



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"PROCEDIMIENTO PARA LA EFICIENTIZACION EN
TORRES DE ENFRIAMIENTO PARA PLANTAS
DE PROCESO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
MARTINEZ URINCHO MIGUEL ANGEL



MEXICO, D. F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

277666



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.

Jurado asignado:

Presidente Prof. MARTÍNEZ MONTES JORGE TRINIDAD.
Vocal Prof. ARNAUD HUERTA RAMON.
Secretario Prof. ORTÍZ RAMÍREZ JOSÉ ANTONIO.
1er. suplente Prof. MONTIEL MALDONADO CELESTINO.
2do. suplente Prof. LÓPEZ MARTÍNEZ JOSÉ LUÍS

Sitio donde se desarrolló el tema

**Oficina Central del Sector Energético de la Comisión Nacional para el Ahorro
de Energía CONAE**

Asesor del tema

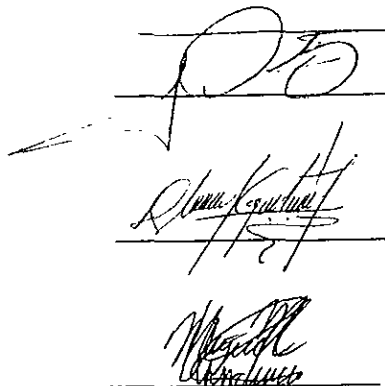
Ing. Q. JOSÉ ANTONIO ORTÍZ RAMÍREZ

Supervisor técnico

M. en C. DAVID GUTIÉRREZ CRUZ

Sustentante

MIGUEL ANGEL MARTÍNEZ URINCHO



DEDICATORIAS

A mi querida madre **Socorro Urincho**, por darme más que los demás, vida coraje, lucha, cariño y otras cosas. Si volviera a nacer pediría que fuera a tu lado, mi admiración y agradecimientos hacia ti.

A mi padre **Felipe Martínez**, por las enseñanzas que en la vida me encausó. Mis respetos a su persona.

A mis hermanos Mario, Ignacio, Maricela, Norma y Alberto por compartir lo esencial de la vida junto a mi; de todo corazón.

A mis primos Carlos, Sairi, Fernando y Luis por compartir un pasaje importante en su vida, su niñez; son mis favoritos.

A Toñito Camacho, "mi sobrino", por dar otra perspectiva más a mi existencia, "con grato cariño hijo".

A mis demás familiares y parentela, por trascender en algún momento de mi vida.

A mis familiares caídos[†] en el cumplimiento de su deber en el paso por este mundo; mi recuerdo hacia ustedes.

A la humanidad que me da la oportunidad.

A Dios, por ser Dios

AGRADECIMIENTOS

Para mis compañeros de escuela Alberto "Wax", Víctor "Jelipillo", Luis "Kuwaiti", Beatriz, Nallely, Aritzai, Mónica Ramírez, Patricia García, Enrique Soto. Dimas Tafolla, Oswaldo "huevas" y demás que me han acompañado a lo largo de la generación académica en la facultad.

Para nuestra Máxima Casa de Estudios la Universidad Nacional Autónoma de México, recinto de los ideales, pensamientos y acciones que han forjado la juventud que enorgullece a una gran Nación.

Hacia la Facultad de Química, parte de mi vida profesional y de mi existir.

Para los tanto maestros que han soportado nuestras necesidades y por tan noble acción.

A la Comisión Nacional para el Ahorro de energía (Conae), por apoyarme en este trabajo de tesis y en el inicio de mi desarrollo profesional

A mis asesores de tesis, los Ingenieros José Antonio Ortiz Ramírez, David Gutiérrez Cruz y demás sinodales.

Para el Ingeniero Eduardo Valdivieso Ruiz, por su apoyo y amistad dentro y fuera de nuestra actividad profesional.

A los demás Ingenieros que laboran en Conae.

A todos mis amigos, por que sin su amistad nada seria igual

A esta gran Nación.

