



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**CRITERIOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA
DE ENFRIAMIENTO PARA PLANTAS
QUIMICAS Y PETROQUIMICAS**

JOSE MANUEL ROMERO GALICIA

INGENIERO QUIMICO

1973

M-165662



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A la memoria de mis padres, como un póstumo
homenaje a su calidad humana

José Romero Cruz

Ana María Galicia de Romero

A mi hermano

Manuel Antonio

A mis hermanas

Rosa Nelly

Norma del Carmen

María del Socorro

Guadalupe

Con gratitud y cariño a mis tías

Francisca Bernal de Romero

Gloria Romero de Santos

A mi esposa

Orietta Martínez de Romero

A mis hijos

Ana María

Patricia

José Manuel

A mis Maestros

A mi Escuela

JURADO ASIGNADO

Presidente	Prof.	Enrique Barriga Guzmán
Vocal	Prof.	Carlos Doorman Montero
Secretario	Prof.	Alberto Jiménez Fernández
1er. Suplente	Prof.	Pablo Barroeta González
2do. Suplente	Prof.	Gerardo Bazán Navarrete

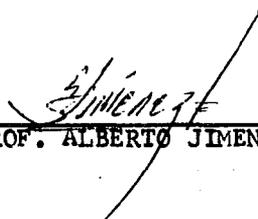
Sitio donde se desarrolló el tema: Bufete Industrial Dise
ños y Proyectos, S. A.

Nombre y Firma del Sustentante



JOSE MANUEL ROMERO GALICIA

Nombre y Firma del Asesor



PROF. ALBERTO JIMENEZ FDEZ.

I N D I C E

- I) INTRODUCCION
 - Generalidades
 - Objetivos
 - Alcance del Trabajo
- II) AGUA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO
 - Fuentes de Suministro
 - Ciclos de un Solo Paso
 - Ciclos con Recirculación
 - Torres de Enfriamiento-
 - Tratamiento Químico
- III) ESPECIFICACIONES DE EQUIPO
 - Definiciones y Criterios Básicos
 - Especificaciones de Torres de Enfriamiento -
 - Especificaciones de Equipo de Tratamiento Químico
 - Diagramas de Flujo
- IV) COMPRA DE EQUIPO
 - Solicitudes de Cotización
 - Evaluación de Cotizaciones
 - Orden de Compra
- V) CONCLUSIONES
- VI) APENDICE Y BIBLIOGRAFIA

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

GENERALIDADES

Se puede considerar que los servicios constituyen la fuente de energía de una planta. Representan un 17% de la inversión inicial y son el siguiente factor en importancia en el costo de operación y después de la materia prima y la mano de obra.

Servicios Más comunes en los que Interviene el Ingeniero Químico. Los servicios en los cuales el Ingeniero Químico interviene en su diseño son muy numerosos, sin embargo, se pueden considerar como los más comunes en cualquier tipo de planta los siguientes:

Agua

Combustibles

Vapor

Aire

Tratamiento de Efluentes

Agua. Interviene en una forma directa o indirecta en toda la planta de proceso.

En una planta normal pueden existir los siguientes tipos de agua:

Agua de Proceso

Agua de Alimentación a Calderas

Agua de Enfriamiento

Agua Sanitaria

Agua contra Incendio

Agua para Usos Generales

Combustibles. Son empleados en las plantas Químicas y Petroquímicas para calderas, motores de combustión interna, hornos, reactores, turbinas de gas, etc.

Los combustibles pueden ser:

Gaseosos

Líquidos

Sólidos

La selección del tipo de combustible dependerá de un estudio técnico-económico en el cual se tomará en cuenta la disponibilidad del combustible, costos de operación, costos de mantenimiento, contaminación, facilidad de operación, inversión inicial, etc.

Vapor. El vapor tiene tres usos principales:

a).- Medio de calentamiento directo en el cual se recuperan normalmente los condensados.

b).- Inyección al proceso o calentamiento directo, en el que no se recuperan los condensados.

c).- Fuente de energía motriz, como es el caso de las turbinas y máquinas a vapor, etc.

Aire. El empleo de aire comprimido puede ser para instrumentos y para servicio, incluyéndose dentro de este último su uso como energía motriz para herramientas, operaciones de limpieza, etc.

La presión requerida para aire de servicio varía entre - 100 y 125 psig. y para aire de instrumentos entre 25 y 45 psig

Tratamiento de Efluentes. La naturaleza de los efluentes industriales es muy variable y presenta problemas muy particulares dependiendo del tipo de planta. Las reglamentaciones con respecto a la contaminación atmosférica y de aguas son cada vez más estrictas por lo que el Ingeniero Químico debe tomar en cuenta las previsiones necesarias en el diseño.

OBJETIVOS

Una de las actividades que desarrolla el Ingeniero Químico en México actualmente es el diseño de los sistemas de servicio de plantas de proceso.

El objeto de esta tesis es señalar los conceptos que se siguen en el diseño de un sistema de agua de enfriamiento, -- que, en términos generales son representativos para todos los servicios.

La industria moderna emplea cantidades cada vez más grandes de agua para propósitos de enfriamiento para disipar el calor generado en las plantas de proceso, como, por ejemplo, condensadores de vapor de agua, cambiadores de calor, condensadores de amoníaco, etc. La cantidad de agua empleada por toda la industria es enorme, de tal modo que un amplio suministro de agua de enfriamiento es uno de los factores primordiales para definir la localización de una planta.

Uno de los factores más importantes, ya sea dentro de la fase de diseño de una planta industrial, o bien en la opera--

ción de una planta existente es el uso y consumo adecuado del agua de enfriamiento. Para ello es necesario considerar los siguientes puntos:

a).- Calcular cuidadosamente la cantidad de agua de enfriamiento requerida por el sistema.

b).- Elaboración de las especificaciones del equipo de enfriamiento.

c).- Tratamiento químico requerido por el agua de enfriamiento y elaboración de las especificaciones del equipo correspondiente.

d).- Compra del equipo del sistema de enfriamiento.

ALCANCE DEL TRABAJO

El presente trabajo se ocupa del diseño de sistemas de agua de enfriamiento, considerando como elemento básico del mismo la torre de enfriamiento de tiro mecánico, lo que se refiere a su especificación, evaluación y compra.

También se describen los conceptos referentes al tratamiento químico del agua de enfriamiento, así como la especificación del equipo correspondiente.

No se incluyen de ninguna manera los pasos concernientes al cálculo, especificación, compra, etc. del equipo enfriado.

C A P I T U L O I I

AGUA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO

FUENTES DE SUMINISTRO

El suministro de agua a una planta generalmente procede - de aguas superficiales tales como ríos, lagunas, lagos, etc., o bien de aguas subterráneas tales como pozos superficiales o pozos profundos. La selección de la fuente de suministro dependerá de:

Calidad del agua requerida

Calidad del agua en la fuente de suministro

Cantidad de agua requerida

Costos de operación (incluyendo tratamientos necesarios)

Sistemas de enfriamiento. El agua como medio de enfriamiento puede usarse en ciclos de un solo paso y en ciclos con recirculación. En el primer caso el agua enfría los fluidos de proceso y se descarga a la fuente de suministro. En el segundo caso, el agua enfría el fluido de proceso con lo que se eleva su temperatura, se enfría en una torre de enfriamiento y se recircula al sistema de enfriamiento.

AGUA DE UN SOLO PASO

Este sistema necesita una fuente de agua con capacidad suficiente para satisfacer la carga total de enfriamiento de la planta. El agua debe ser lo suficientemente clara para evitar depósitos e incrustaciones en los cambiadores de calor. Normalmente puede usarse el agua de pozo, sin ningún tratamiento. Sin embargo, las instalaciones para agua de río, lago y de mar son más complicadas.

El costo de un sistema de un solo paso es función de la inversión inicial, energía de bombeo y reactivos. Mientras que la última partida es muy pequeña, las dos primeras pueden verse afectadas por las condiciones locales.

Este sistema se usa muy poco.

CICLO DE ENFRIAMIENTO CON RECIRCULACION

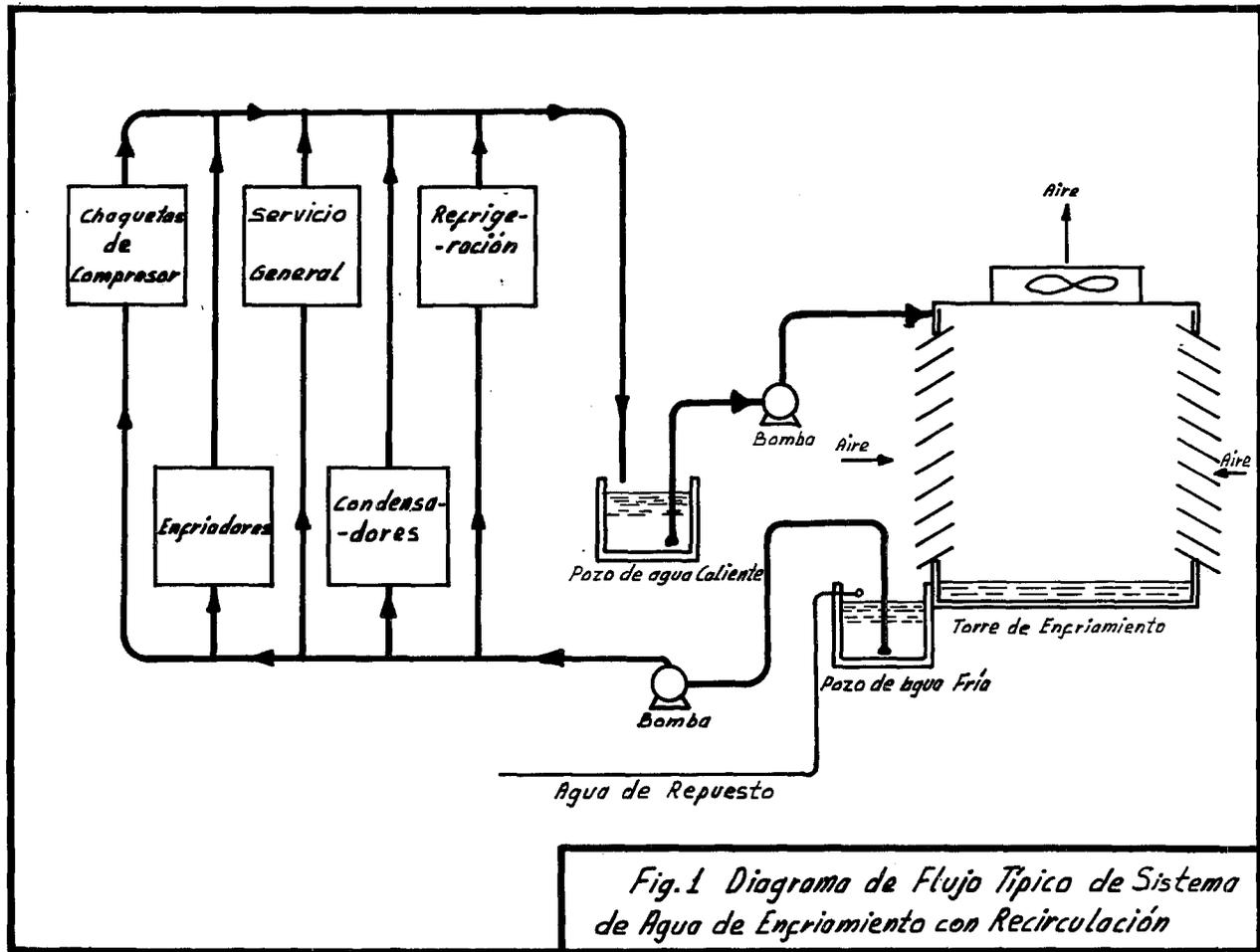
En este sistema el agua caliente proveniente de los cam--biadores de calor se hace pasar por una torre de enfriamiento en dirección contraria a una corriente de aire. Esto origina que se enfríe el agua por evaporación de parte de la misma -- (generalmente alrededor del 2%) y por intercambio de calor -- sensible. Como consecuencia de la evaporación aumenta la con--centración de las sales disueltas, por lo que es necesario tomar las medidas adecuadas para contrarrestar esta tendencia.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo del siste--ma.

TORRES DE ENFRIAMIENTO

Una torre de enfriamiento es una estructura cerrada, dise--ñada de tal forma que proporciona una mezcla íntima de agua y aire, que es el medio de enfriamiento, dando como resultado -- un enfriamiento acelerado del agua por el proceso evaporativo.

El principio fundamental de transmisión de calor es el -- proceso evaporativo. Cuando el agua se evapora, el vapor re--sultante se lleva el calor latente de vaporización. La pérdi--da de este calor ocasiona una reducción en la temperatura del



agua. La velocidad a la cual se transfiere el calor depende - de varios factores como son: a) la superficie del agua expuesta, b) tiempo de contacto, c) velocidad del aire a través de la superficie del agua, d) humedad relativa del aire, e) la - dirección del flujo de aire en relación a la superficie de agua, paralelo o transverso.

La superficie de agua puede aumentarse ya sea formando una película delgada a lo largo de una gran área ó formando partículas muy pequeñas por salpicadura o rociado.

El tiempo de contacto puede variar dependiendo de las dimensiones del espacio a través del cual fluye el agua. También puede controlarse por el diseño del componente que soporta el flujo.

La velocidad del aire depende de la acción de un ventilador o de las condiciones atmosféricas.

La humedad relativa es una función de las condiciones atmosféricas y usualmente varía de 30 a 100%.

La dirección relativa del flujo de aire a la superficie de agua depende del tipo de torre.

En términos generales puede estimarse que por cada 10°F de enfriamiento se evapora el 1% del agua circulante.

Tipos de torres de enfriamiento

Pueden ser atmosféricas (de poca importancia en las industrias de proceso), de tiro natural (hiperbólicas) y de tiro mecánico.

Torres de Tiro Natural (Hiperbólicas). Dependen de una chimenea para inducir el movimiento de aire a través de la torre. La forma de la chimenea es circular en planta y de perfil hiperbólico (ver Fig. 2).

El flujo de aire a través de la torre se produce por diferencia de densidades del aire, siendo el aire dentro de la torre menos denso que el atmosférico.

Son generalmente de gran tamaño y sus dimensiones pueden exceder a 400 pies de diámetro y 500 pies de altura.

En su funcionamiento juegan un papel muy importante la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa. Su operación es satisfactoria a humedades relativamente bajas, pero hay un límite económico de aplicación: aproximadamente 35% de humedad relativa para condiciones de diseño. Debajo de este punto aumentan considerablemente el tamaño y el costo de la torre.

Asimismo, trabajan mejor cuando la diferencia entre las temperaturas de agua fría y de bulbo húmedo es igual o mayor que la diferencia entre las temperaturas de agua caliente y agua fría.

No tienen ventiladores por lo que no hay costos de operación y mantenimiento por este concepto. Su principal limitación es su alto costo inicial.

Torres de Tiro Mecánico. Este tipo emplea uno o más ventiladores para mover el aire a través de la torre, lo que reduce la dependencia de las condiciones atmosféricas. El único -

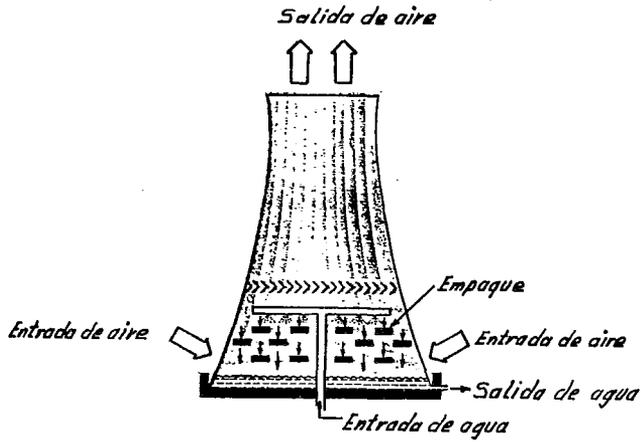


Fig. 2: Torre de tiro Natural (hiperbólica)

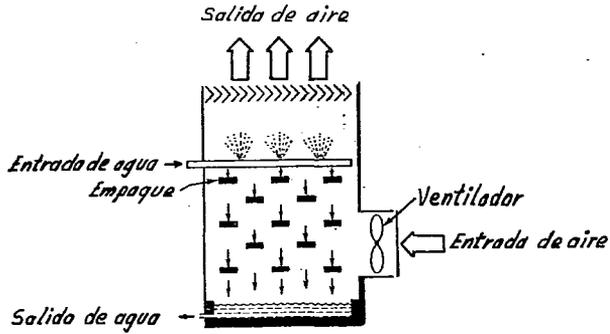


Fig. 3: Torre de Tiro Mecánico - Flujo a Contracorriente y Tiro Forzado

factor atmosférico que afecta el funcionamiento, es la temperatura de bulbo húmedo.

