \text{ Kg/min.} \quad \text{a } t_{bh} = 20^\circ\text{C}$$

$$t_{bh} = 16.0^\circ\text{C}$$

$$A = 3.8^\circ\text{C} \quad T_2 = 19.8^\circ\text{C,} \quad R = 8.0^\circ\text{C} \quad T_1 = 27.8^\circ\text{C.}$$

$$C_T = 265 \text{ unidades térmicas.} \quad L/G = 0.547$$

3.- Determinación de la curva característica:

Debe hacerse el cálculo para las condiciones de diseño y los datos que no deben variar son:

$$C_T = 265 \text{ u.t.} \quad t_{bh} = 16.0^\circ\text{C} \quad R = 8.0^\circ\text{C},$$

Considerando que el gasto de aire tampoco variará de:

$$G = 687 \text{ Kg/ min.},$$

Observando la gráfica de la Fig. 40 se determina que existirán acercamientos menores, para L/G menores y acercamientos mayores a L/G mayores; en resumen para diferentes acercamientos existirá un determinado gasto de agua, que cumple con el valor del coeficiente total de funcionamiento y con L calculamos el L/G correspondiente.- el tipo de cálculo que debe hacerse está ordenado y resumido en la siguiente tabla.

$$C_T = 265 \quad R = 8.0^\circ\text{C} \quad t_{bh} = 16.0^\circ\text{C}$$

$$\text{el valor de } L = C_T / F_{A,R} F_{A,tbh}$$

A °C	$f_{A,R}$	$f_{A,tbh}$	L (l/min)	L/G
3.8	0.556	1.267	375	0.547
3	0.65	1.269	327	0.476
4.5	0.49	1.265	427	0.621

Estos valores de A y L/G se han graficado en la fig. 40.

Observe que dichos puntos dan una línea recta que representa la curva característica de la Torre tipo paquete que se encuentra en el Lab. de Ing. Q.

INSTALACION (24)

Colocación de la Torre:

1.- Coloque la Torre con el espacio adecuado (Fig. 65) y de acuer

do a la dirección del viento de verano (revisar recomendaciones para evitar recirculación, capítulo VI)

2.- Instalar una base firme y nivelada para que el enfriamiento del agua y su distribución en el empaque sea homogéneo y eficiente.

3.- Asegure la Torre sobre su base con tornillos de anclaje de 0.95 cm. o más gruesos.

TUBERIA DE CIRCULACION DE AGUA EN TIEMPO CALIDO O DE VERANO.

1.- Use tubos cuyo diametro no provoque grandes caidas de presión, utilice los diámetros que muestra la Fig. 65.

2.- Conecte las tuberías de agua fría y caliente con conexiones flexibles para atenuar la transmisión de ruidos.

3.- Instale la válvula de flotador.

4.- Conecte los tubos de desagüe y de sobre flujo de la torre al drenaje.

5.- Cerciórese de que el tubo de purga continua quede bien colocado en el interior del tubo de sobre flujo.

TUBERIA DE CIRCULACION DE AGUA EN TIEMPO DE FRIO O DE INVIERNO:

1.- Se recomienda montarla, para operar con depósito de agua prácticamente seco. (Fig. 66)

2.- Instale un tanque de almacenamiento (estanque) (Fig.66) para operación bajo techo con una capacidad de 4 veces mayor que el gasto que manejará la torre.

3.- Conecte las tuberías de la succión y del desagüe al estanque.

4.- Instale las líneas de agua de repuesto purga y sobre flujo y drenaje en el estanque (Fig. 66).

5.- Recubra las tuberías que estén expuestas a la temperatura de congelación.

MOTOR DEL VENTILADOR.

1.- Cada Torre paquete lleva instalado su motor y el correspondiente alambrado impermeabilizado, que lo acopla a la caja de conexiones-montadas a un costado de la Torre. Toda conexión debe hacerse en esta caja.