Propósito y Alcance

El propósito de este trabajo obedece a la necesidad de una herramienta práctica que permita no sólo al persona técnico que opera las torres de enfriamiento, si no para que cualquier usuario de estos equipos conozca sus principios de funcionamiento; que elementos lo constituyen; como evaluarlos; que recomendaciones son las que se implementan y que beneficios tendrán al eficientar el equipo.

De estas evaluaciones, resultará el impacto que tiene no sólo en el ámbito particular si no de trascendencia nacional y hasta internacional pues el uso racional y eficiente de la energía así como así como el de nuestros recursos naturales es un asunto que nos compromete a todos aquellos que estemos involucrados en las actividades industriales y de transformación

El alcance describe un procedimiento para que las torres de enfriamiento instaladas y en operación tengan un funcionamiento eficiente.

Esto es, que la torre este trabajando de acuerdo a las condiciones con que fue diseñada, tal procedimiento esta soportado bajo los lineamientos y métodos citados por el código CTI (Cooling Tower Institute) -ATC (Acceptance Test Code) -105

Este documento comprenderá las siguientes etapas:

Una introducción que generalizará los conceptos y principios de los fenómenos involucrados en el proceso de enfriamiento de la torre; que tipos de torre se han y siguen utilizando describiendo las partes o elementos que la integran.

Las estrategias para el diagnóstico describen los lineamientos que marca el código CTI para poder llevar a cabo la evaluación energética en la torre de enfriamiento considera las siguientes actividades secuenciales:

- Obtención y recopilación de información general de la torre
- Análisis y revisión de la información recopilada
- Prueba de comportamiento, que es la actividad que inicia con la verificación de la instrumentación y las variables involucradas y culmina con la toma de estas variables.

Para determinar la capacidad de enfriamiento de la torre, después de realizar estas estrategias, se proponen dos métodos aceptados por el código CTI los cuales son El método de curvas de comportamiento y el método de curvas características que utiliza el criterio de Merkel Además de un método alternativo que se basa en el balance térmico preliminar de la torre.

El dictamen energético es la etapa donde se complementan los resultados de las etapas anteriores y en la cual, al comparar las condiciones actuales de operación con las de diseño, se determina el estado y la capacidad de servicio que da la torre energéticamente hacia los procesos actualmente.

También determina un potencial de conservación y/o ahorro comprendiendo el potencial como *una estimación aproximada* al efectuar el balance térmico de la torre donde estos potenciales de ahorro de energía son principalmente en el consumo de energía eléctrica en los ventiladores y en algunos casos en el bombeo del agua. Esta etapa del dictamen, dará la pauta a las recomendaciones que se implementaran para lograr el funcionamiento eficiente de la torre.

La emisión de estas recomendaciones serán del tipo de nula o baja inversión, es decir, del tipo operacional. Dentro de las recomendaciones se contemplan los aspectos de la instrumentación y los ajustes de las variables necesarios para llevar a cabo el diagnóstico y efectuar la prueba de comportamiento

Por último se concluye acerca de estos sistemas; su repercusión directa en los procesos industriales y de servicios y que eficientarlos garantiza el buen uso de la energía y de los recursos.