La provisión de ventiladores permite, además, un flujo relativamente alto y, consecuentemente, una torre más pequeña para un servicio dado.

La temperatura del agua puede controlarse razonablemente, regulando la cantidad de aire que pasa a través de la torre, variando la velocidad del ventilador, ya sea mediante el empleo de motores de dos velocidades, o por el uso de aspas ajustables, del ventilador. Asimismo, en las torres que utilizan varios ventiladores, éstos pueden conectarse o desconectarse en secuencia mediante un termostato al requerirse mayor o menor enfriamiento.

Una de las mayores ventajas de las torres de tiro mecánico es que pueden enfriar el agua a temperaturas más bajas y con mayores rangos de enfriamiento que las torres de tiro natural.

Debido al empleo de ventiladores sus costos de operación y mantenimiento son mayores que para las torres de tiro natural. Sin embargo, estos costos se compensan en parte por el ahorro en energía de bombeo, ya que la altura de bombeo es menor que para las torres de tiro natural. Además, la consideración más importante es quizá que la inversión inicial es menor que para las torres de tiro natural.

De acuerdo al movimiento relativo del agua y del aire se

clasifican en torres de flujo a contracorriente y torres de flujo cruzado.

Torres de Flujo a Contracorriente. En este tipo el aire y el agua fluyen a contracorriente. El agua fluye hacia abajo a través del empaque, mientras que el aire fluye hacia arriba.

En este arreglo el agua enfriada que abandona el empaque se encuentra con el aire de condición más fría y seca. Al pasar el aire a través del empaque remueve calor y humedad y en la parte superior del mismo se halla en contacto con el agua caliente que entra a la torre.

Estas torres pueden subdividirse en dos grupos dependiendo de que el ventilador maneje el aire de entrada o el de descarga, conociéndose como torres de tiro forzado y tiro inducido, respectivamente. Estos diseños se muestran en las Figuras 3 y 4.

Una ventaja de las torres de tiro forzado es que por su configuración es adecuada para casos en los que se desea colocar la torre dentro de un edificio.

Una ventaja adicional, de mayor valor quizá, es que las torres de tiro forzado son casi siempre de menor altura que las de tiro inducido, aunque este punto debe compararse contra el riesgo común encontrado de la recirculación de aire saturado.

Teniendo la masa del ventilador en la base sufren menos de vibración y la debilitación estructural desarrollada que

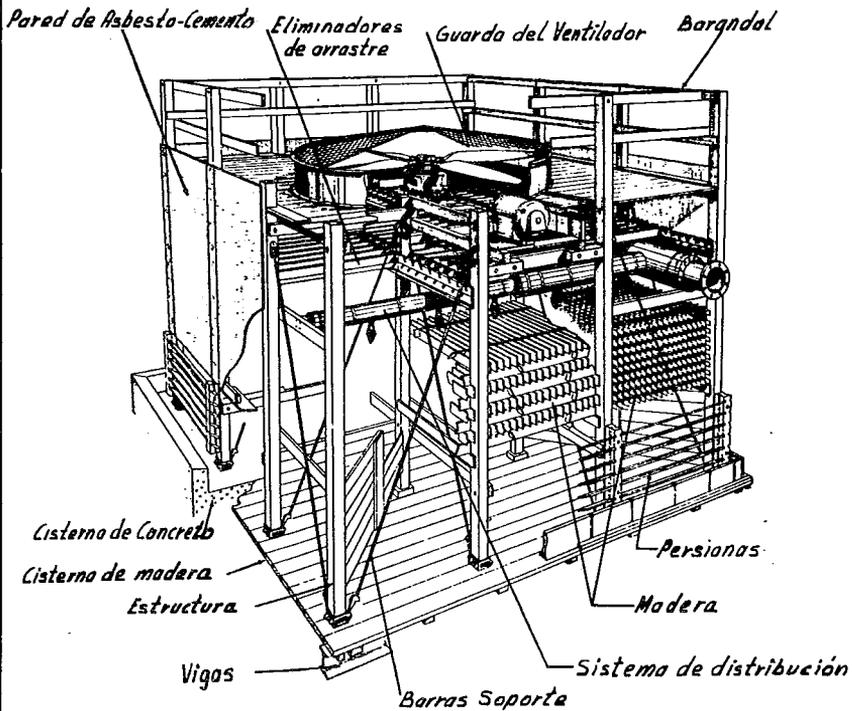
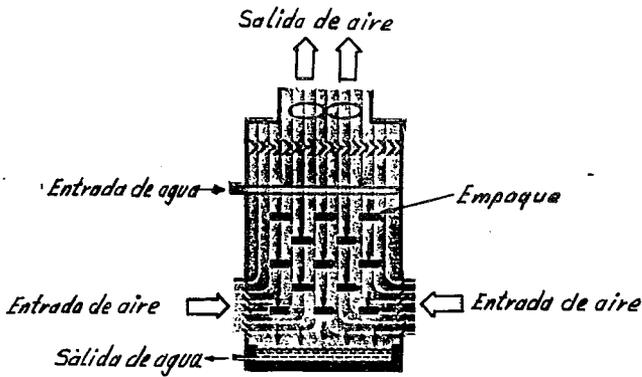


Fig. 4: Torre de Tiro Mecánico. Flujo a Contracorriente y Tiro Inducido.

las de tiro inducido. Además, las condiciones son menos corrosivas para el ventilador.

Las torres de tiro forzado tienen varias desventajas. Las principales son:

a).- Recirculación. El aire saturado caliente descargado a baja velocidad en la parte superior de la torre puede ser arrastrado fácilmente en la contracorriente de aire de alta velocidad a la entrada del ventilador.

b).- Requieren áreas superficiales mayores que las torres de tiro inducido, aunque en éstas las entradas de aire deben estar libre de obstrucciones.

c).- Ya que el ventilador se coloca lateralmente, la altura de la torre aumenta con el diámetro del mismo, aunque la altura de empaque permanezca constante.

d).- Las condiciones de la entrada pueden ocasionar la congelación del agua, en lugares con temperaturas muy bajas. En este caso existe el peligro de que el hielo pueda formar un puente entre la periferia de las aspas y la carcasa cuando el ventilador se halla estacionario, con la posibilidad de dañar el motor al intentar rearrancar.

La mayoría de las torres a contracorriente que están siendo instaladas actualmente son del tipo inducido.

El empaque empleado por estas torres puede ser del tipo de salpique o del tipo de película.

Su sistema de distribución de agua es usualmente del tipo de baja presión.

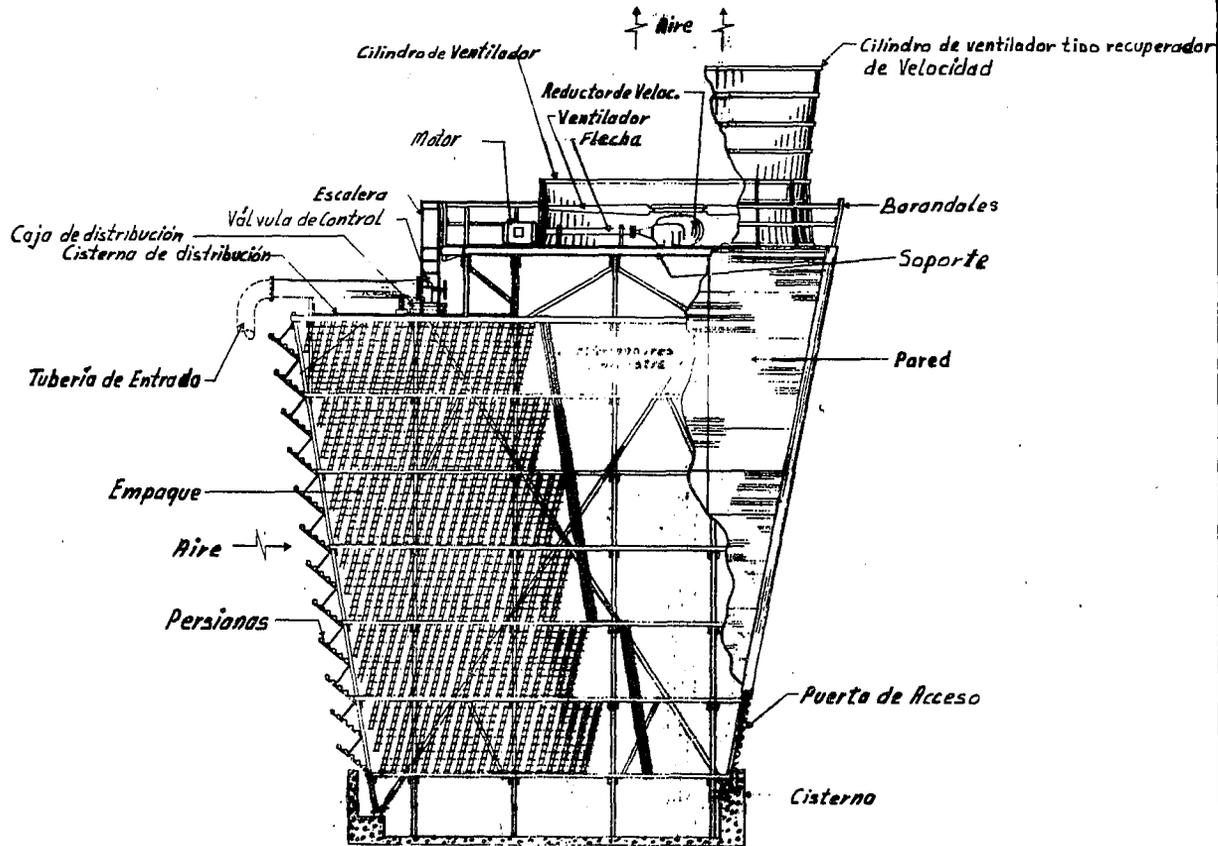
Como se dijo anteriormente, en las torres del tipo de tiro inducido, el ventilador se coloca en la parte superior de la torre y las entradas del aire se colocan a los lados. Esta configuración conduce a una distribución pareja de aire a través del empaque con un mejor intercambio de calor entre el agua y el aire.

En contraste con las torres de tiro forzado, la velocidad del aire, a la entrada de la torre es baja, mientras que a la descarga del ventilador es alta. Consecuentemente, el peligro de recirculación es menor.

Torres de Flujo Cruzado. En este caso, el agua cae por gravedad sobre el empaque y el aire fluye horizontalmente. Pueden ser de flujo cruzado sencillo o de doble flujo cruzado, según se muestra en las Figuras 5 y 6. Generalmente se fabrican de tiro inducido, con empaque de tipo salpique. En comparación a las torres de flujo a contracorriente presentan las siguientes ventajas:

a).- Baja pérdida de tiro. Para torres de tamaños comparables esto resulta en un mayor flujo de aire con la misma potencia del ventilador.

b).- Carga de bombeo menor. Su sistema de distribución es por gravedad por lo que la carga de bombeo es sólo ligeramente mayor que la altura de empaque. En las torres a contracorriente que emplean espreas la carga de bombeo será mayor debido a la presión adicional requerida por las espreas.



Sección Transversal

Fig. 5: Torre de Tiro Mecánica de Flujo Cruzado Sencillo

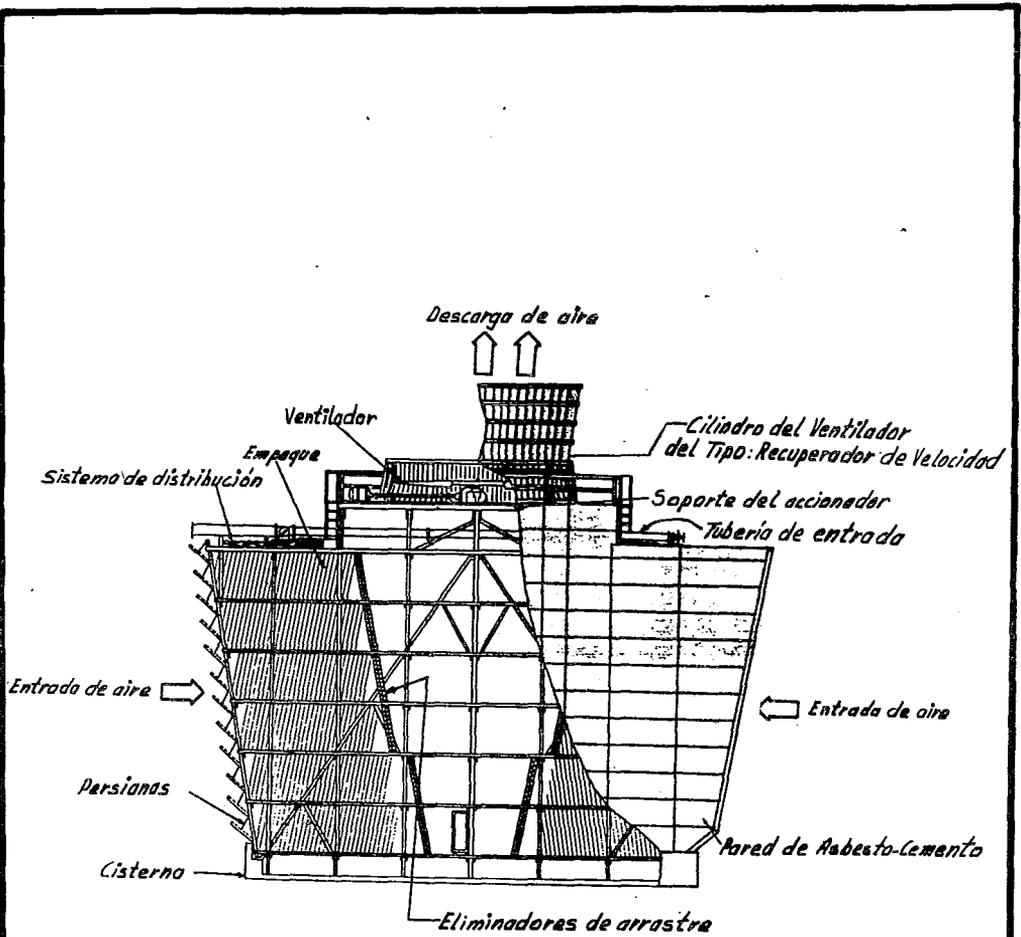


Fig. 6- Torre de Enfriamiento de Doble Flujo Cruzado

Componentes Principales de Torres de Enfriamiento

Las condiciones de operación en una torre de enfriamiento son severas, ya que se tiene una atmósfera corrosiva húmeda. Por ello se requiere que los elementos que la forman sean diseñados para funcionar bajo estas condiciones críticas.

A continuación incluimos comentarios sobre los componentes principales de una torre de enfriamiento:

Ventiladores. Su función es proporcionar eficientemente el flujo predeterminado de aire a través de la torre para lograr el enfriamiento requerido.

Pueden ser del tipo de propela o centrífugos, siendo predominante el empleo de los primeros, que tienen la característica de manejar grandes volúmenes de aire a bajas cargas estáticas, por lo que son los considerados en el presente estudio.

El número mínimo de aspas recomendable es de 4 para ventiladores de tamaño medio y de 8 para ventiladores grandes, -- mientras que 12 es un número práctico máximo.

La velocidad periférica no debe exceder de 12000 pies por minuto.

Los materiales utilizados para las aspas son generalmente aleaciones de aluminio y resinas termoplásticas reforzadas.

Engranajes reductores de Velocidad. Los componentes del engrane pueden ser de varios tipos aceptables siendo los más comunes: cónico espiral y helicoidal.

Para ventiladores de diámetro igual o mayor a 20 pies es deseable emplear reductores de dos etapas.

Factor de Servicio de Engranés. Es la relación de la potencia básica calculada a la potencia aplicada. Varía con el tipo de accionador y con el tipo de servicio, ya sea continuo o intermitente. Su valor lo establece La Asociación Americana de Fabricantes de Engranés (The American Gears Manufacturers Association). Para motores eléctricos son aceptables los valores en servicio continuo de 2.0 para reductores cónicos espirales y 1.5 para helicoidales.