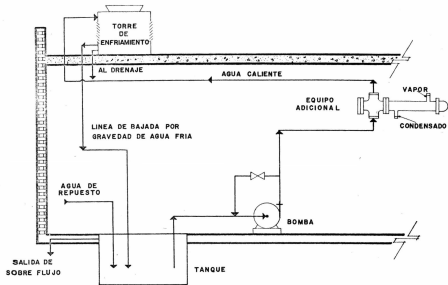


DIAGRAMA DE FLUJO PARA TORRE DE ENFRIAMIENTO CON ESTANQUE BAJO TECHO

2.- Consulte el diagrama para el alambrado del motor dentro de la tapa de la caja de conexiones, o sobre la cubierta adyacente a dicha caja.- Haga pasar la conexión de la caja de conexiones a la fuente de alimentación por el interruptor de corriente y protéjala debidamente contra corto circuito y equípela con arrancador magnético debidamente protegido contra sobrecarga.

EQUIPO MECANICO:

- 1.- Quite los alambres que sujetan el motor en su base. Localice el contrapeso de tensión que va adjunto a la cubierta justo detrás de la puerta de acceso. Quite el alambre y el cincho de embarque, --voltee el motor en sentido del abanico y monte las bandas V.
- 2.- Las bandas se salen en cuanto el motor y el abanico funcionan en reversa. Compruebe el sentido de rotación del abanico y las bandas "V" antes de poner la Torre en marcha.

OPERACION (24)

- 1.- Drene la Torre para extraer toda materia extraña que pudiera contener el empaque o el depósito.
- 2.- Llene el sistema de circulación con agua y arranque la bomba de alimentación de agua a la Torre.
- 3.- Ajuste la válvula del flotador a 15 cm. de profundidad del depósito de agua fría.
- 4.- Arranque el ventilador y compruebe que su sentido es el de las manecillas del reloj visto desde arriba.
- 5.- Revise la línea de purga para cerciorarse de que el agua está --descargando al tubo de sobre flujo.

MANTENIMIENTO (24)

- 1.- Lubricación del motor; engrasar los cojines del balero.
- 2.- Lubricación de la caja de la chumacera del ventilador. Use ---aceite de máquina SAE-20, revise el nivel del aceite cada 4 meses. Drene, lave y reponga el aceite de la chumacera cada año.
- 3.- Revise la purga para cerciorarse de que el agua fluye continua--mente al tubo de sobre flujo.

Es muy importante extraer continuamente de la torre una pequeña can-tidad de agua durante su operación. Esta purga impide la alta con--centración de sólidos en el agua que podría provocar corrosión o in--crustación.

Las Torres paquete están equipadas con un sistema automático de purga, esta es de plástico y se extrae en el sobre flujo de la Torre. La tabla siguiente puede consultarse para ajustar dicha purga:

RANGO	PURGA (%de gasto total de agua)
3.5°C	0.15
4.2°C	0.22
5.5°C	0.33
8.5°C	0.54

4.- Drene periódicamente el depósito del agua y límpielo de toda materia extraña que contenga.

5.- El agua suele colorearse al ponerse en marcha la Torre de enfriamiento por primera vez, esta coloración es normal y suele desaparecer, puede evitarse con una solución ligera de blanqueador.

6.- Siempre que la concentración de sólidos sea alta empieza a formarse espuma, ésta puede evitarse aumentando el gasto de purga o aplicando algún antiespumante.

7.- Al terminar cada ciclo de operación, drene la torre y deje el tapón de drenaje quitado para impedir que el agua se acumule en el depósito.

8.- El tratamiento químico del agua para impedir incrustación, corrosión o ataque microbiano debe hacerse bajo la orientación de un experto. (10,1,19,29)

El uso de Plifosfatos y cloro que no provocan contaminación son muy usados actualmente. El pH debe controlarse entre 6 y 7 con H_2SO_4 o $NaOH$, porque phs mayores pueden provocar deslignificación de la madera.

9.- Reposición de bandas "V"

Las bandas se instalan sobre el abanico, en su cilindro tiene un espacio hueco que da paso a las bandas entre las aspás y el cilindro. Coloque la banda en ese hueco y de la vuelta al abanico con la mano hasta que la banda quede en su sitio. Monte la banda en la polea del motor.