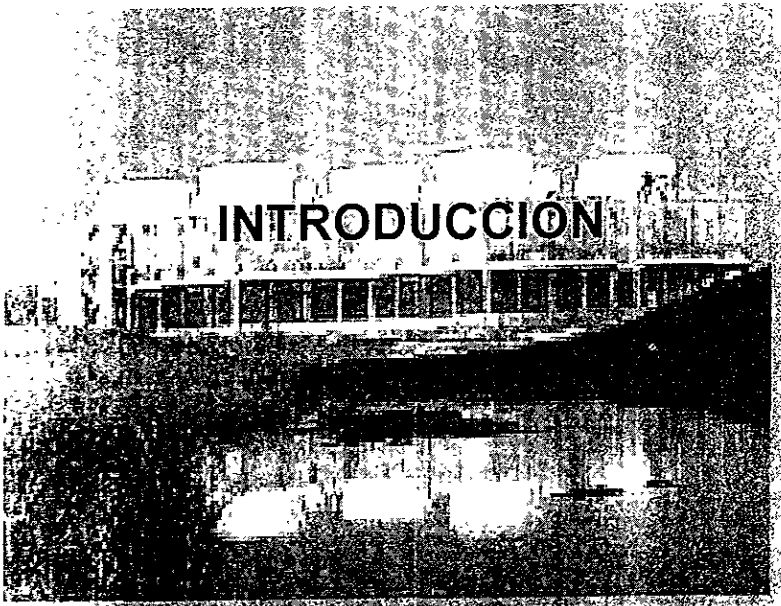
OBJETIVO

Evaluar energéticamente una torre de enfriamiento para una industria de proceso. Esto comprende el desarrollo de un procedimiento de uso general que permita extender este tipo de evaluaciones al total de sistemas de plantas químicas y petroquímicas de la industria nacional.

Este procedimiento de fácil aplicación evaluará cuantitativa y cualitativamente la energía que se disipa en las torres de enfriamiento de agua.

CONTENIDO

I.-	Introducción.	1
II.-	Estrategias para llevar a cabo el diagnóstico	10
III.-	Determinación de la capacidad de enfriamiento	50
IV.-	Dictamen energético	79
V.-	Recomendaciones operacionales	81
VI.-	Conclusiones	92
	Apéndice	94
	Bibliografía	115



Introducción.

Las máquinas y los procesos industriales, así como aquellos dedicados al confort humano, generan enormes cantidades de calor que deben ser continuamente disipadas si se quiere que esas máquinas y procesos operen eficientemente. Aunque los intercambiadores finales son los ríos, arroyos, lagos e inclusive los océanos, el proceso natural de evaporación los hace muy efectivos aunque sin control. debido a la superficie a veces fija, a veces variable, que los contiene y a su total dependencia de los vientos dominantes

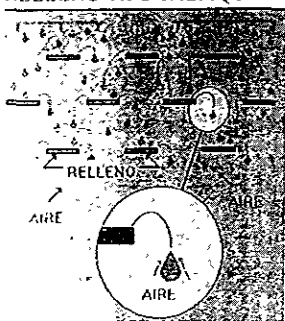
El agua calentada por el paso a través de intercambiadores de calor, condensadores y similares se enfría por contacto con el aire para poder ser utilizada nuevamente. El calor latente del agua es tan grande que una cantidad pequeña de evaporación produce grandes cantidades de enfriamiento.

El aire y el agua son sustancias de bajo costo, y cuando se deben manejar volúmenes grandes, como en muchas operaciones de enfriamiento de agua, es esencial el equipo de costo inicial bajo y de costo de operación también reducido.

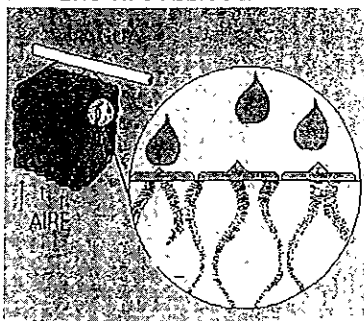
Es por esto que las torres de enfriamiento regulan el proceso de enfriamiento mediante la evaporación controlada, reduciendo así la cantidad de agua consumida. Esto se logra cuando a la gota que se pone en contacto con el aire, se le evapora la película exterior, requiriendo para este proceso de absorber calor, el cual se toma de la propia gota, enfriándola consecuentemente. Es decir, el enfriamiento se realiza tanto por calor sensible (cambio de temperatura) como por calor latente (cambio de estado físico).

El objeto que se persigue en la torre es que la gota este el mayor tiempo posible en contacto con el aire, lo cuál se logra con la altura de la misma y además interponiendo obstáculos (el relleno), que la van deteniendo y al mismo tiempo la van fragmentando facilitando más el proceso evaporativo. En los nuevos sistemas los obstáculos en lugar de romper la gota, hacen que se forme una película muy delgada en donde se lleva a cabo el mismo proceso como se ilustra a continuación.