La vida del reductor de velocidad depende a su vez de las chumaceras, las cuales se seleccionan sobre la base de cien mil horas de operación.

Otro aspecto importante que hay que considerar es la lubricación adecuada del reductor de velocidad.

La flecha que une el accionador con el reductor de velocidad se construye generalmente de acero al carbón con un recubrimiento protector o bien de acero inoxidable.

Motores Eléctricos. Es recomendable el uso de motores totalmente cerrados para el servicio de torres de enfriamiento por las condiciones que prevalecen en su operación.

Debe considerarse la posibilidad de instalar motores de dos velocidades, ya que de esta manera pueden reducirse los costos de operación.

Estructura de la Torre. Debe ser capaz de soportar no sólo el peso de los componentes básicos, sino además el peso de agua circulante y las cargas por viento y por temblor. Generalmente se diseña para soportar una carga de viento de 30 libras

por pulgada cuadrada y en algunas áreas puede ser mayor este --
valor.

Empaque. Es el corazón de la torre de enfriamiento. Desde el punto de vista de diseño debe tener alto coeficiente de --- transferencia de calor y masa; baja resistencia al flujo de ai re y mantener distribución adecuada de aire y agua.

De acuerdo a su funcionamiento los dos tipos principales - de empaque son: de salpique o rociado y de película.

Los materiales de construcción del empaque más usuales son madera, asbesto-neopreno y plásticos.

Chimenea del Ventilador. Tiene tres funciones:

- a).- Ayuda a eliminar la turbulencia de aire en la garganta.
- b).- Produce efecto de chimenea al descargar el aire.
- c).- Actúa como guarda para reducir la recirculación, so--
bre todo si tiene suficiente altura.

Su forma puede ser del tipo cónico o del tipo venturi o re recuperador de velocidad, en cuyo caso tiene de 14 a 20 pies de

a. El tipo recuperador de velocidad o venturi puede mover
aire con la misma potencia.

Soporte del Ventilador. Se considera como una parte de la estructura de la torre. Actúa como un diafragma para transmi--
tir cargas vivas y cargas muertas a la estructura. También pro
porciona una plataforma para las chimeneas de los ventiladores así como acceso al equipo mecánico y sistema de distribución. Generalmente se diseña para una carga viva disponible de 60 li

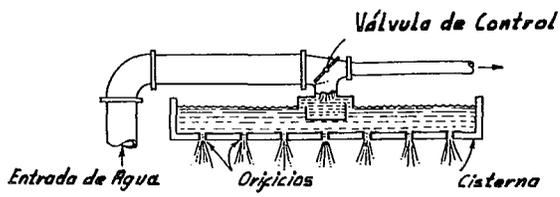
bras por pie cuadrado. Se construye de madera o de acero galvanizado.

Cubierta. Su principal función es contener el agua dentro de la unidad. También contribuye a la apariencia de la torre.- El material de construcción más popular es asbesto-cemento. -- También se emplea plástico reforzado de vidrio.

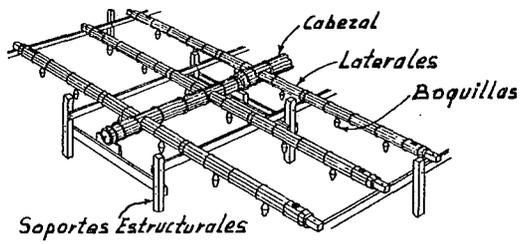
Eliminadores de Arrastre. Su objeto es remover el agua suspendida en el aire de descarga. Se clasifican como de paso simple, dos pasos, o tres pasos dependiendo del número de cambios de dirección que experimenta el aire al pasar a través de ellos. Un eliminador de arrastre, de diseño adecuado, debe disminuir las pérdidas por arrastre a un nivel aceptable sin aumentar significativamente la caída de presión la que se reflejaría en un mayor consumo de potencia. Los materiales de los eliminadores pueden ser madera, acero galvanizado, acero inoxidable, plástico y asbesto.

Sistema de distribución de Agua. Puede ser del tipo de gravedad, usado en torres de flujo cruzado; o del tipo de baja presión, utilizado en torres de flujo a contracorriente. En la Fig. 7 se muestra el sistema de distribución por gravedad y en la Fig. 8 el de baja presión.

Cisterna. Su función principal es recolectar el agua en friada proveniente de la torre de enfriamiento. Usualmente es proporcionada por el cliente y la responsabilidad de su diseño es del comprador, aunque el fabricante proporciona la información pertinente y sugiere el arreglo adecuado. Como regla general las cisternas de las grandes torres industriales son de --



*Fig. 7: Sistema de distribución por gravedad.
Característico de Torres de flujo cruzado.*



*Fig. 8: Sistema de distribución de baja presión.
Empleado en Torres de flujo a contracorriente.*

concreto.

TRATAMIENTO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

Todas las aguas naturales contienen cantidades variables de sales y gases disueltos, así como materiales en suspensión los cuales pueden ser causa de problemas operacionales por lo que es necesario emplear procedimientos de tratamiento adecuados - para lograr el buen funcionamiento del sistema de enfriamiento.

Entre los tratamientos más comunes se encuentran los siguientes:

Para prevenir Incrustación

Para prevenir Corrosión

Control Microbiológico

Tratamiento para Prevenir Incrustación. Entre los sólidos disueltos más comunes contenidos por el agua se cuentan los -- sulfatos, bicarbonatos, nitratos y cloruros de calcio, magnesio y sodio. También contiene sílice, alúmina y compuestos formados por hierro y manganeso. El contenido de estos compuestos depende de la fuente de suministro de agua.

Aunque la tendencia incrustante del agua de enfriamiento - se debe principalmente a la presencia de carbonatos de calcio y magnesio, es necesario prevenir la deposición de silicatos - de calcio y magnesio y sulfato de calcio.

Las cuvas de la Figura 9 dan una idea de la solubilidad relativa del carbonato de calcio comparada con las del sulfato - de calcio. Aunque se ilustran varias formas de sulfato de calcio, el yeso es el que se encuentra normalmente en el agua de

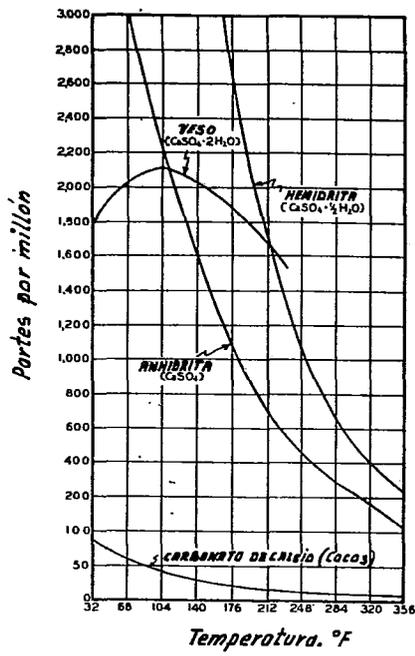


Fig. 9: Solubilidad del Carbonato de Calcio comparada a la del Sulfato de Calcio

enfriamiento. Debido al hecho de que el carbonato de calcio es considerablemente menos soluble que el sulfato de calcio, el tipo de incrustación formado en sistemas de recirculantes es principalmente carbonato de calcio en la mayoría de los casos.

La condición incrustante del agua de enfriamiento se aumenta en los sistemas de agua con recirculación debido a que la evaporación continua del agua eleva la concentración de los sólidos disueltos.

El criterio que define la tendencia incrustante del agua de enfriamiento es los ciclos de concentración, o sea, la relación de sólidos disueltos en el agua circulante a los sólidos disueltos en el agua de repuesto. Esta relación se expresa generalmente en términos de cloruros por ser éstos altamente solubles y no precipitarse durante el proceso de tratamiento.

Mientras que la evaporación de agua ocasiona aumento de concentración de sólidos en el agua circulante, las pérdidas por arrastre, que son las partículas finas de agua arrastradas por el aire circulante, tienden a limitar el grado de concentración. La cantidad de agua perdida por arrastre es función del diseño de la torre de enfriamiento.

Para evitar una sobresaturación con respecto al carbonato de calcio, así como para controlar la formación de sulfato de calcio, silicatos de calcio y magnesio, es necesario limitar los ciclos de concentración. Esto se logra por medio de purgas continuas y/o periódicas del agua circulante concentrada, las cuales se reemplazan con agua de repuesto. Además, es necesario

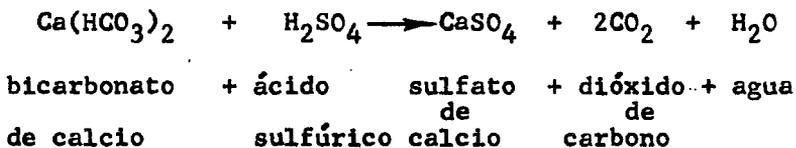
efectuar tratamientos adecuados del agua de enfriamiento.

Tratamiento Acido. Mientras que las purgas constituyen un método efectivo para limitar los ciclos de concentración y, -- por lo tanto, el potencial incrustante del agua circulante, no es siempre posible usar velocidades excesivas de purgas para realizar este objetivo. Es posible que en muchas localidades el suministro de agua de repuesto sea limitada o costosa. Por lo anterior se concluye que es necesario emplear medidas de tratamiento que permitan ciclos de concentración más altos en el agua circulante, con la consecuente disminución de la velocidad de purga.

En aquellos casos en los que se desee disminuir las purgas, ya sea por razones técnicas o económicas, es necesario suavizar el agua de repuesto o bien usar un tratamiento ácido. En términos generales puede decirse que los procedimientos de suavización no pueden justificarse económicamente en comparación con el tratamiento ácido.

El ácido sulfúrico es el que se emplea usualmente, debido a su bajo costo, en el tratamiento ácido. El objetivo de este tratamiento es reducir la tendencia incrustante, sin desarrollar una condición ácida en el agua circulante.

Por medio de este tratamiento el bicarbonato de calcio es convertido a sulfato de calcio que es más soluble y más estable. La reacción que se efectúa es:



De la ecuación anterior puede observarse que el tratamiento ácido disminuye la alcalinidad y, por virtud de esta reacción, reduce el grado de sobresaturación con respecto al carbonato de calcio. El sulfato de calcio formado es más soluble que el carbonato de calcio por lo que puede tolerarse una mayor concentración de esta sal.

Cuando las condiciones son adecuadas este proceso tiene las siguientes ventajas:

a).- Baja inversión inicial

b).- Bajos costos de operación en lugares en donde el ácido es barato .

c).- No se forman precipitados por lo que no se requiere equipo especial para separar sólidos del agua.

Límites. Este tratamiento requiere habilidad en su control para evitar el peligro de sobredosificar el ácido lo que tendería a ocasionar corrosión.

Este método se aplica a aguas que no contienen cantidades excesivas de sulfatos y que no contienen hierro.

Tratamiento para Prevenir Corrosión. La corrosión se define como la destrucción de un metal por acción química o electroquímica.

El contacto íntimo del agua con el aire en la torre ocasiona que el agua se sature con oxígeno. Por lo tanto, este gas se halla presente continuamente y representa la mayor fuente de dificultades de corrosión. Otros factores que ejercen influencia en la corrosión son el pH, la conductividad, la pre-

sencia de dióxido de carbono, cloruros, ácido sulfhídrico, amoníaco, dióxido de azufre, temperatura de operación, efecto galvánico, etc.

Para reducir las tendencias corrosivas del agua es necesario eliminar las impurezas que las ocasionan. Esto significa - eliminar el oxígeno, el dióxido de carbono y otros gases corrosivos, así como mantener un valor adecuado de pH.

Como alternativa se tiene el empleo de inhibidores de corrosión, los cuales actúan para detener o retardar las fuerzas electroquímicas que ocasionan la corrosión. De acuerdo a la naturaleza electrolítica de la corrosión, los inhibidores pueden ser anódicos o catódicos.

Un inhibidor anódico es aquel que restringe la reacción anódica de corrosión:



Entre los inhibidores del tipo anódico se cuentan los cromatos, nitratos, fosfatos e hidróxidos de sodio y potasio.

Los inhibidores catódicos son aquellos que restringen la reacción:



Este tipo de inhibidores incluye los hidróxidos, óxidos y carbonatos de zinc y níquel.

Entre los inhibidores más usados se tienen los cromatos y los polifosfatos, ya sea individualmente o combinados. También se utilizan con frecuencia, combinaciones zinc-cromatos.

Compuestos de Cromato. La acción de los cromatos como inhibidores de corrosión se explica por la reacción de los iones de cromato o bicromato con los iones ferrosos que se desprenden de las áreas anódicas, formando una mezcla de hidróxidos férrico y crómico como una película fuertemente adherente que se une por sí misma sobre las áreas anódicas.

El consumo de cromato es directamente proporcional a la velocidad de desprendimiento de los iones ferrosos, es decir, a la velocidad de corrosión. Por tanto, cuando la concentración se mantiene suficientemente alta para proporcionar un recubrimiento completo de las áreas anódicas; el consumo de cromato por la reacción de inhibición puede ser cero y la única pérdida será la debida al arrastre por el viento o las purgas. A menos que las pérdidas del sistema sean altas, es preferible mantener concentraciones de cromato de una magnitud que asegure una protección completa, lo cual puede requerir de 300 a 500 ppm. Se ha asegurado una protección regularmente buena con dosis inferiores de cromato mediante la adición de pequeñas dosis de metafosfato en combinación con el cromato.

La manera como se elimina el agua de purgas de torres de enfriamiento, deberá considerarse cuando se controla la corrosión con cromatos. Tal eliminación presenta un problema si estas aguas van a descargarse sobre aguas superficiales usadas para fines potables. Deberá tenerse cuidado para eliminar la contaminación de aguas de pozo o por introducción de cromatos al manto acuífero que abastece a los pozos.

Control Microbiológico. Los depósitos biológicos en los sistemas de agua de enfriamiento recirculantes son el resultado del crecimiento y desarrollo excesivos de algas, hongos y bacterias.

Se emplean diferentes tipos de agentes químicos para el control de los microorganismos. El propósito fundamental del agente químico es matar y/o inhibir el crecimiento de organismos. Si un bactericida dado se encuentra en cantidad suficiente, matará las bacterias. Sin embargo, a niveles de concentración menores, sólo inhibirá el crecimiento del organismo. Mientras que a concentraciones extremadamente diluidas puede darse el caso de que la sustancia química estimule el crecimiento de los microorganismos.

Cloro. El cloro es, probablemente, el agente más empleado para el control de depósitos microbiológicos en los sistemas recirculantes. En ausencia de elementos que ocasionan una demanda alta de cloro, esta sustancia constituye el método más económico de tratamiento.

El cloro es altamente tóxico y actúa rápidamente para matar bacterias. Una cantidad residual de cloro de 0.3-1.0 ppm usualmente destruye la mayoría de los microorganismos. Sin embargo, ya que actúa sobre materiales oxidables, la demanda de cloro aumenta grandemente por la presencia de materia orgánica, ácido sulfhídrico y hierro ferroso. Por tanto, deben agregarse cantidades suficientes de cloro para desarrollar el residual necesario para toxicidad y para satisfacer la demanda de otros

materiales presentes en el agua y que son fácilmente oxidables o que poseen la habilidad de absorber cloro.

La cantidad de cloro requerida para el control de depósitos biológicos en un sistema particular está gobernada por numerosos factores como son calidad del agua de repuesto, temperaturas de agua en el sistema, relación de aire a agua, presencia de agentes reductores y la cantidad de contaminación biológica.

Para el control biológico de cualquier sistema es necesario:

a).- Que se alimente la cantidad de cloro suficiente para asegurar el contenido residual necesario de cloro del agua tratada.

b).- Que este cloro residual sea mantenido en el sistema durante el tiempo de control adecuado.

Cloro Residual Libre. Mientras que una cantidad de cloro residual de 0.3-1.0 ppm es generalmente adecuada para matar la mayoría de microorganismos que contaminan los sistemas de agua de enfriamiento, es necesario que esté presente como cloro residual libre y no como cloro residual combinado. Se define como cloro residual libre la porción de cloro residual total que reaccionará química y biológicamente como ácido hipocloroso o ión hipoclorito. Es en esta forma que el cloro ejerce el efecto bactericida más potente. El cloro residual combinado se define como aquella porción del cloro residual total que reaccionará química y biológicamente como cloramina, o cloraminas

orgánicas. En esta forma el cloro disminuye su poder bactericida y oxidante. Experimentalmente se ha demostrado que para lograr acción bactericida 100% con el mismo tiempo de contacto es necesario utilizar 25 veces la cantidad de cloro residual combinado del cloro residual libre requerido.