Es muy común tener un programa de mantenimiento periódico, semejante al que se muestra enseguida (10 y 19)

	Semanalmente	Mensualmente	Semestralmente	Anualmente.
Válvula de agua de repuesto.	Inspección.			
Estanque de agua fría.	Inspección.			Lavarlo.
Eliminadores de rocío.		Inspeccionar		Lavar.
Eje del ventilador.	Inspección	Checkar <u>alineación</u> .		
Ventilador.	Inspección		Lavar	
Chumacera del ventilador.	Inspección			Drene, lave y ponga el aceite.
Relleno			Inspección	
Reductor de velocidad.	Revisar nivel de aceite.	Revisar <u>propiedades del aceite</u> .	Cambiar <u>aceite</u> .	
Motor	Inspección de Tem. de operación.			Lubricar
Cubierta			Inspección	Lavar
Caja y sistema de distribución				Lavar.
Estructura				Inspección.
Colector de aceite.	Lavar			
Purga	Inspeccione su flujo continuo			
Deposito de agua de la torre	Inspección		Lavar.	

CAPITULO IX.- PRACTICAS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

METODOLOGIA DE LAS PRACTICAS:

CONTENIDO DEL INSTRUCTIVO.

1.- Información previa sobre la operación unitaria.

- a) Definición.
- b) Generalidades teórico prácticas.

2.- Planteamiento del objetivo del experimento.

Requisitos y objetivos: Prácticos y Cognocitivos.

3.- Experimento:

- a) Planteamiento de un problema teórico.
- b) Descripción del experimento.
- c) Descripción y diagrama del equipo.
- d) Técnica.
- e) Cálculos.

DESARROLLO DE LA PRACTICA EN EL LABORATORIO.

1.- Breve discusión sobre la operación unitaria tanto teorica como prácticamente (utilidad de la misma dentro de la Industria)

2.- Experimentación.

- a) Planteamiento de la solución más adecuada del problema práctico.
- b) Preparación de la técnica de arranque.
- c) Realización de la práctica.

ACTIVIDADES FUERA DEL LABORATORIO.

1.- Informe sobre la práctica.

- a) Breve resumen sobre la operación unitaria.
- b) Solución del problema teórico.
- c) Diagrama del flujo del equipo.
- d) Analisis y Síntesis de Resultados, en especial los cálculos solicitados.
- e) Conclusiones y sugerencias.

EVALUACION

- a) Participación individual durante la práctica.
- b) Informe que deberá entregarse individualmente, antes y después de la práctica.

SUGERENCIAS: Contenido de instructivo.

El contenido del instructivo debe ser muy breve pero con suficientes referencias bibliográficas con el fin de que los alumnos tengan una información tan amplia como lo consideren.

Los requisitos están en función de sus prácticas anteriores y de los conocimientos teóricos de Ingenierías anteriores.

El problema teórico tiene la finalidad que el alumno pruebe que tiene los conocimientos indispensables para realizar el experimento, éste problema será planteado de manera de aplicar la teoría general de la operación unitaria.

El equipo se describe en función de su diagrama de flujo y será necesario que los alumnos confronten dicho diagrama con el equipo existente anticipadamente a su práctica; como complemento se tiene dimensiones y características del mismo (datos de diseño).

El problema que se resolverá prácticamente solo difiere en el teórico, - en que se resolverá solo mediante la determinación experimental de los datos necesarios., y será el alumno el que seleccionará dichos datos, - también tendrá el control de la operación hasta un estado permanente - con el fin de obtenerlos.

DESARROLLO DE LA PRACTICA.

La discusión de la operación unitaria requiere de la participación de -- los alumnos y en ella el profesor podrá cuestionar al alumno y sus res-- puestas podrán utilizarse para su evaluación.

Debe aclararse durante esta discusión el significado concreto de los objetivos de la practica y los alumnos deben tenerlos presentes durante to do el tiempo de la misma. En caso necesario deben modificarse y ade-- cuarse a los intereses del grupo. La discusión podría complementarse -- con el razonamiento hecho acerca de la utilidad de dicho equipo dentro del laboratorio y dentro de la industria.

Antes de realizar el experimento se dividirá el grupo en dos partes y ca da subgrupo discutirá por espacio de 15 minutos la forma como solucio-- nará prácticamente el problema planteado. Utilizarán 10 minutos más - en tomar un acuerdo sobre el sistema que segurán al operar el equipo.