RELLENO TIPO SALPIQUEO



RELLENO TIPO PELICULA



Con frecuencia, la armazón y el empaque interno son de abeto Douglas, o bien pino ponderosa, material que es muy durable cuando se tiene un contacto continuo con el agua. Es común la impregnación de la madera, bajo presión, con fungicidas como creosota, pentacloro fenoles, cromato ácido de cobre y similares.

Generalmente el entablado de los costados de la torre es de pino, cemento de asbesto, políester reforzado con fibra de vidrio y similares. Se han construido torres completamente de plástico

Generalmente, el empaque interno (relleno) es una forma modificada de cañas, enrejados horizontales arreglados en forma escalonada con filas alternadas a ángulos rectos. El empaque plástico es de polipropileno, moldeado en forma de enrejado o alguna otra forma. Se utilizan muchos arreglos 4" x 4", 4" x 8", 8" x 8" etc

El espacio vacío es muy grande, generalmente mayor del 90%, con el fin de que la caída de presión del gas sea lo más pequeña posible

En consecuencia, la interfase aire - agua no sólo incluye la superficie de las películas líquidas que humedecen los enrejados u otro empaque, sino también la superficie de las gotas que caen como lluvia desde cada fila de empaque hacia la siguiente

En las torres atmosféricas se depende de los vientos predominantes para el movimiento del aire. El diseño de corriente natural asegura un movimiento más positivo del aire aún en tiempo tranquilo, al depender del desplazamiento del aire caliente dentro de la torre mediante el aire externo más frío. Se requieren entonces chimeneas bastante elevadas. Los dos tipos de torre deben ser relativamente altos, con el fin de trabajar a una pequeña aproximación a la temperatura de bulbo húmedo.

En general, estos equipos se utilizan en donde la humedad es generalmente baja, en ciertas partes donde las temperaturas del aire son generalmente bajas, y con mayor frecuencia, en todas las partes en que esté aumentando el costo de energía para la potencia de los ventiladores.

Las torres de tiro mecánico pueden ser del tipo de tiro forzado en donde el aire se empuja en la torre mediante un ventilador en el fondo. Estas torres están sujetas particularmente a la recirculación del aire caliente y húmedo que es descargado, dentro de la toma del ventilador, debido a la baja velocidad de descarga y que materialmente reduce la efectividad de la torre.

El tiro inducido con el ventilador en la parte superior, evita esto y además permite una distribución interna más uniforme del aire en donde la caída de presión del gas es menor

Si el nublado es excesivo, se pueden utilizar intercambiadores de calor de tubo aletados para evaporar la niebla con el calor del agua que se va a enfriar (torres humedo – secas).

En términos generales podemos decir que la capacidad de enfriamiento de una torre es una combinación de todas las variables involucradas en el diseño y selección de la misma y nos indica la cantidad de agua que enfría en condiciones de operación comparada con las condiciones de diseño, esto es entonces, el equivalente de la eficiencia térmica

La mayor parte de la información disponible para las torres de enfriamiento es de selección, no de diseño y el cliente no puede nunca determinar "a priori" si una torre está bien o mal diseñada y si a esto se le agrega que en mayor o menor grado las torres siempre enfrían, entendemos el porque la dificultad para evaluar éstos equipos.

A continuación se presentan algunas otras generalidades sobre estos equipos.

Dentro de las generalidades observaremos la clasificación, los componentes y las variables involucrados en las torres de enfriamiento.

1 Clasificación de torres de agua de enfriamiento.

No hay una clasificación universal. Las torres se pueden catalogar en diferentes formas según las características que se consideren y así tenemos:

1.1 Tipo de operación:

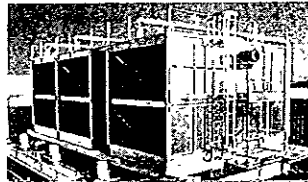
a) Atmosféricas

{ Estanque de rocío (Spray Ponds)
Hiperbólicas de tiro natural } Flujo Cruzado
Contra flujo



b) Tipo Mecánico

{ Tiro forzado
Tiro inducido }

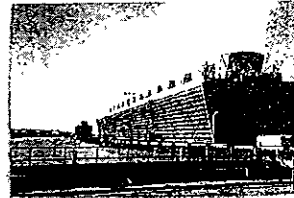
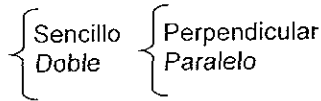