Tipos de Cloración. La adición de cloro puede ser intermitente o continua. La práctica común es cloración intermitente debido a la economía que puede lograrse.

Un programa de cloración que generalmente tiene éxito es adicionar cloro diariamente hasta que se logra obtener cloro residual libre de 1 ppm durante un periodo de 4 horas. El ajuste de este programa básico puede hacerse de acuerdo a cada caso particular.

Efecto del Cloro Sobre la Madera de la Torre. Mientras que la cloración es un método satisfactorio para controlar la incrustación biológica, debe usarse juiciosamente. El empleo de concentraciones excesivas de cloro tiene un efecto adverso sobre la madera, ya que originan la delignificación de la misma.

Una solución a este problema la representa el uso de agentes no oxidantes para suplementar la acción bactericida del cloro y minimizar el ataque del cloro a la madera.

C A P I T U L O I I I

B A S E S D E D I S E Ñ O .

DEFINICIONES Y CRITERIOS BASICOS

Carga de Calor. Es la cantidad de calor que se disipa en la torre de enfriamiento. Su expresión en Btu/hr. se obtiene multiplicando el flujo de agua, en libras por hora, por el rango de enfriamiento, en °F.

La carga de calor impuesta sobre una torre de enfriamiento se determina por el proceso particular. El grado de enfriamiento está determinado por el nivel de temperatura deseado.

El tamaño y costo de la torre de enfriamiento, así como el equipo relacionado, están en función de la carga de calor. Si para un sistema dado, el valor calculado de la carga de calor queda corto, se comprará equipo pequeño para el servicio requerido. Si por el contrario, la carga calculada resulta mayor, se comprará equipo más grande y, obviamente, más costoso.

Temperatura de Bulbo Húmedo. Es la temperatura más baja a la que puede enfriarse el agua, teóricamente, por el procedimiento evaporativo. Sin embargo, se requiere una torre de tamaño infinito, para que la temperatura del agua alcance este valor. Por lo tanto, siempre hay una diferencia entre las temperaturas del agua fría y de bulbo húmedo, la que recibe el nombre de acercamiento.

La selección de la temperatura de bulbo húmedo debe de hacerse sobre la base de las condiciones existentes en el sitio de la torre. La temperatura especificada es generalmente cercana al valor máximo promedio para los meses de verano. El análisis de funcionamiento ha demostrado que la mayoría de las

instalaciones industriales basadas en temperaturas de bulbo húmedo excedidas en no más de un 5% durante un verano normal, han dado excelentes resultados. Dependiendo del área geográfica, el rango usual de selección es de 60-83°F. En la especificación de la temperatura de bulbo húmedo de diseño es necesario tomar en cuenta los efectos de recirculación de la misma torre de enfriamiento.

La selección de la temperatura de bulbo húmedo adecuada es de primordial importancia para obtener la torre de enfriamiento óptima para un servicio dado. Una temperatura de bulbo húmedo muy alta ocasionará una torre sobrediseñada; un valor muy pequeño traerá como consecuencia una torre con capacidad insuficiente.

Acercamiento. Es la diferencia entre las temperaturas del agua fría que sale de la torre y la de bulbo húmedo. Es el parámetro por sí solo más importante para determinar el tamaño y costo de la torre.

Una vez definidos la temperatura de bulbo húmedo y el rango, la selección del acercamiento fija las temperaturas de operación.

Para una carga de calor dada, el tamaño de la torre de enfriamiento aumenta al disminuir el valor del acercamiento, de acuerdo a lo mostrado en la Fig. 10. Por ejemplo, considérese una torre diseñada para un rango de 15°F, un acercamiento de 15°F y una temperatura de bulbo húmedo de 76°F. La disminución del acercamiento a 10°F. aumenta el tamaño de la torre en un 50%. Si se cambia el valor del acercamiento de 15°F a -

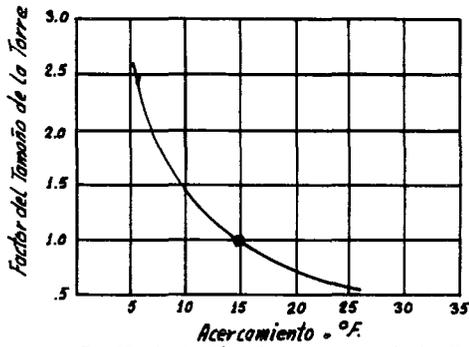


Fig.10: Variación del Tamaño de La Torre, manteniendo constantes, La carga de calor, el Flujo de agua y la Temperatura de Bulbo húmedo.

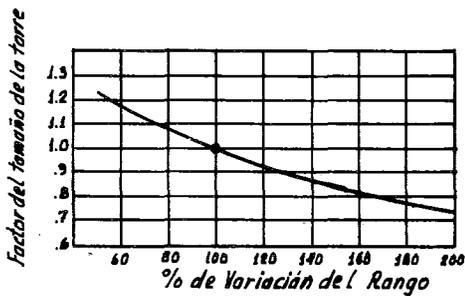


Fig.11: Efecto sobre el tamaño de la torre de la variación del Rango. Siendo constantes, La carga de calor, Temperatura de Bulbo húmedo y temperatura de agua fría.

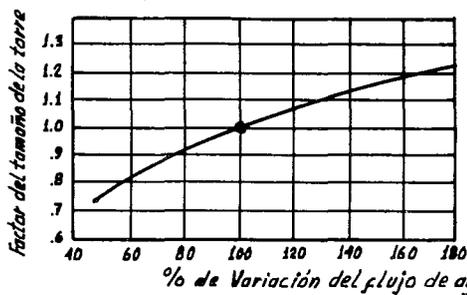


Fig.12: Modificación del tamaño de la torre cuando se varía el flujo de agua manteniendo constantes, la carga de calor, Temperatura de Bulbo húmedo y Temperatura de agua fría.

5°F se aumenta el tamaño de la torre en un 150%.

No es recomendable usar acercamientos menores de 5°F.

Rango. Es la diferencia entre las temperaturas de entrada y salida del agua de la torre de enfriamiento.

La selección del rango óptimo depende principalmente de las características operacionales del equipo que requiere agua de enfriamiento. En términos generales, los rangos se clasifican como amplios, 25 a 65°F.; medianos, 10 a 25°F. y pequeños, 5 a 10°F.

El rango y el flujo de agua están relacionados de tal modo que un cambio en uno de ellos afecta al otro. Por ejemplo, el aumento de flujo de agua disminuye el rango de enfriamiento. En las Figuras 11 y 12 se muestra la influencia de estas variables sobre el tamaño de la torre de enfriamiento.

Carga de Bombeo. Es la presión requerida para elevar el agua desde la cisterna a la parte superior de la torre y forzarla a través del sistema de distribución. Es igual a la suma de la carga estática más la presión requerida por el sistema de distribución.

Recirculación. Es una condición en la que una parte de los vapores descargados de la torre son recirculados a través de la misma.

Interferencia. Es la contaminación del aire de entrada a la torre con los vapores descargados de otra torre o fuente de calor.

Índice de Saturación de Langelier. Es un criterio que nos ayuda a definir la tendencia corrosiva o incrustante del agua.

Se define como la diferencia algebraica entre el pH que tiene el agua y el calculado a saturación con carbonato de calcio, pH_S , es decir:

$$\text{Índice de saturación} = pH - pH_S$$

El valor del pH_S se obtiene de la siguiente relación:

$$pH_S = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

Los valores de A, B, C y D se obtienen de las correspondientes Tablas 1, 2, 3 y 4, en las que:

A = Sólidos totales en ppm.

B = Temperatura en °F.

C = Dureza de calcio expresada como ppm de $CaCO_3$.

D = Alcalinidad expresada como ppm de $CaCO_3$.

Si el índice es cero, esto significa que el agua está en equilibrio con respecto al carbonato de calcio.

Un valor positivo del índice de saturación expresa una tendencia a incrustar carbonato de calcio.

Un valor negativo del índice de saturación indica la tendencia a disolver el carbonato de calcio existente y, por tanto la tendencia corrosiva del agua.

<u>1</u>		<u>3</u>		<u>4</u>	
Sólidos Totales		Dureza de Calcio		Alcalinidad al a. de m.	
ppm	A	ppm de CaCO ₃	C	ppm de CaCO ₃	D
50-300	0.1	10-11	0.6	10-11	1.0
400-1000	0.2	12-13	0.7	12-13	1.1
		14-17	0.8	14-17	1.2
		18-22	0.9	18-22	1.3
		23-27	1.0	23-27	1.4
<u>2</u>					
Temperatura °F	B				
32-34	2.6	28-34	1.1	28-34	1.5
36-42	2.5	35-43	1.2	35-43	1.6
44-48	2.4	44-55	1.3	44-55	1.7
50-56	2.3	56-69	1.4	56-69	1.8
58-62	2.2	70-87	1.5	70-87	1.9
64-70	2.1	88-110	1.6	88-110	2.0
72-80	2.0	111-138	1.7	111-138	2.1
82-88	1.9	139-174	1.8	139-174	2.2
90-98	1.8	175-220	1.9	175-220	2.3
100-110	1.7	230-270	2.0	230-270	2.4
112-122	1.6	280-340	2.1	280-340	2.5
124-132	1.5	350-430	2.2	350-430	2.6
134-146	1.4	440-550	2.3	440-550	2.7
148-160	1.3	560-690	2.4	560-690	2.8
162-178	1.2	700-870	2.5	700-870	2.9
		880-1000	2.6	880-1000	3.0

Tablas de Datos para Calcular el Índice de Langelier.

Agua de Repuesto. Es la cantidad de agua requerida para reemplazar las pérdidas ocasionadas por evaporación, arrastre y purgas. Expresado matemáticamente, se tiene:

$$M = E + W + B$$

donde,

M = Agua de repuesto, en libras.

E = Cantidad de agua, en libras, perdida por evaporación.

Para propósitos de estimación se puede considerar como el 1% del agua circulante, por cada 10°F de rango.

W = Cantidad de agua, en libras, perdida por arrastre. Para motivos de estimación, se puede considerar como 0.1-0.2% del agua circulante.

B = Libras de agua perdida por purgas. A continuación describe el método de cálculo correspondiente.

Purgas. Es la cantidad de agua circulante descargada como desperdicio, ya sea en forma intermitente o continua para limitar la concentración de sólidos. El método de cálculo de las purgas se obtiene a partir de la siguiente ecuación básica:

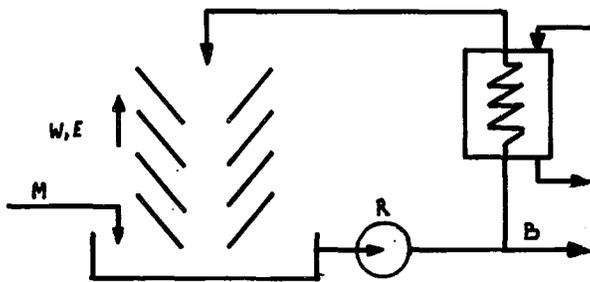
$$\text{Ciclos de concentración} = \frac{Cl_R}{Cl_M}$$

donde,

Cl_R = Concentración de cloruros del agua circulante.

Cl_M = Concentración de cloruros en el agua de repuesto.

Efectuando un balance de cloruros en el sistema de enfriamiento de la Figura 13, se tiene:



$M = \text{Agua de Repuesto} = E + W + B$

$E = \text{Agua perdida por evaporación} = 1\% R \text{ por cada } 10^\circ \text{ F. de Rango}$

$W = \text{Agua perdida por arrastre} = 0.1\% \text{ a } 0.2\% \text{ de } R$

$C = \text{Ciclos de concentración} = \frac{\text{Sólidos totales en } B}{\text{Sólidos totales en } M}$

$B = \text{Agua perdida por purgas} = \frac{E - W(C-1)}{C-1}$

Fig. 13: Dibujo del Sistema de Enfriamiento, que Muestra los Elementos que Intervienen en el Balance de Materiales.

$$M \times Cl_M = (E \times Cl_E) + (W \times Cl_W) + (B \times Cl_B)$$

ero,

$Cl_E = 0$, pues no se pierden cloruros por evaporación.

Además, en condiciones de equilibrio:

$$Cl_R = Cl_W = Cl_B$$

or tanto,

$$M \times Cl_M = W \times Cl_R + B \times Cl_R$$

earreglando términos,

$$C = \frac{Cl_R}{Cl_M} = \frac{E + W + B}{W + B}$$

iespejando para las purgas,

$$B = \frac{E - W(C-1)}{C-1}$$

Como se vio en el cálculo de agua de repuesto, E se puede estimar como 1% del agua circulante, por cada 10°F de rango y W, como 0.1-0.2% del agua circulante. El valor de los ciclos de concentración, C, es una función de las características del agua de repuesto.

Cálculo de Dosificación de Reactivos:

a).- Control de Incrustación. El ácido sulfúrico que es necesario agregar, se determina de cualquiera de las dos fórmulas que se indican a continuación:

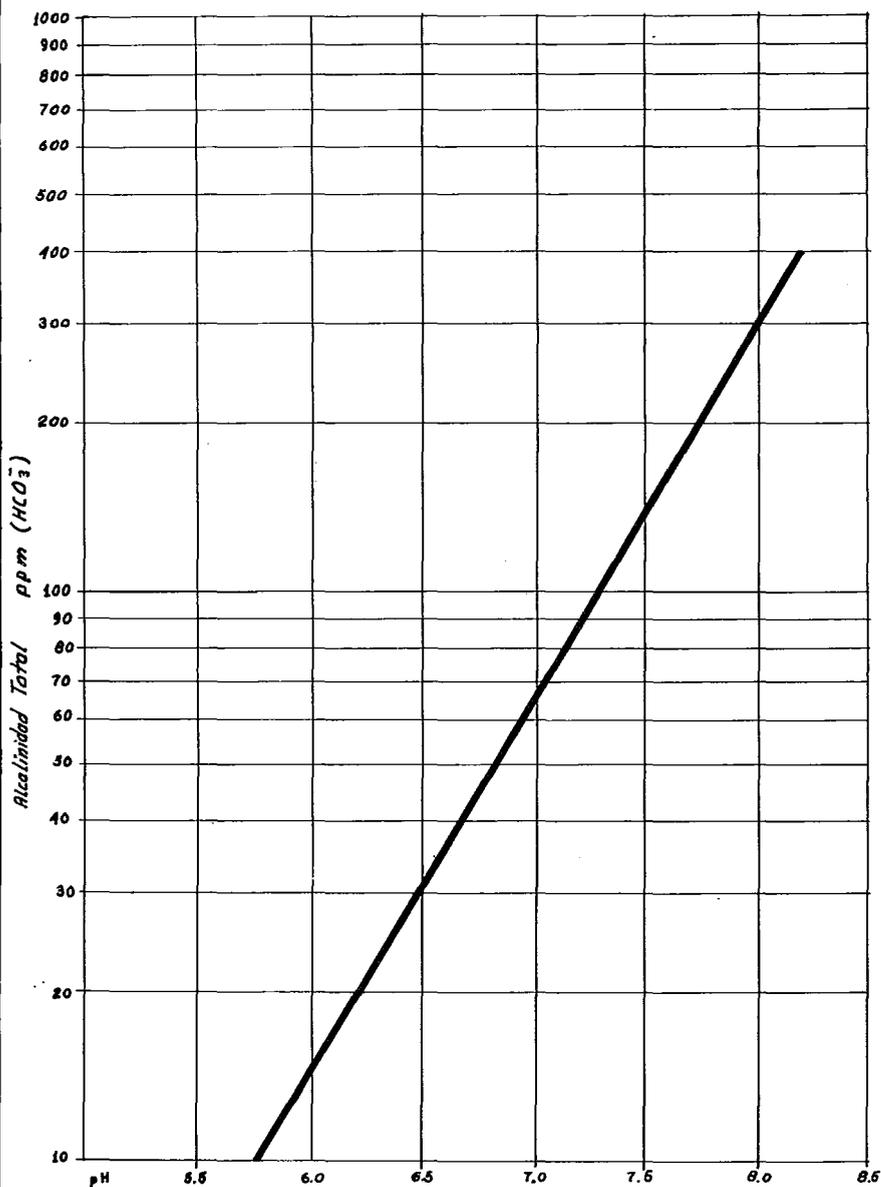


Fig. 14- pH vs. Alcalinidad

$$Ac. = 1.06 \left(b_1 - \frac{b_2}{C} \right)$$

$$Ac.' = \frac{\left(b_1 - \frac{b_2}{C} \right)}{114}$$

en donde,

Ac. = ppm de ácido sulfúrico, 66 °Be que se debe agregar en base al agua de repuesto.