Para resolver el problema y la práctica planteada, no debe olvidarse -- preparar alguna tabla con todos los datos que le serán indispensables pa ra la solución del mismo.

ACTIVIDADES EXTRA CLASES:

Es necesario que los primeros tres puntos se realicen antes de realizar la práctica ya que de otra manera no se tendrá ningún antecedente sobre la misma, y el alumno se convertirá en un observador ó en la persona -- que realiza exclusivamente las instrucciones del profesor sin saber por qué, y para qué.

Los puntos siguientes del informe deberán informarse en la siguiente práctica a más tardar y el profesor deberá darse un tiempo para informarle al alumno si dicho reporte es satisfactorio ó no lo es.

LA EVALUACION.- El trabajo de los alumnos, considero que debe hacerse en función de:

Trabajo durante la práctica 25%

Informe y conocimientos previos a la práctica 25%

Informe de resultados y conclusiones sobre la práctica realizada 50 %.

PRACTICA I

"PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO Y ACEPTACION DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO"

INSTRUCTIVO.

Información previa.

Las torres de enfriamiento tienen una gran utilidad dentro de la Industria en general, pues casi siempre se tiene la necesidad de disipar calor por medio del uso de agua.

Como no siempre se tiene una gran disponibilidad de agua y como este es un recurso de mucho valor en la actualidad, siempre se buscará economizarla al máximo; este es el objetivo principal de una Torre de enfriamiento aunque existen otros usos como los mencionados en capítulo II (17), (32).

El uso de las torres de enfriamiento puede representarse en las fig. 2, 14 y 15.

Una torre de enfriamiento es un aparato cerrado, diseñado para enfriar agua por evaporación de parte de la misma, por contacto directo con aire. El fenómeno por el cual se realiza este enfriamiento requiere de una diferencia de presiones (presión de vapor del agua y presión parcial del vapor de agua en el aire) además de una gran área de contacto entre las fases Agua-Aire. La representación esquemática de esta se tiene en la fig. 7 a 13.

La cantidad de agua que se pierde cuando se usan torres de enfriamiento es solo:

La cantidad evaporada

la que se arrastra por el aire

la cantidad de purga para disminuir la concentración de sólidos.

Dando aproximadamente un 3-4 % total del agua que circula en la Torre.

En la actualidad existen algunos fabricantes de Torres de enfriamiento quienes tienen monopolizada toda la información respecto al diseño-- preciso de las mismas, por esta razón, cuando alguna Industria requiere de uno de estos equipos no se dispone a diseñarlo sino simplemente a solicitarlo al fabricante proporcionándole los siguientes datos: T_2 , T_1 , Q , L .

Localización de la planta, Area disponible para el equipo de enfriamiento y tipo de equipos, en las cercanías de dicha área.

El fabricante utiliza ciertos criterios para seleccionar la Torre más adecuada (según capítulo III y IV) ó simplemente ofrece los tipos y arreglos que él maneja. (27, 30, 16).

Generalmente una Industria convoca a un concurso de diferentes fabricantes para comprar la Torre óptima para su proceso y esta torre debe cumplir con ciertas especificaciones ver capítulo V y la literatura. Sin embargo la mayoría de las Industrias adolecen de la información ó de los recursos adecuados para realizar por ellos mismos un rediseño o una evaluación previa a las proposiciones presentadas por los fabricantes (capítulo IV-V y VI) de tal manera de evaluar tan profundamente como sea necesario para seleccionar el equipo óptimo y no mal entendiendo a la economía.

A raíz de estos argumentos surge la proposición de una practica de prueba de aceptación o evaluación del funcionamiento de una Torre de enfriamiento. Estas pruebas se realizan según las normas establecidas en el capítulo V, o con las variantes de la misma, contenidas en el capítulo VI. y pretende cumplir con los siguientes:

OBJETIVOS:

- 1.- Aplicar a una realidad el procedimiento de evaluación del funcionamiento de una torre de enfriamiento.
- 2.- Operar una Torre de enfriamiento, controlando sus variables según las normas de la "prueba de funcionamiento", Capítulo V (2)
- 3.- Aplicar sus conocimientos teóricos a los cálculos que deban hacerse para la evaluación de los datos obtenidos y comparando con los garantizados para dicho equipo de enfriamiento.
- 4.- Evaluar que importancia tiene este procedimiento, en nuestra realidad nacional así como su mejoramiento y precisión.

EXPERIMENTO :

Antes de realizar la práctica resuelva el siguiente problema.

1.- Según el funcionamiento garantizado para la Torre paquete que se encuentra instalada en el laboratorio ver capítulo VIII ¿que eficiencia tendrá si al operarla se tienen los siguientes datos:

Gasto de Agua	345 l/min.
Gastos de Aire	687 Kg/min.
t _{bh}	14° C

R	8° C
A	3.9° C

DESCRIPCION.

La práctica consiste en operar la Torre según las normas, capítulo V, sobre prueba de funcionamiento y determinar todos los datos necesarios para evaluar la capacidad de la Torre según las mismas normas. Es conveniente adquirir habilidad sobre la operación del equipo antes de controlar las variable según los datos de garantía.

En caso de que la operación no cumpla con las normas establecidas se recomienda que se opere en dos corridas suficientemente diferentes para utilizar el método de evaluación de la prueba, (capítulo VI) que consiste en generar una curva característica a partir de los datos de 2 operaciones y de los datos de diseño.

DESCRIPCION Y DIAGRAMA DEL EQUIPO.

Según la información presentada en el Capítulo VIII

Diagrama de bloques (Fig. 67)

Diagrama de flujo de la Torre de enfriamiento y equipos accesorios --- (Fig. 68).

TECNICA.

Con base en la información del capítulo VIII y diagramas; los alumnos propondrán su propia técnica de arranque, el profesor dará su visto bueno y supervisará la operación del equipo por los alumnos.

CALCULOS:

- 1.- Determinar la carga térmica en la operación.
- 2.- Calcular el coeficiente de transferencia total para los datos de diseño y para los datos de prueba.
- 3.- Calcular la eficiencia de la Torre siguiendo las normas establecidas para la prueba de funcionamiento; usando la curva característica de la Torre, o por cualquiera de los métodos presentados en el capítulo VI.
- 4.- Calcular el coeficiente total de funcionamiento (C_T) para los datos de prueba usando las fig. 59 y 60. Comparar éste resultado con el $C_T = 265$ garantizado por el fabricante.

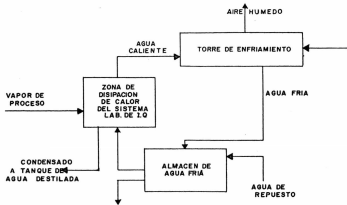


FIG. 67

TORRE DE ENFRIAMIENTO

(DIAGRAMA DE BLOQUES DE SU USO EN EL LAB. DE ING. QUIMICA.)

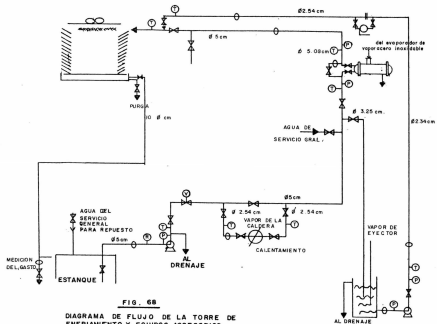


FIG. 68

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO Y EQUIPOS ACCESORIOS

PRACTICA II

OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

INSTRUCTIVO.

El contenido de la información previa, será suficiente el contenido del capítulo VIII en lo que a ésta se refiere.

OBJETIVOS:

- 1.- Practicar la operación de la Torre de enfriamiento en diferentes condiciones, controlando sus variables.
- 2.- Evaluar el efecto que tienen las variables de la operación, ejemplo, Gastos de agua sobre acercamiento.
- 3.- Evaluar el efecto que tiene la mala distribución del aire sobre el funcionamiento de la Torre.
- 4.- Aplicar el procedimiento de mantenimiento a un sistema de enfriamiento real.

EXPERIMENTO:

Antes de realizar la práctica realice el siguiente problema.