Ac.' = libras de ácido sulfúrico, 66 °Be, por cada 1000 galones de agua de repuesto.

b_1 = Alcalinidad al anaranjado de metilo en ppm de $CaCO_3$ en el agua de repuesto.

b_2 = Alcalinidad al anaranjado de metilo en ppm de $CaCO_3$ en el agua de recirculación, al valor de pH que se desea llegar. Este valor de alcalinidad se obtiene de la Figura 14, en la que está graficado el valor de pH vs. alcalinidad en ppm de HCO_3^- .

b).- Control de Corrosión. La siguiente ecuación nos permite estimar la cantidad de inhibidor de corrosión que se adicionará al sistema:

$$I = \frac{Y}{120C}$$

en donde,

I = Cantidad de inhibidor en libras por cada 1000 galones de agua de repuesto.

Y = ppm de inhibidor.

C = ciclos de concentración.

c).- Control Microbiológico. Para el cálculo del cloro que se empleará se puede considerar una dosis de 5 a 10 ppm de cloro durante una hora, cada 8 horas, ya que de esta forma se obtienen mejores resultados que con una cloración continua:

$$Cl = 0.0015 \times R \times ppm$$

en donde,

Cl = Consumo de cloro en lb/día

R = Flujo de circulación en gpm

ppm = Dosis de cloro (de 5 a 10 ppm)

Especificaciones de Equipo

La utilidad de las especificaciones de equipo dentro de -- las diferentes etapas del diseño de una planta es como se describe a continuación:

1. En el desarrollo de la ingeniería básica las especificaciones preliminares de equipo junto con los diagramas de proceso son la base para:

a).- La elaboración del arreglo general de la planta y el equipo.

b).- La elaboración del diagrama de tubería e instrumentación.

c).- La elaboración del estimado de costos.

2. En la ingeniería de detalle se utiliza para:

a).- La obtención de cotizaciones, evaluaciones de ellas y como parte de la orden de compra (como especificación final).

b).- La transmisión de información de proceso a otros grupos de diseño (como especificaciones preliminares y finales) - que la utilizan para:

Departamento de Tuberías. En la elaboración de planos de - tuberías.

Departamento Mecánico. Para la elaboración de los dibujos de los recipientes.

Departamento Civil. En el diseño preliminar de cimentación.

Departamento de Instrumentación. Como fuente de informa -- ción, de condiciones de operación para la elaboración de las - hojas de especificaciones de los instrumentos.

Departamento de Programación. En la preparación de los -- programas de ingeniería y construcción.

3. Las especificaciones finales de equipo se entregan al cliente como documento que contiene toda la información importante del equipo.

Los objetivos principales de las especificaciones de equipo son :

a).- Definir lo más claramente posible, los requisitos generales que debe cumplir el tipo de equipo en cuestión en -- cuanto a su diseño y construcción.

b).- Definir los datos de operación, características particulares de construcción y materiales del equipo principal y equipos auxiliares, las pruebas de taller a que se debe sujetar cada equipo y los datos finales del fabricante.

c).- Delimitar claramente la responsabilidad del vendedor y del comprador en cuanto a garantías de funcionamiento y mecánicas.

Especificaciones Generales y Hojas de Especificaciones. Una especificación de equipo consta de:

a).- Especificaciones generales para el equipo considerado.

b).- De las hojas de especificaciones particulares para cada uno de los equipos requeridos pertenecientes al tipo considerado.

Ambos documentos son complementarios y forman parte de la solicitud de cotización y de la orden de compra.

Especificaciones Generales. Normalmente cubren los siguientes puntos:

a).- Códigos de diseño y fabricación a los que debe sujetarse el equipo.

b).- Lineamientos generales para el diseño de cada una de sus partes principales.

c).- Lineamientos generales para la construcción de las partes importantes del equipo.

d).- Pruebas de taller que deben efectuarse a todos los equipos del tipo en cuestión.

e).- Facilidades que debe prestar el fabricante para la inspección del equipo cuando así se requiera.

f).- Requisitos para la preparación del embarque.

g).- Cláusulas de garantía de funcionamiento y garantía mecánica.

h).- Instrucciones para identificación del equipo.

Hoja de Especificaciones. Generalmente cubren los siguientes puntos:

a).- Datos generales.

b).- Condiciones de operación.

c).- Detalles y materiales de construcción.

e).- Equipo auxiliar.

f).- Características de funcionamiento y de diseño.

g).- Pruebas de taller.

h).- Pesos.

j).- Información adicional del fabricante.

ESPECIFICACIONES DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

La mayoría de las torres de enfriamiento se compran sobre la base de cotizaciones competitivas. Es responsabilidad del comprador proporcionar especificaciones que describan claramente todas las condiciones aplicables a la instalación. Generalmente, entre más grande es la instalación se requieren más detalles. Esto incluye no sólo datos de funcionamiento, materiales, detalles estructurales de arreglo, características deseadas, consideraciones de áreas y garantías, sino también el método de evaluación de cotizaciones que se usará, incluyendo costos unitarios, costos de energía y periodos de amortización aplicables. Esta última información es particularmente importante y permite una comparación real de torres competitivas sobre la base de costos de la torre instalada y en operación.

A continuación se describen los puntos que deben considerarse al elaborar las especificaciones.

1. Descripción del servicio.
2. Garga total de calor- Btu/hr.
3. Cantidad del agua que será enfriada - gpm.
4. Temperatura de agua caliente - °F.
5. Temperatura de agua fría - °F.
6. Temperatura de bulbo húmedo - °F.
7. Carga de bombeo permisible - pies.
8. Análisis del agua.
9. Velocidad promedio y dirección del viento.
10. Carga de diseño del viento.

ESPECIFICACIONES DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

La mayoría de las torres de enfriamiento se compran sobre la base de cotizaciones competitivas. Es responsabilidad del comprador proporcionar especificaciones que describan claramente todas las condiciones aplicables a la instalación. Generalmente, entre más grande es la instalación se requieren más detalles. Esto incluye no sólo datos de funcionamiento, materiales, detalles estructurales de arreglo, características deseadas, consideraciones de áreas y garantías, sino también el método de evaluación de cotizaciones que se usará, incluyendo costos unitarios, costos de energía y periodos de amortización aplicables. Esta última información es particularmente importante y permite una comparación real de torres competitivas sobre la base de costos de la torre instalada y en operación.

A continuación se describen los puntos que deben considerarse al elaborar las especificaciones.

1. Descripción del servicio.
2. Carga total de calor- Btu/hr.
3. Cantidad del agua que será enfriada - gpm.
4. Temperatura de agua caliente - °F.
5. Temperatura de agua fría - °F.
6. Temperatura de bulbo húmedo - °F.
7. Carga de bombeo permisible - pies.
8. Análisis del agua.
9. Velocidad promedio y dirección del viento.
10. Carga de diseño del viento.

11. Carga de diseño por terremoto.
12. Intensidad de ruido.
13. Tipo de torre.
14. Materiales básicos - estructura, empaque, cubierta.
15. Materiales de accesorios - tornillos, etc.
16. Tratamiento de la madera.
17. Tubería de la torre incluyendo válvulas.
18. Tipo y profundidad de la cisterna.
- 19.- Materiales y número máximo de aspas del ventilador.
20. Altura de la chimenea.
21. Descripción del motor incluyendo características eléctricas, una o dos velocidades, material de la flecha.
22. Requerimientos de aislamiento de vibración.
23. Provisiones de seguridad.
24. Provisiones para operación en invierno.
25. Equipo mecánico para mover los elementos del equipo.
26. Periodo de amortización.
27. Costos unitarios para evaluación incluyendo energía, cisternas y carga de bombeo.
28. prueba de funcionamiento.
29. Localización. Facilidades de vías ferroviarias.
30. Area de almacenamiento.
31. Alcance de lo que suministrará el comprador.
32. Fecha de instalación requerida.
33. Términos y condiciones de venta.

U. N. A. M.

Facultad de Ciencias Químicas

Sept. de 1973

LISTA DE MATERIALES

Torres de Enfriamiento de Tiro Inducido

CONDICIONES DEL LUGAR

Lugar de Instalación

Altitud del lugar

Temperatura de bulbo seco

Mínima, °F

Normal, °F

Máxima, °F

Temperatura de bulbo húmedo:

Mínima, °F

Máxima, °F

de diseño, °F

Dirección del Viento

ESPECIFICACIONES GENERALES TÍPICAS PARA TORRES DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO.

1.- Instrucciones Generales. Las siguientes especificaciones deberán seguirse y cumplirse por el fabricante de la torre de enfriamiento, quien podrá usar otros materiales o diseño como alternativa, siempre y cuando tales cambios no afecten inherentemente la construcción, operación, o vida de la unidad. Todas las excepciones deberán indicarse en detalle con una explicación de como difiere el estándar del fabricante de estas especificaciones; esta información deberá ser proporcionada junto con la cotización de la torre de enfriamiento.

2.- Tipo de Torre de Enfriamiento. La torre de enfriamiento será de tipo inducido, con empaque de madera, estructura de madera y paredes envolventes como se especifica.

3.- Capacidad. La torre de enfriamiento estará garantizada para enfriar gpm de agua de °F. a °F. Con una temperatura de bulbo húmedo de °F.

El fabricante proporcionará datos de funcionamiento para valores de agua fría vs. temperaturas de bulbo húmedo para varios rangos de enfriamiento a la capacidad de diseño, de acuerdo con el procedimiento de prueba del C. T. I. (Cooling Tower Institute).

4.- Alcance del Suministro. El fabricante deberá proporcionar materiales prefabricados. El comprador recibirá, descargará y transportará materiales al sitio de almacenamiento disponible del comprador dentro de 225 pies de la cisterna de la torre.

5.- Suministro por el Comprador. El cliente suministrará la cimentación, pernos de anclaje, cisterna de concreto, alambrado eléctrico y controles, tubería externa a la torre, bombas de agua de circulación, equipo de tratamiento de agua y equipo adicional relacionado. El fabricante deberá cumplir con los Códigos locales aplicables.

6.- Madera de Construcción. Toda la madera usada deberá ser pino ponderosa tratada a presión.

7.- Todos los pernos, tuercas, arandelas y accesorios para conectar la madera deberán ser de acero galvanizado en caliente. Los clavos serán de bronce comercial.

8.- Estructura. El arreglo estructural de la torre, incluyendo todos los miembros y conexiones, deberá ser diseñado para carga de operación y una presión de viento en cualquier dirección horizontal de 30 libras por pulgada cuadrada de área proyectada.

9.- Paredes. Las paredes de la torre serán de asbesto-cemento corrugado de 3/8" de espesor y construcción sencilla.

10.- Persianas. Deberán estar construidas e instaladas de modo que puedan quitarse fácilmente.

11.- Plataforma del Ventilador. Deberá ser construido de madera pino ponderosa de 1-1/2" nominal con soportes espaciados para soportar una carga viva mínima de 60 libras por pie cuadrado en adición a las cargas muertas sobre sí.

Cilindro del Ventilador. Será del tipo cónico o Venturi. La altura de la plataforma del ventilador a la parte superior de la chimenea no será menor de 4'-0".

12.- Particiones. Si la torre propuesta está formada por más de una celda, deberán suministrarse particiones transversales de tal modo que pueda dársele servicio a una o más celdas sin afectar la operación o capacidad de las otras celdas.

También deberá incluirse una partición longitudinal en el centro de la torre, que se extienda desde el nivel de agua de la cisterna hasta la parte superior de las persianas, para evitar que el viento que sopla por la parte más baja de la torre, arrastre agua circulante a través de las persianas colocadas en el lado opuesto.

13.- Empaque. El empaque de la torre deberá ser arreglado y construido de tal modo que pueda sacarse fácilmente de la torre. Las tiras de madera no deberán tener dimensiones menores de 3/8" en ninguna sección. Además, debe diseñarse de tal modo que no se doblen las tiras de empaque una vez instaladas.

14.- Eliminadores de Arrastre. Deberán ser del tipo de múltiple efecto y garantizados para limitar las pérdidas por arrastre al 0.1% del agua circulante.

15.- Sistema de Distribución de Agua Caliente. Será diseñado para operación flexible y fácil acceso.

El método de distribución puede ser por gravedad o de baja presión mediante un sistema de tubería con boquillas que requieran no más de 6 psi de caída de presión. Las boquillas deberán ser espaciadas adecuadamente para proporcionar distribución pareja del agua sobre la fila superior de empaque.

Para cada celda deberá proporcionarse tubería de distribu

ción y entrada adecuadas. Toda la tubería principal tendrá conexiones bridadas de 125 # ASA.

16.- Equipo Mecánico.

a).- Ventiladores. Deberán ser del tipo de propela y de -
aspas múltiples. Cada aspa será ajustable en relación al ángu-
lo de inclinación y estará sujeta individualmente a un cubo o
mamelón común.

Las aspas serán fabricadas de material no inflamable y re-
sistente a la corrosión.

La velocidad periférica del ventilador no deberá exceder
12000 pies por minuto.

El arreglo del ventilador deberá ser estática y dinámica-
mente balanceado.

b).- Reductor de Velocidad. El reductor de velocidad será
del tipo "spiral bevel" diseñado específicamente para opera-
ción en torres de enfriamiento. Los engranes deberán tener un
factor de servicio de 2.00. Las chumaceras estarán diseñadas
para un mínimo de 100,000 horas a la carga de diseño.

c).- Acoplamiento. El diseño del ensamble de acoplamiento
deberá ser flotante, no-lubricado, de acero, fabricado por la
Compañía Thomas o similar. La flecha será de acero inoxidable.
Deberá ser balanceado estática y dinámicamente.

d).- Motor Eléctrico. Cada ventilador estará accionado -
por un motor eléctrico totalmente cerrado con ventilación for-
zada, de tipo horizontal, dos velocidades, devanado sencillo,
torque variable, par normal de arranque, de inducción, jaula
de ardilla, diseño NEMA B, aislamiento clase B, para opera --

ción en 440 volts, 3 fases, 60 Hz. La velocidad baja será la mitad de la velocidad alta. Cada motor estará fabricado de acuerdo a Normas NEMA. La potencia de cada motor deberá cubrir los máximos HP requeridos por el ventilador más todas las pérdidas a través del reductor de velocidad.

e).- Los soportes para ventilador, motor y reductor de velocidad serán de acero estructural galvanizado en caliente o con recubrimiento protector equivalente. Los soportes deberán ensamblarse completamente antes del embarque.

f).- Deberá proporcionarse guardas de seguridad para protección del personal a todo el equipo móvil.

g).- Deberá suministrarse un interruptor por vibración para cada ventilador.

17.- Códigos Aplicables. La construcción y pruebas de la torre de enfriamiento deberán ser de acuerdo a la última edición correspondiente del Código CTI (Cooling Tower Institute)

18.- Garantía. El proveedor garantizará la torre de enfriamiento contra defectos de materiales, mano de obra o diseño inadecuado por un año de operación o bien por 18 meses posteriores al embarque, usando la posibilidad que ocurra primero. El proveedor deberá reparar sin costo alguno para el cliente la torre de enfriamiento por causa imputable a cualquiera de los conceptos arriba enumerados.

Información Requerida con la Cotización. Catálogos descriptivos, dibujos dimensionales preliminares, valores de nivel de ruido.

Información Requerida Después de Colocar la Orden

a).- Para aprobación: Seis (6) copias de dibujos de arreglo general y cimentación.

b).- Después de aprobados: Un (1) reproducible de los dibujos certificados de arreglo general y cimentación.

c).- Seis (6) instructivos de operación y mantenimiento.

d).- Seis (6) libros de listas de partes.

e).- Un (1) reproducible de las curvas de pruebas de funcionamiento.

ESPECIFICACIONES PARA EQUIPO DE TRATAMIENTO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Sumínistrese el equipo para el tratamiento de agua de enfriamiento de acuerdo a lo requerido en esta lista de materiales.

1.- Generalidades. Deberá suministrarse el sistema de tratamiento para:

a).- Prevenir corrosión e incrustación en el circuito de enfriamiento.

b).- Evitar la deterioración de la madera de la torre de enfriamiento.

El proveedor deberá suministrar una unidad paquete que incluya:

a).- Tanques de día para los reactivos químicos que se alimentarán a la torre.

b).- Equipo dosificador de reactivos químicos.

c).- Instrumentación necesaria, incluyendo tablero de control para operación semiautomática o automática.

El equipo de tratamiento para microorganismos será un sistema separado del equipo de tratamiento químico.

2.- Datos de diseño.

a).- Análisis de agua. El agua de repuesto se alimenta de pozo.

A continuación se muestra un análisis típico:

<u>CONSTITUYENTES</u>	<u>ANALISIS EN</u> <u>PPM DE</u>	<u>VALORES</u>
Calcio(Ca ⁺⁺)	CaCO ₃	
Magnesio(Mg ⁺⁺)	"	
Sodio(Na ⁺)	"	
Potasio(K ⁺)	"	
Cationes Totales	"	
Bicarbonatos(HCO ₃ ⁻)	"	
Carbonatos(CO ₃ ⁻⁻)	"	
Cloruros(Cl ⁻)	"	
Sulfatos(SO ₄ ⁻⁻)	"	
Nitratos(NO ₃ ⁻)	"	
Aniones Totales	"	
Dureza Total	"	
Sílice(SiO ₂)	SiO ₂	
Sólidos Totales Disueltos		
pH		
Temperatura		

b).- Descripción del Servicio. El sistema de tratamiento se rá usado para una torre de enfriamiento de tiro inducido con em paque de madera, para agua recirculante.

Para el tratamiento ácido se dispone de óleum, el cual tie- ne 23% en peso de SO₃ libre, en ácido sulfúrico.

c).- Características de Operación de la Torre de Enfria -
miento:

Agua de Recirculación, gpm
Temperatura de agua caliente, °F.
Temperatura de agua fría, °F.
Temperatura de bulbo húmedo, °F.
Pérdidas por evaporación
Pérdidas por arrastre = 0.3%
Calor eliminado del agua, Btu/hr
Ciclos de concentración 1.00

El proveedor deberá determinar las cantidades necesarias -
de purgas y de agua de repuesto.

3.- Materiales de Construcción. Serán los estándares del -
proveedor, adecuados para el servicio requerido.

4.- Datos del Lugar y de Servicios Disponibles:

a).- Energía eléctrica

Para motores	440 V/ 3 fases/ 60Hz
Para instrumentos	110 V/ 1 fase / 60Hz

b).- Aire de instrumentos

Presión	100 psig
Punto de rocío	- 4 °F

c).- Altitud del lugar metros SNM

Presión atmosférica	mm Hg
---------------------	-------

5.- El proveedor deberá incluir con su presupuesto lo siguiente:

- a).- Balance de materia.
- b).- Balance de energía.
- c).- Consumo de reactivos y precios unitarios de los mismos.
- d).- Requerimientos de servicios: agua, energía eléctrica y aire de instrumentos.

6.- Después de colocada la orden, el proveedor deberá proporcionar:

- a).- Seis(6) copias de dibujo de arreglo general certificado.
- b).- Seis(6) copias del diagrama de flujo e instrumentación.
- c).- Seis(6) instructivos de operación y mantenimiento con listas de partes.

DIAGRAMAS DE FLUJO

Constituyen la representación gráfica del proceso y la -- fuente central de información para todos los grupos de diseño. Estos grupos incluyen los departamentos eléctrico, de tubería, instrumentación, civil, mecánico. Asimismo, son de utilidad al departamento de compras pues le indican el equipo y accesorios que deben ser comprados.

El diagrama de flujo debe mostrar todo el equipo involucrado. Los arreglos esquemáticos se hacen de tal modo de asemejar el equipo representado lo mejor posible. Generalmente se utilizan simples vistas de elevación alteradas de tal manera que aparezcan todas las conexiones en el plano del diagrama.

No es práctico hacer estos diagramas a escala. Sin embargo es deseable conservar las diferencias relativas de tamaño entre los distintos elementos.

En la elaboración de los diagramas de flujo deben considerarse los siguientes puntos:

Identificación. A todos los equipos se les asigna un número de partida el cual se forma generalmente por: a) una letra correspondiente a la nomenclatura del equipo particular. Por ejemplo, pueden emplearse TE para torres de enfriamiento, B para bombas, C para cambiadores de calor, etc., b) un número que representa el área y el número del equipo dentro de esta área.

Tubería y Válvulas. En el diagrama de flujo se muestran todas las líneas de proceso y de servicio. Se usan flechas para

indicar las direcciones de los flujos.

Deben indicarse todas las válvulas requeridas. Las bridas y accesorios no se muestran, excepto en los equipos. Junto a las válvulas se anotan las dimensiones de las mismas.

Además, deben anotarse todas las especificaciones de las líneas, de tal forma que se incluyan diámetros, fluido transportado, número de área, número de línea, especificaciones de materiales. Usualmente se emplea una simbología adecuada para simplificar toda esta información.

La Figura 15 muestra los símbolos comunes empleados para tubería y válvulas.

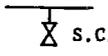
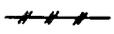
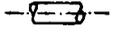
Instrumentación. Toda la instrumentación para controlar, registrar e indicar la operación del equipo representado, debe indicarse en el diagrama de flujo.

La Figura 16 muestra los símbolos más comunes utilizados para representar los instrumentos más usuales.

Generalmente cada instrumento lleva la identificación correspondiente.

Es importante señalar en el diagrama de flujo la tubería, instrumentos, etc., que son suministrados por el fabricante de un equipo particular, junto con dicho equipo.

A continuación se muestra el diagrama de flujo típico para una torre de enfriamiento y equipo de tratamiento para prevenir incrustación y corrosión.

	Línea de Proceso ó Línea Principal		Conexión de Muestreo
	Línea de Servicio ó Línea Secundaria		Tapón Roscado
	Línea de señal de aire a instrumentos		Tapón Soldado
	Línea capilar a instrumentos		Brida Ciega
	Línea de señal eléctri ca		Conexión de manguera
	Línea Aislada		Reducción (conc)
	Línea trazada con vena de vapor		Reducción (exc.)
	Válvula de Compuerta		Junta de Expansión
	Válvula de Globo		Trampa de Vapor
	Válvula de Bola		Filtro
	Válvula Macho		Manguera
	Válvula de Retención		Arrestador de flama
	Válvula de Mariposa		Orificio
	Válvula de Diafragma		Mirilla
	Válvula de 3 vías		
	Válvula de alivio		
FACULTAD DE QUIMICA			
U. N. A. M.			
SIMBOLOS PARA DIAGRAMAS.			
Prep. Jose M. Romero G.	Fecha. Sept. 1973	Fig. 15	

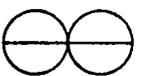
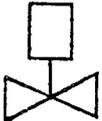
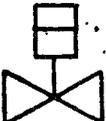
INSTRUMENTOS			
 <p>Instrumento montado localmente</p>	 <p>Instrumento montado en tablero</p>	 <p>Instrumentos combinados montados localmente</p>	 <p>Instrumentos combinados montados en tablero</p>
 <p>Instrumento transmisor montado localmente</p>	 <p>Instrumento transmisor montado en tablero</p>	 <p>Válvula de control con motor de diafragma</p>	 <p>Válvula de control solenoide o con motor eléctrico.</p>
 <p>Válvula de control con motor de pistón</p>	 <p>Válvula de tres vías.</p>	 <p>Válvula operada manualmente</p>	 <p>Válvula de seguridad.</p>
<p>LINEAS</p> <p>————— Proceso</p> <p>—•—•—•—•— Neumática</p> <p>- - - - - Eléctrica</p> <p>—*—*—*—*— Capilar</p>		<p>NOTA: Las líneas de instrumentos deberán aparecer más <u>te</u> - <u>m</u>es.</p>	

Figura 16

Principales símbolos para instrumentos

C A P I T U L O I V

COMPRA DE EQUIPO

Comprar el equipo y materiales necesarios y tenerlos en un tiempo de entrega adecuado es una de las fases más importantes de la construcción de una planta de proceso. La labor de adquisición en una compañía dada la efectúa el departamento de compras ayudado por los correspondientes grupos de ingeniería.

El proceso de compra del equipo requerido incluye los siguientes pasos: solicitud de cotización, cotización, evaluación de cotizaciones, orden de compra, inspección y expedición.

SOLICITUD DE COTIZACION

Es la requisición formal de un presupuesto. Muchas compañías han desarrollado formas estándares de solicitud de cotización. Dicha forma debe contener la leyenda "Esta no es una orden de compra", para evitar confusiones. Se adjuntan las especificaciones, anexos y dibujos aplicables y se indica la fecha requerida del presupuesto escrito.

Es de suma importancia que la solicitud de cotización incluya cláusulas tales como las que se citan a continuación:

a).- "El proveedor deberá indicar que se ajusta 100% a las especificaciones. En caso contrario deberá elaborar una lista de desviaciones".

b).- "El proveedor deberá incluir servicios de supervisión de instalación y arranque".

c).- "El vendedor deberá cotizar el equipo L. A. B. (libre a bordo) lugar de fabricación, lugar de instalación, etc.

d).- "El fabricante deberá cotizar precios globales y pre-

cios desglosados".

e).- Información técnica requerida con la cotización y con la orden de compra.

f).- Cláusulas de garantías y de multas aplicables.

g).- "El proveedor permitirá el acceso de los representantes del cliente para efectuar la inspección de la fabricación del equipo. Del mismo modo, deberá presentar un programa de fabricación".

El número de cotizaciones solicitadas depende de la política de la compañía, sin embargo, es recomendable un número mínimo de 3, ya que así se asegura la selección apropiada de un fabricante sobre las bases de precios, tiempo de entrega y calidad del equipo.

COTIZACION

Es la contestación formal de los proveedores a la solicitud de cotización.

La descripción puede ser breve, sobre todo cuando la oferta se refiere a especificaciones que detallan completamente el equipo requerido. El vendedor emplea, usualmente, formas especiales para la oferta, en las cuales se incluyen condiciones y definiciones generales que deben ser examinadas cuidadosamente por el comprador.

El proveedor anota generalmente en su presupuesto, párrafos correspondientes a : precios, lugar libre a bordo, tiempo de entrega tanto del equipo como de la información técnica, forma de pago, tiempo de validez de la oferta, pesos del equi-

po, comentarios y desviaciones a las especificaciones, etc.

Además, adjunta literatura descriptiva del equipo.

La cotización debe incluir fecha, número de identificación y debe estar firmada por un representante autorizado de la compañía que presenta la oferta.

EVALUACION DE COTIZACIONES

Es el estudio objetivo de todos los presupuestos recibidos, de un equipo particular, para seleccionar la mejor oferta.

Una vez recibidas las cotizaciones, el cliente selecciona la más adecuada preparando una tabla comparativa y efectuando un análisis de los factores significativos para cada oferta.

Los factores que deben considerarse son:

Especificaciones

Tiempo de entrega

Forma de pago

Garantías

Fletes

Método de embarque

Intangibles

Es necesario efectuar un análisis detallado de cada pro -- puesta ya que pueden encontrarse diferencias que de otra manera permanecerán oscuras.

Aún los precios requieren un estudio cauto. Todas las ofer tas deben ajustarse a la misma base de comparación.

A menudo se le coloca la orden a una compañía debido a que

además de fabricar equipo confiable, su servicio técnico, prontitud en la entrega de dibujos e información y, su actitud general de ayuda, aunque quizás intangibles, sobrepasan el ligero costo adicional sobre sus competidores.

Tabla Comparativa para Torres de Enfriamiento. En la selección final de una torre de enfriamiento deben considerarse el diseño general, la experiencia y confiabilidad del fabricante, flexibilidad de operación, etc. La unidad óptima se obtiene haciendo una evaluación de costo total, la cual incluye costos de inversión y costos de operación.

Los costos de inversión que deben considerarse son:

- a).- Costo total de la torre instalada.
- b).- Costo de cisterna.
- c).- Costo de equipo de bombeo.
- d).- Costo de controles, arrancadores, alambrado, etc.
- e).- Costo de tuberías para la alimentación y la descarga, para agua de repuesto, derrame y drenaje, incluyendo válvulas de control y bloqueo si no las proporciona el fabricante de la torre.

Los costos de operación evaluables son:

- a).- Costos de energía para ventiladores y bombas.
- b).- Costos de amortización de la inversión.
- c).- Costos de mantenimiento.

A continuación se presenta una tabla comparativa típica para torres de enfriamiento.

U. N. A. M.

Facultad de Ciencias Químicas

Sept. de 1973

T A B L A C O M P A R A T I V A

D E S C R I P C I O N

Especificado

P R O V E E D O R E S

Tipo

Modelo

Flujo de agua, gpm

Temperatura de bulbo
húmedo, °F

Temperatura de agua de
entrada, °F

Temperatura del agua de
salida, °F

Tipo de empaque

Material de empaque

Eliminadores de arrastre

No. de celdas por torre

No. de ventiladores por
torre

Potencia por ventilador

U. N. A. M.

Facultad de Ciencias Químicas

T A B L A C O M P A R A T I V A

Sept. de 1973

D E S C R I P C I O N

Especificado

P R O V E E D O R E S

Potencia total

RPM del ventilador

Diámetro del ventilador

Fabricante y modelo del
ventilador

Volumen de aire por ventil.

Volumen de aire total

Ruido del ventilador, db

Tipo y fab. del accionador

Caída de presión del aire

Fab. y modelo del reductor
de velocidad

Fab. y modelo del cople

Longitud X ancho de la base

altura de la torre

Facultad de Ciencias Químicas

T A B L A C O M P Á R A T I V A

DESCRIPCION	Especificado	PROVEEDORES
Peso seco y en operación		
Carga de bombeo		
Escaleras		
Accesorios		
Costo de la torre		
Pruebas		
Fletes		
Instalación		
Costo total		
Forma de Pago		
Tiempo de entrega		
COSTOS DE OPERACION		
COSTO DE LA CISTERNA		

RECOMENDACIONES

Guías Generales Recomendadas en las Relaciones Comprador-Vendedor. En la fase de evaluación de ofertas y colocación de la orden de compra, es necesario, con frecuencia, que el comprador se reúna con los diversos proveedores para aclarar o - completar detalles concernientes a sus respectivos presupuestos. En esta etapa es recomendable seguir las prácticas que - se describen a continuación:

a).- En general, todas las transacciones deben ser por escrito.

b).- Es aconsejable que sólo el personal involucrado en - la evaluación trate con los vendedores. Ya que es falta de ética decirle los precios de un vendedor a otro, entre menos - personas estén enteradas, hay menor oportunidad de que esto - suceda.

c).- Es importante asegurarse al máximo que todas las condiciones, términos, desviaciones, etc. están comprendidas claramente, tanto por el comprador, como por la compañía proveedora.

ORDEN DE COMPRA

Una vez seleccionado el proveedor se procede a la elaboración del pedido correspondiente al equipo evaluado. Para ello se utilizan las formas estándares de orden de compra que usualmente tiene el cliente. En el pedido deben incluirse los siguientes puntos: descripción, precios, condiciones de pago, plazos de entrega, seguros, fletes, cargos por cancelación, su pervisión de instalación y arranque, anexos con notas genera-



les.

Descripción y Precios. La descripción del equipo comprado debe hacerse en una forma explícita, pero lo más breve posible. Es recomendable hacer referencias a la oferta base del proveedor, así como a la correspondencia, recibida en fecha posterior a su cotización. También es conveniente hacer notar las especificaciones aplicables al equipo y que fueron incluidas en la solicitud de cotización, así como las desviaciones a las mismas, si las hay.

Condiciones de Pago. Serán las establecidas por el proveedor en su oferta base, o bien las acordadas entre el cliente y el proveedor, posteriormente y por escrito. Las formas de pago más usuales son:

a).- Pronto pago, con descuento por este concepto, contra entrega del equipo.

b).- Pago de contado comercial, o sea, a 30 días de la -- presentación de la factura a revisión.

c).- Pago mediante un porcentaje de anticipo y el saldo a facturar.