Con base en la información presentada respecto a la Torre tipo paquete instalada en el laboratorio de Ing. Q.-

?Qué temperatura de salida debe esperarse para la siguiente operación?

Gasto de Agua 425 l/min.

Rango 9.5° C

Temperatura de
bulbo húmedo 17° C

Utiliza como referencia el problema III capítulo VII

DESCRIPCION

a) Determinar primero la técnica de arranque del equipo y continuar su operación pretendiendo lograr las mismas condiciones de R, A y L que marca el diseño y lo mismo del problema Teórico.

c) Para una operación ha estado permanente, para la cuál todas las variables estan controladas.-

Obstruya el paso del aire a las persianas de alguna manera y vuelva a tomar los datos de la operación. A partir de la variación observada -- evalúe la pérdida en eficiencia que sufrió la Torre.

d) Finalmente realice paso a paso las instrucciones de mantenimiento, -

según capítulo VIII. Según la inspección realizada, consulte con el profesor y practique el mantenimiento que se requiera en cada lugar del sistema.

DESCRIPCION Y DIAGRAMA DEL EQUIPO (Fig. 65, 66, 67 y 68)

TECNICA.- Se preparará por los alumnos bajo los lineamientos que exige el manual de operación y de mantenimiento consulte Capítulo VIII.

CALCULOS.-

- 1.- Cuál es el factor limitante en el sistema de enfriamiento, calcule la carga térmica máxima alcanzada por el sistema.
- 2.- Calcule el coeficiente total de capacidad o funcionamiento (C_T) para cada una de las operaciones realizadas siempre que se haya operado a estado permanente.- Compare con el valor garantizado de $C_T = 265$.
- 3.- Elabore conclusiones respecto a las condiciones en que encuentra el equipo y los factores que pudieran haber disminuido su capacidad, si es éste el caso.

CONCLUSIONES:

La mayor parte de la tecnología sobre torres de enfriamiento se ha generado en otros países; en México existe la necesidad de información especializada para evaluar adecuadamente los criterios a seguir sobre selección, diseño, construcción y especificación .- Que permita generar una teoría propia acorde con las necesidades y recursos de la industria nacional.

Las dificultades que se tuvieron para adquirir la información presentada en este trabajo, se debieron a la falta de personas interesadas y capacitadas en el estudio científico, del uso de éstos equipos en nuestro país.- En general los usuarios se conforman con que el equipo satisfaga la necesidad de enfriamiento sin hacer un análisis de su operación, con el fin de evaluar si el equipo cumple con las características que el fabricante ha garantizado.

Aunque existen especificaciones determinadas que debe satisfacer una torre de enfriamiento, estas han sido desarrolladas por otros países o directamente por los fabricantes de estos equipos . Es lógico que nunca han considerado la naturaleza y características de nuestro país.

Por lo anterior propongo que se elabore un manual que evalúe los factores ambientales, para todas las localidades del país, que permitan diseñar con mayor conocimiento de la realidad.

Además propongo que se desarrolle una investigación experimental sobre la prueba de aceptación--funcionamiento existente, con el objetivo de generar las normas nacionales que deberán pasar estos equipos.

Considero que la información presentada cumple con los objetivos planteados y espero que el estudio práctico que se haga en la torre de enfriamiento, instalada en el laboratorio de ingeniería química, provoque en los futuros profesionistas mayor interés en este tema que es de importancia nacional.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bufete Industrial (México, D.F.) "Procedimiento para balances de material en Torres de Enfriamiento", México 1970.
- 2.- Cooling Tower Institute, Palo alto Calif. U.S.A. Boletín A T P-105; 1967 (prueba de funcionamiento)
- 3.- Cooling Tower Institute, Palo Alto Calif. U.S.A. Boletín A T P - 106; 1967 (formas para datos de prueba)
- 4.- Cooling Tower Instituto, Palo Alto Calif. U.S.A. Boletín N C L - 109; 1958 (Nomenclatura).
- 5.- Cooling Tower Institute, Palo Alto Calif. U.S.A. Boletín P F M - 110; 1958 (Recirculación).
- 6.- Cooling Tower Institute, Palo Alto Calif. U.S.A. Boletín S T D - 201; 1967 (Certificaciones).
- 7.- Cooling Tower Institute, Palo Alto Calif. U.S.A. Boletín T P R - 121; 1961 (Evaluación de Campo).
- 8.- Cooling Tower Institute, Palo Alto Calif. U.S.A. Boletín T P R - 126; 1962 (Efecto de Altitud).
- 9.- Cooling Tower Institute, Palo Alto Calif. U.S.A. Libro de curvas de funcionamiento para diferentes Rangos Acercamientos y Temperaturas de bulbo húmedo.
- 10.-Curtis S.D. Control de corrosión e incrustación en enfriamiento de agua, Chem. Eng. Prog. Julio 1971.
- 11.-De Menbrun J.R. "Factores considerados en la selección de Torres de Enfriamiento" Chen. Eng. 1968 septiembre.
- 12.-De Vecchi A. Bruno, Torres de enfriamiento y su comportamiento, - Cía. de Luz y Fuerza del Centro a la escuela de Ing. Mec. y Elec. en su "L" aniversario.