En este caso, el cliente puede requerir que el recibo por el anticipo vaya acompañado por una fianza, cuya prima deberá pagar el proveedor, para garantizar el buen uso del dinero en tregado por adelantado.

Plazo de Entrega. Deberán escribirse correctamente las con diciones en que se aplica el plazo de entrega ofrecido por el proveedor. Estas condiciones pueden ser: " A partir de la re-

cepción de la orden," " A partir de la fecha del pago del anticipo," etc.

Además de establecer la fecha de entrega en días, semanas o meses, es recomendable anotar una fecha límite de entrega. Esto es importante, sobre todo cuando existen cláusulas de penalización. Es, además, importante, indicar el lugar libre a bordo.

También deben anotarse los plazos de entrega de dibujos, programa de fabricación, etc.

Seguros y Fletes. Debe anotarse por cuenta y riesgo de quien será transportado el equipo al lugar de instalación.

Cualquier condición especial de embarque, por ejemplo, empaque especial para el equipo, etc. deberá negociarse con anterioridad a la orden de compra y se establecerá claramente en el pedido.

Cargos por Cancelación. Estos cargos deberán estar definidos en la cotización del proveedor y se incluirá el párrafo correspondiente en la orden de compra.

Supervisión de Instalación y Arranque. Deberá anotarse, claramente, por cuenta de quien será esta supervisión.

Anexos. El anexo, o anexos, que se deberán adjuntar a la orden de compra deben contener instrucciones para:

Facturación y embarque.

Cláusulas de inspección.

Cláusulas de penalización (en caso de ser necesarias).

Cláusulas de garantías.

Información que deberá suministrar el proveedor: dibujos para aprobación, dibujos certificados finales, manuales de operación y mantenimiento, etc.

Carta de Intento. La preparación y distribución de una orden de compra requiere tiempo considerable. Cuando es crítico el tiempo de entrega de un equipo, se le entrega al proveedor una carta de intento, mientras se prepara la orden formal.

En la carta de intento sólo se incluye una descripción - muy breve del equipo y se hace referencia a la cotización del proveedor.

Aceptación de la Orden de Compra. Es práctica común que - el proveedor envíe una carta de aceptación, incluyendo los comentarios pertinentes, una vez que ha recibido la orden de compra.

Inspección.

Una fase importante del proceso de compras es la inspección del equipo durante su manufactura.

La labor del inspector es, pues, vigilar que la fabricación del equipo se efectúe de acuerdo a las especificaciones, con materiales de buena calidad y mano de obra adecuada. También es función del inspector atestiguar que las pruebas estipuladas en la orden de compra se realicen de acuerdo a los Códigos aplicables.

Expeditación

La labor de expeditación principia al colocarse una orden de compra y no termina, sino hasta que el equipo ha sido entregado en la obra y el cliente tiene en su poder instructivos de operación, listas de partes, resultados de pruebas, -- etc.

La función del expeditador es lograr que la fabricación del equipo se efectúe en el tiempo programado para lo cual tiene que controlar las causas posibles de retraso, tanto del fabricante, como de su propia organización. A continuación incluimos comentarios de los puntos que se deben tomar en cuenta para realizar un trabajo adecuado de expeditación:

Órdenes de Compra del Fabricante a Subproveedores. Ninguna compañía puede cumplir sus promesas de entrega, si no coloca oportunamente sus órdenes de compra, o si sufre demoras en la entrega de componentes esenciales.

En este punto, la expeditación apropiada desempeña un papel importante. Los vendedores harán bien confiando al comprador, toda la información pertinente de sus órdenes de compra. Con frecuencia, la organización del comprador puede proporcionar valiosa asistencia, mediante la presión adecuada sobre los subproveedores.

Programas de Fabricación. De acuerdo a lo especificado en la orden, el fabricante suministrará un programa detallado de fabricación, una vez que ha colocado sus órdenes de compra y

tiene las fechas de entrega de los materiales requeridos. Este documento, que es necesario por el fabricante para organizar el trabajo en sus talleres, permite al comprador seguir el curso real de fabricación, programar viajes de inspección en las etapas críticas y asegurarse de que va a cumplirse la fecha de entrega prometida.

Información Requerida del Vendedor. Es conveniente vigilar que el proveedor entregue dibujos preliminares para aprobación del comprador, en el tiempo establecido en la orden de compra.

Asimismo, es necesario que el comprador entregue estos dibujos al fabricante, incluyendo sus comentarios, en un tiempo razonable, normalmente indicado en el pedido, ya que de no ser así se pueden tener retrasos considerables en la fabricación.

El vendedor entregará, oportunamente, dibujos finales certificados, después de haber recibido los comentarios hechos en los dibujos preliminares. Es recomendable no autorizar el embarque del equipo, mientras no se tengan dibujos finales.

Finalmente, el proveedor debe hacer entrega oportuna de manuales, listas de partes, etc. Esta información es necesaria para el arranque y operación del equipo particular.

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- 1.- En la especificación de la torre de enfriamiento es necesario incluir la mayor información posible de las condiciones de operación. Es de suma importancia seleccionar adecuadamente los datos de diseño, sobre todo la temperatura de bulbo húmedo.
Asimismo, se recomienda incluir la prueba de funcionamiento. De esta manera se determinarán las condiciones reales de operación y podrá detectarse cualquier deficiencia de la torre de enfriamiento.
- 2.- Es muy importante disponer de la literatura técnica, tanto general como de los proveedores. También es recomendable aprovechar la experiencia de los representantes de los vendedores desde el proceso preliminar de especificación para poder elaborar especificaciones adecuadas y ajustadas a las condiciones de fabricación que prevalecen en nuestro país, hasta donde sea posible. Las recomendaciones de los proveedores pueden ser muy útiles.
- 3.- En la especificación del sistema de tratamiento de la torre es necesario tomar muy en cuenta las Normas y Reglaciones existentes para tratamiento de efluentes ya que éstas pondrán limitaciones a los productos químicos que se utilicen en el tratamiento químico.
- 4.- Los diagramas de flujo constituyen fuente de información para los departamentos de ingeniería y compras que forman

la Compañía. De lo anterior se desprende su enorme importancia, por lo que deben ser claros y contener la información necesaria.

5.- Las torres de enfriamiento generalmente tienen tiempos de fabricación largos por lo que su compra es crítica para el proyecto, por lo que son de los primeros equipos en ser adquiridos.

6.- El Ingeniero Químico tiene en México una intervención activa en el proceso de elaboración de especificaciones, evaluación y compra del equipo de proceso y de servicios. Por lo tanto, consideramos necesario desarrollar un curso, dentro de la Carrera de Ingeniería Química que lo prepare adecuadamente para el mejor desempeño de estas funciones.

C A P I T U L O V I
A P E N D I C E Y B I B L I O G R A F I A

Teoría de Transferencia de Calor en Torres de Enfriamiento

La teoría generalmente aceptada del proceso de transferencia de calor en una torre de enfriamiento supone que cada gota de agua está rodeada por una película de aire, de tal modo que la diferencia de entalpías entre la película y el aire que la rodea es el potencial $(h' - h)$ que promueve la transferencia de calor. La expresión matemática es:

$$KaV/L = \int_{T_2}^{T_1} dT/(h' - h)$$

donde:

K = Coeficiente de transferencia de masa, lb/(hr)(pie cuad.)

a = Area de contacto, pie cuad./pie cúb. de volumen de torre

V = Volumen activo de enfriamiento, pies cúb./pie cuad. de área en planta.

L = Flujo de agua, lb/hr.

h' = Entalpia del aire saturado a la temp. del agua, Btu/lb.

h = Entalpia de la corriente de aire, Btu/lb.

T_1 y T_2 = Temperaturas de entrada y salida del agua, °F.

La Figura A muestra las relaciones agua-aire en una torre de flujo a contracorriente. La línea AB representa la curva de operación del agua. La línea de operación del aire comienza en C, - debajo de B, en un punto en el que la entalpia del aire corresponde a la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada. El punto D representa el aire a la salida.

La pendiente de la línea de operación de aire representa la

relación líquido-gas L/G. El rango de enfriamiento es la proyección de CD sobre la escala de temperaturas. La aproximación o acercamiento es la diferencia entre la temperatura del agua que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo ambiente.

El área ABCD, se denomina la característica de la torre y representa la ecuación arriba anotada.

Torres de Flujo Cruzado

Puede aplicarse el mismo método de análisis expuesto anteriormente, aunque para este caso resulta más complicado. Para torres de flujo a contracorriente se requiere una sola integración debido a que las condiciones son constantes a través de una sección horizontal.

Para una torre de flujo cruzado se requiere doble integración ya que la distribución de temperaturas es como se muestra en la Figura B. La integración mecánica se efectúa dividiendo la sección transversal en un número de columnas, cada una de las cuales está subdividida en una serie de volúmenes incrementados.

El agua entra en la parte superior de la columna y se enfría progresivamente al descender. El aire entra por cada volumen incrementado de la columna exterior a la temperatura de bulbo húmedo ambiente, absorbiendo cierta cantidad de calor durante su trayectoria horizontal igual a la cantidad de calor que pierde el agua durante su caída a través de la columna.

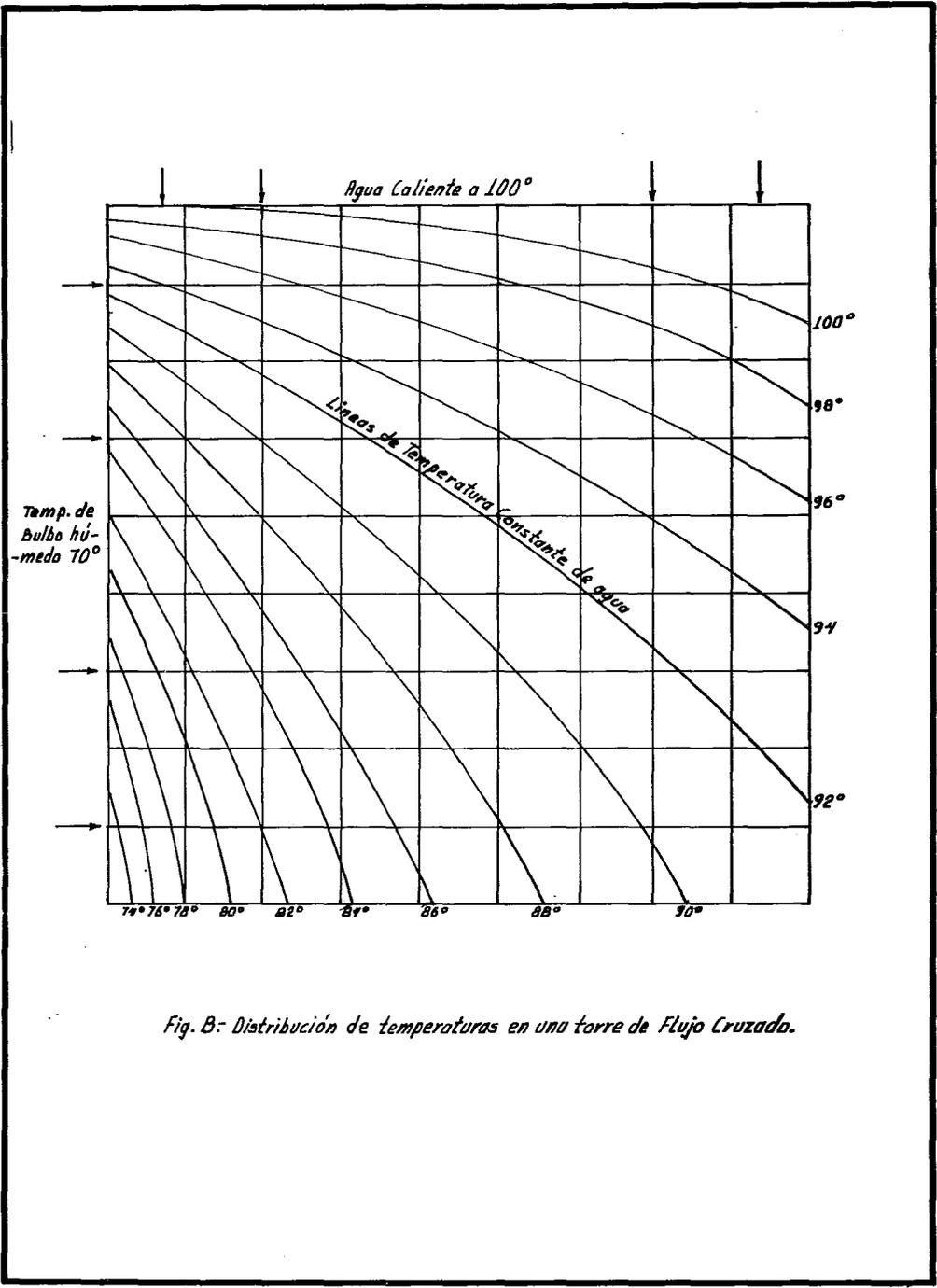


Fig. B.- Distribución de temperaturas en una torre de Flujo Cruzado.

Corrección de Temperatura de Bulbo Húmedo Ambiente de Diseño por el Fenómeno de Recirculación.

El Instituto de Torres de Enfriamiento (Cooling Tower Institute) investigó los efectos de la recirculación en torres de enfriamiento de flujo a contracorriente y de flujo cruzado. Los resultados de este trabajo los publicó en su Boletín número PFM-110. Se encontró que la recirculación era predominantemente una función de la longitud de la torre de enfriamiento. La ecuación publicada, en la cual se da la recirculación máxima como función de la longitud de la torre, representa datos experimentales adecuados para los tipos de torres mencionados.

El CTI recomienda usar en el diseño de la torre el efecto producido por el 60% de la máxima recirculación ya que ésta como la temperatura de bulbo húmedo ambiente máxima sólo ocurre durante una porción del año.

Las curvas de la Figura C muestran las correcciones de la temperatura de bulbo húmedo ambiente por concepto de recirculación máxima y de recirculación recomendada para flujos de agua hasta de 100,000 gpm. Estas curvas están basadas en un rango de enfriamiento de 20°F y una aproximación de 10°F. La Tabla que se encuentra debajo de las curvas define las correcciones que deben hacerse para otros valores de rango y aproximación.

Descripción del uso de las curvas. Ejemplo número 1. Se leccione la temperatura de bulbo húmedo de diseño de una torre requerida para enfriar agua de 112°F a 82°F, siendo la temperatura de bulbo húmedo ambiente de 75°F.

De las curvas de la Figura C, el valor de la adición por recirculación recomendada es 1.2°F. De la Tabla, el factor de corrección para un rango de 30°F. y una aproximación de 7°F es 1.25. Por tanto, la adición total por recirculación recomendada es $1.2^{\circ}\text{F} \times 1.5 = 1.5^{\circ}\text{F}$. Es decir, la temperatura de diseño de bulbo húmedo es $75^{\circ}\text{F} + 1.5^{\circ}\text{F} = 76.5^{\circ}\text{F}$.

Ejemplo número 2. Considere que la torre del ejemplo número 1 ha sido instalada y que se requiere una extensión de 10,000 gpm. El efecto de la recirculación deberá basarse en el flujo de agua combinado de 50,000 gpm, a los valores especificados de rango y aproximación. En este caso, la adición será $1.37 \times 1.25 = 1.7^{\circ}\text{F}$. La extensión deberá diseñarse para enfriar 10,000 gpm de agua de 112°F a 82°F a una temperatura de bulbo húmedo de diseño de 76.7°F.

Disponiendo de información confiable, el cliente puede especificar la temperatura de bulbo húmedo de diseño adecuada que cubra los efectos de la recirculación, de ahí la enorme importancia de los trabajos del CTI.

Calor absorbido por el agua de enfriamiento para los diversos equipos mostrados.

EQUIPO MECANICO	Btu por minuto por ton.	Btu por libra de vapor	Btu por bhp hr
Compresor de aire:			
Una etapa			380
Una etapa con post enfriador			2545
Dos etapas con in- terenfriador			1530
Dos etapas con in- terenf. y postenf.			2545
Refrigeración, Com- presión	250		
Refrigeración, Absor- ción	500		
Condensador de Refri- geración en vacío. Vapor de 100 psi - (seco). Condensa- dor de 2" Hg	900	1100	
Condensador de turbi- na de vapor		1000	

Datos de Temperaturas de Bulbo Húmedo y Bulbo Seco para Diferentes Lugares de la República Mexicana.

ESTADO	D A T O S V E R A Ñ O			D A T O S I N V I E R N O		
	Temp. Máx. Ext. °C.	Temp. de Cálculo BS BH °C.	Grados-día anuales	Temp. Mín. Ext. °C.	Temp. de Cálculo °C.	Grados-día anuales
AGUASCALIENTES Aguascalientes	36.8	34 19	248	-4.7	0	330
BAJA CALIFORNIA Ensenada	36.5	34 26	109	+1.1	+5	492
Mexicali	47.8	43 28	1660	-3.7	+1	372
La Paz	38.0	36 27	1827	+9.0	+13	
86 Tijuana	38.2	35 26	754	-3.3	+2	556
CAMPECHE Campeche	38.9	36 26	2087	+12.7	+16	
Ciudad del Carmen	41.0	37 26	2126	+10.8	+14	
COAHUILA Monclova	42.0	38 24	1169	-7.8	-3	326
Nueva Rosita	45.0	41 25	1539	-8.5	-3	481
Piedras Negras	43.9	40 26	1547	-11.9	-6	479
Saltillo	38.0	35 22	208	-9.6	-4	523
COLIMA Colima	39.5	36 24	1683	+8.5	+12	
Manzanillo	38.6	35 27	2229	+12.1	+15	
CHIAPAS Tapachula	37.4	34 25	2081	+12.8	+16	
Tuxtla Gutiérrez	38.5	35 25	1601	+ 7.2	+11	

BS = Temperatura de bulbo seco

BH = Temperatura de bulbo húmedo

DATOS VERANO

DATOS INVIERNO

ESTADO	Temp. Máx. Ext.	Temp. de Cálculo		Grados-día anuales	Temp. Mín. Ext.	Temp. de Cálculo	Grados-día anuales
	°C.	BS	BH °C.		°C.	°C.	
CHIHUAHUA							
Chihuahua	38.5	35	23	651	-11.5	- 6	793
Ciudad Juárez	41.2	37	24	695	-16.0	-10	1289
DISTRITO FEDERAL							
México Chapultepec	33.8	32	17	78	- 4.8	0	847
DURANGO							
Durango	35.6	33	17	100	- 5.0	0	550
Ciudad Lerdo	39.0	36	21	1082	- 4.2	+ 1	227
GUANAJUATO							
66 Celaya	41.5	38	20	657	- 4.5	0	136
Guajuato	33.8	32	18	49	+ 0.1	+ 5	245
León	36.5	34	20	192	- 2.5	+ 2	176
Salvatierra	38.0	35	19	367	- 2.0	+ 3	40
GUERRERO							
Acapulco	35.8	33	27	2613	+15.8	+19	
Cdad. Bravos (Chilpancingo)	35.2	33	23	434	+ 5.0	- 9	
HIDALGO							
Pachuca	31.4	29	18		- 5.8	- 1	1007
Tulancingo	34.7	32	19	12	- 5.8	-1	849
JALISCO							
Guadalajara	36.0	33	20	204	- 3.7	+ 1	164
Lagos	43.9	39	20	574	- 3.2	+ 2	162
MEXICO							
Texcoco	34.0	32	19	175	- 6.0	- 1	500
Toluca	26.8	26	17		- 3.0	+ 2	1570

D A T O S V E R A N O

D A T O S I N V I E R N O

ESTADO	Temp.	Temp. de		Grados-día anuales	Temp.	Temp. de	Grados-día anuales
	Máx. Ext.	Cálculo			Mín. Ext.	Cálculo	
	°C.	BS	BH	°C.	°C.		
MICHOACAN							
Apatzingán	43.0	39	25	3013	+11.5	+15	
Morelia	31.3	30	19	165	+ 1.6	+ 6	270
Zamora	37.5	35	20	320	- 0.2	+ 4	25
Zacapu	34.8	32	19	168	- 6.0	- 1	675
MORELOS							
Cuautla	47.4	42	22	825	+ 5.3	+ 9	
Cuernavaca	32.6	31	20	250	+ 6.9	+11	
NAYARIT							
San Blas	36.0	33	26	1462	+ 7.3	+11	
Tepic	38.9	36	26	600	+ 1.9	+ 6	
NUEVO LEON							
Montemorelos	42.8	39	25	1856	+ 0.5	+ 5	99
Monterrey	41.5	38	26	1181	- 5.4	0	173
OAXACA							
Oaxaca	38.0	35	22	290	+ 2.4	+ 7	
Salina Cruz	36.8	34	26	2403	+16.0	+19	
PUEBLA							
Puebla	30.8	29	17	144	- 1.5	+ 3	418
Tehuacán	37.0	34	20	196	- 5.0	0	80
QUERETARO							
Querétaro	36.2	33	21	159	- 4.9	0	248
QUINTANA ROO							
Cozumel	35.8	33	27	1969	+10.3	+14	
Payo Obispo	37.2	34	27	2120	+ 9.5	+13	

D A T O S V E R A N O

D A T O S I N V I E R N O

ESTADO	Temp.	Temp. de		Grados-día anuales	Temp.	Temp. de		Grados-día anuales
	Máx. Ext.	Cálculo	BS		BH	Mín. Ext.	Cálculo	
	°C				°C.			
SAN LUIS POTOSI San Luis Potosí	37.3	34	18	86	- 2.7	+ 2		345
SINALOA								
Culiacán	40.9	37	27	1659	+31.1	+ 7		
Mazatlán	33.4	31	26	1373	+11.2	+14		
Tepolobampo	41.1	37	27	1754	+ 8.0	+12		
SONORA								
Guaymas	47.0	42	28	1809	+ 7.0	+11		
Hermosillo	45.0	41	28	1875	+ 2.0	+ 6		84
Nogales	41.0	37	26	655	- 9.0	- 4		979
Ciudad Obregón	48.0	43	28	2443	- 1.1	+ 4		
TABASCO								
Villahermosa	41.0	37	26	2206	+12.2	+15		
TAMAULIPAS								
Matamoros	39.2	36	26	1515	- 4.7	0		447
Nuevo Laredo	45.0	41	23	2041	- 7.0	- 3		118
Tampico	39.3	36	23	1635	- 2.5	+ 2		
Ciudad Victoria	41.7	38	26	1337	- 2.5	+ 2		87
TLAXCALA								
TLaxcala	29.4	28	17	34	- 1.4	+ 3		512
VERACRUZ								
Jalapa	34.6	32	21	245	+ 2.2	+ 6		208
Orizaba	37.0	34	21	184	+ 1.5	+ 6		134
Veracruz	35.6	33	27	1763	+ 9.6	+ 13		
YUCATAN								
Mérida	41.0	37	27	2145	+11.6	+15		
Porgreso	38.8	36	27	1908,	+13.0	+16		
ZACATECAS								
Zacatecas	29.0	28	17		- 7.5	- 2		1383

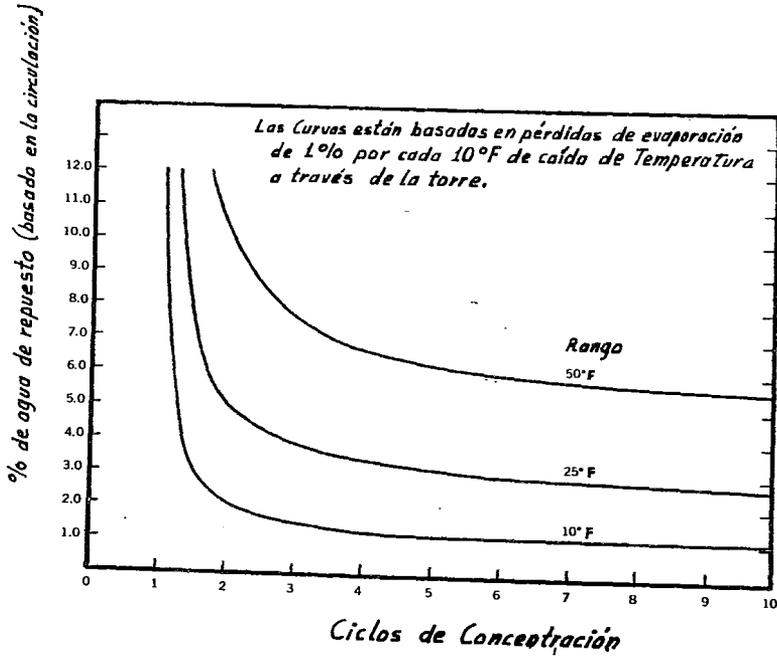
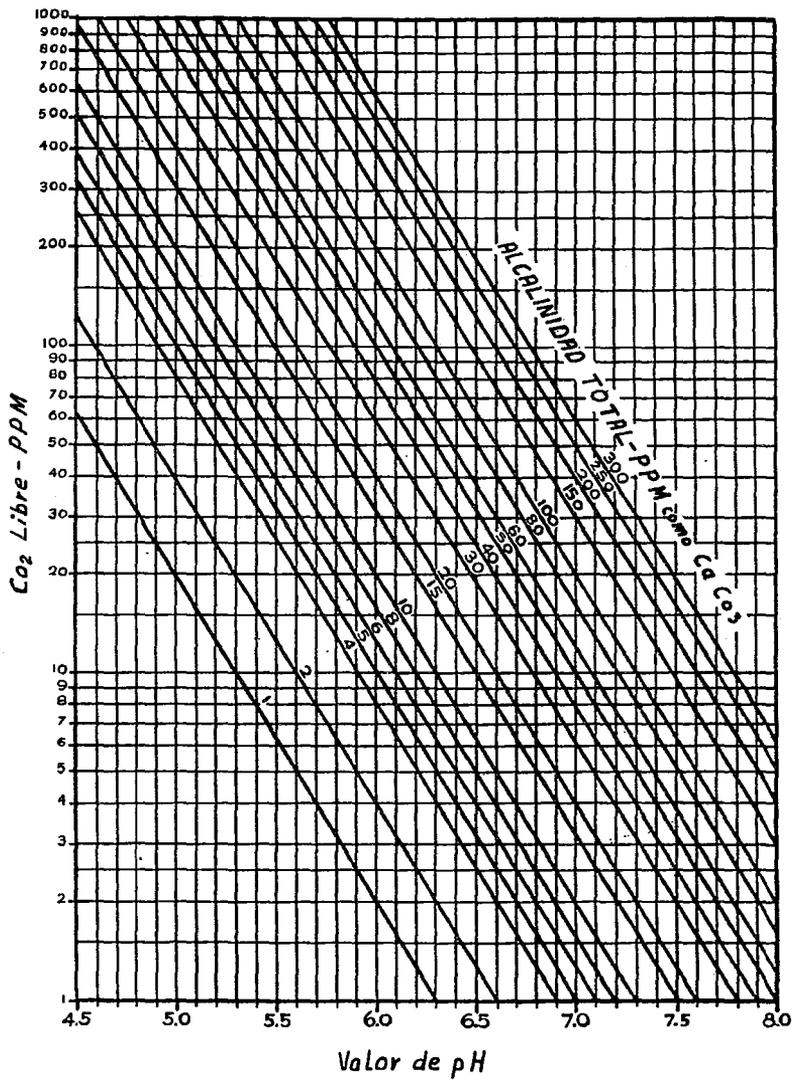


Fig. D: Requerimientos de Agua de Repuesto vs. ciclos de concentración



BIBLIOGRAFIA

- 1.- Applebaum, B. S. TREATMENT OF COOLING WATER. Combustion -
Nov. (1970)
- 2.- Benkley, George, J. FIT COOLING SYSTEMS TO THE JOB. Hydroc
Process. Nov. (1970)
- 3.- Betz Laboratories. BETZ HANDBOOK OF INDUSTRIAL WATER CONDI
TIONING. Betz Laboratories, Inc. Trevose, Penn. (1967)
- 4.- Blakeley Christopher. AUTOMATIC CONTROL. Industrial Water
Engineering. May (1970)
- 5.- Campbell, John C. TOWER PROVE-OUT. Ind. Water Eng. May ---
(1970)
- 6.- Crutchfield, Hugh y Willa, Jim. COOLING TOWERS: SPECIFYING
PURCHASING AND PROVING. Combustion. Aug. (1967)
- 7.- CTI. ACCEPTANCE TEST PROCEDURES FOR INDUSTRIAL WATER-COOL-
ING TOWER ATP-105. Cooling Tower Institute. Houston, Tex
- 8.- CTI. REDWOOD LUMBER SPECIFICATIONS FOR APPLICATION IN INDUS
TRIAL WATER-COOLING TOWERS STD-103. Cooling Tower Insti-
tute. Houston, Texas
- 9.- De Monbrum, J. R. FACTORS TO CONSIDER IN SELECTING A COOL-
ING TOWER. Chem. Eng. Sept. (1968)
- 10.- Donohue, John M. CHEMICAL TREATMENT. Ind. Water Eng. May
(1970)
- 11.- Donohue, J. M. y Hales, W. W. IMPROVE COOLING WATER TREAT
MENT. Hydroc. Process. June (1968)
- 12.- Frieman, F. H. Y Garrison, H. R. MAKE FLOW DIAGRAMS EAS--
IER. Chem. Eng. Aug. (1959)

- 13.- Gazzi, L. y Pasero, R. PROCESS COOLING SYSTEMS SELECCION. Hydroc. Process. Oct. (1970)
- 14.- Guccione, E. PREPARING BETTER FLOWSHEETS. Chem. Eng. -- MARCH (1966)
- 15.- Kelly, B. J. MICROBIOCIDIC SPRAYING. Ind. Water Eng. May (1970)
- 16.- Kern, Donald Q. PROCESS HEAT TRANSFER. McGraw-Hill Book - Company. Nueva York (1950)
- 17.- Leung, Paul y Moore, Raymond E. WATER CONSUMPTION IN THE TOWER. Ind. Water Eng. May (1970)
- 18.- Ludwig, Ernest E. APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS. Gulf Publishing Company. Houston - Texas. (1964)
- 19.- Mapstone, George E. CONTROL COOLING TOWER BLOWDOWN. Hydro carbon Processing. Jan. (1967)
- 20.- Marley Co. COOLING TOWER FUNDAMENTALS AND APPLICATION PRIN CIPLES. The Marley Company. Kansas City, Missouri..
- 21.- Maxey, Brooke. WATER. Chem. Eng. Dec. (1970)
- 22.-Maze, Roy W. PRACTICAL TIPS ON COOLING TOWER SIZING. Hydro carbon Processing. Feb. (1967)
- 23.- Newton, Robert E. VARIABLE SPEED DRIVERS. Ind. Water Eng. May (1970)
- 24.- O'Donnel, J. P. HOW FLOWSHEETS COMMUNICATE ENGINEERING IN- FORMATION. Chem. Eng. Sept. (1957)
- 25.- Paige, P. M. COSTLIER COOLING TOWER REQUIRES A NEW APPRO- ACH TO WATER-SYSTEM DESIGN. Chem. Eng. July (1967)

- 26.- Parker, Norman H. SELECTING THE BEST VENDOR. Chem. Eng. Aug. (1963)
- 27.- Perry, John H. CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK. McGraw-Hill Book Company. Nueva York (1963)
- 28.- Prater, N. H. y Antonacci, D. W. HOW TO ESTIMATE COOLING TOWER COSTS. Petroleum Refiner. April (1959)
- 29.- Puckorius, Paul R. TOWER AS PART OF COOLING SYSTEM. Ind. Water Eng. May (1970)
- 30.- Rase, Howard y Barrow, M. H. PROJECT ENGINEERING OF PROCESS PLANTS. John Wiley & Sons, Inc. Nueva York (1967)
- 31.- Thompson, A. R. COOLING TOWERS. Chem. Eng. Oct. (1968) *
- 32.- Vahlsing, David H. ONCE-TROUGH VS. COOLING TOWER WATER.. Hydroc. Process. July (1967)
- 33.- Weis, Edward. TOWER SELECTION. Ind. Water Eng. May (1970)
- 34.- Wigham, Ian. DESIGNING OPTIMUM COOLING SYSTEMS. Chem. -- Eng. Aug. (1971)
- 35.- Willa, James L. THE NECESSITY OF TESTING COOLING TOWERS. Ind. Water Eng. May (1970)
- 36.- Woodson, Riley D. COOLING TOWERS. Scientific American -- May (1971)