- 13.- Fluor Products Company Inc. Evaluación de los datos atmosféricos para el diseño del equipo de enfriamiento 1958, U.S.A.
- 14.- Fluor Products Company Inc. Manual de operación y mantenimiento de Torres de enfriamiento, para la Planta de Amoniaco de refinería de Salamanca.
- 15.- Gazzi L y Pasero R; Selección del Sistema de enfriamiento Hidrocarbón Processing Octubre 1970.
- 16.- Gurney J.D. y Cotter J.A. "Torres de Enfriamiento " Mc. Laren y Sons Ltd., Londres 1966.
- 17.- Kadel J.O. " Torres de Enfriamiento " presentado en American — Power Conference Abril 23, 1970 Chicago Illinois y U.S.A.
- 18.- Kelly N.W. y Swenson L.K. Vol. 52 No. 7 Chem. Eng. Prog. — 1956.
- 19.- Kuehmsted A, M. " Operación y Mantenimiento de Torres de enfriamiento " Chem Eng. Mayo 3, 1971.
- 20.- Lichtenstein Vol. 65 J. Trans. Am. Sec. Mech. Engrs. 1943.
- 21.- Ludwig Procesos y Plantas Petroquímicas.
- 22.- Marley Company Kansas City Missouri, U.S.A. Análisis de la prueba de funcionamiento para torres de enfriamiento.
- 23.- Marley Company Kansas City Missouri, U.S.A. Sugerencias para preinstalación de Torres de Tiro Cruzado, C F S -69
- 24.- Marley Company Kansas City Missouri, U.S.A. Manual de funcionamiento, Instalación y Operación, y Mantenimiento de Permato--wer, Agosto 1961.
- 25.- Marley Company Kansas City Missouri, U.S.A. Durabilidad de la Madera en servicio de torres de enfriamiento. Boletín R-62-W-1 - 1962.

- 26.- Mc. Cabe E.L. y Smith J.C. Operación Básica de la Ingeniería - Química, Traducción de Vazquez F.M. Ed. Reverte S.A. 1968.
- 27.- Mc. Kelvey K.K. y Brooke M. "La Torre de Enfriamiento Industrial " Elsevier Publishing Company New York, U.S.A. 1959.
- 28.- Maze R.W. "Típo practicos para el dimensionado de Torres de enfriamiento" Hidrocarbon Processing Vol. 46 No. 2 Febrero 1967.
- 29.- Nalco Chemical Company "Introducción al tratamiento de agua - para enfriamiento" Boletín 34 Chicago Illinois, U.S.A.
- 30.- Nester D.M. "Consideraciones de diseño, problemas de operación y su solución " Chem.Prog. Julio 1971.
- 31.- Pritchard J.F. " Funcionamiento de las Torres de enfriamiento de Tipo Contra Flujo " Kansas City 2 Mo. 1957.
- 32.- Thompson A.R. " Las Torres de enfriamiento para controlar la contaminación del agua " Chem. Eng. Octubre 14, 1968.
- 33.- Whitesell J. " Como evaluar las variables de las Torres de enfriamiento a Contra Flujo " Chem. Eng. enero 1955.