1.2 Tipo de flujo de aire:

a) Contra flujo

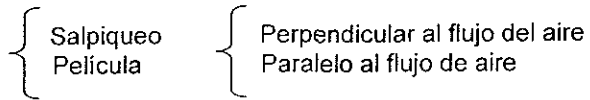


b) Flujo Cruzado



1.3. Tipo de empaque.

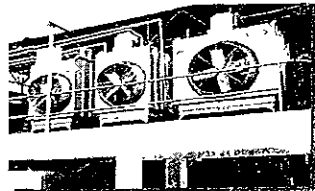
a) Con relleno



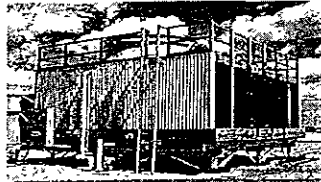
b) Sin relleno

1.4 Tipo de fabricación:

a) Montadas en fábrica (paquete)



b) Montadas en campo



1.5 Forma:

- a) Rectilíneas
- b) Redondas
- c) Hiperbólicas
- d) Octagonales

1.6 Tipo de enfriamiento:

- a) Evaporativas
- b) Secas
- c) Húmedo-secas

1.7. Por el tipo de estructura:

- a) Madera { Douglas Fir
Redwood } Únicas variedades
Reconocidas por el CTI *
- b) Concreto
- c) Fibra de vidrio
- d) Metálicas

* CTI (Cooling Tower Institute)

A continuación se presenta una tabla comparativa entre torres a contra flujo y flujo cruzado

Concepto	Contra flujo Salpiqueo	Contra flujo película	Flujo cruzado
Sistema	Excelente cuando la aproximación es de 5 a 10°F y con cualquier tipo de agua pretratada	Excelente en todos los casos pero solo con agua de buena calidad	Excelente cuando la aproximación es mayor de 10°F
Relleno	Parrillas de polipropileno o PVC apoyadas en forma muy sencillas sobre elementos de la estructura	Paquetes de PVC de fácil instalación y remoción Requieren de soportes especiales de acero inoxidable	Tirillas de madera o perfiles de PVC Se instalan en mallas que a su vez requieren soportes. Su instalación es complicada
Sistema de distribución	Tipo cerrado con laterales y boquillas. La limpieza es más complicada	Idem. La altura de bombeo se reduce entre un 30 -50% que en salpiqueo	Sistema abierto que permite la facilidad de limpieza
Eliminadores de rocío	Se instalan horizontalmente y su colocación y remoción es tan sencilla como el relleno	Idem	Se instalan verticalmente pueden ser de dos pasos

2 Componentes de la torre:

Los componentes principales de una torre se muestran en las figura No.1 y 2

Figura No. 1

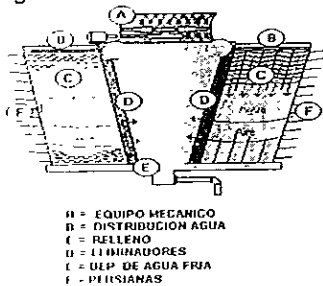
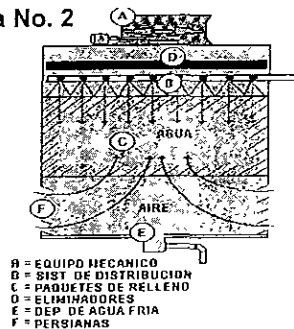


Figura No. 2



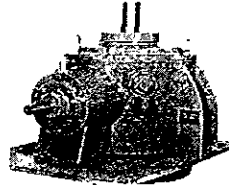
Equipo mecánico constituido por:

Accionador: motor eléctrico o turbina

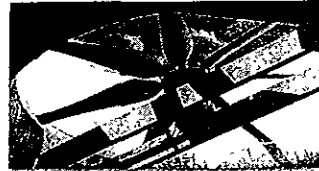
Flecha de transmisión



Reductor de velocidad



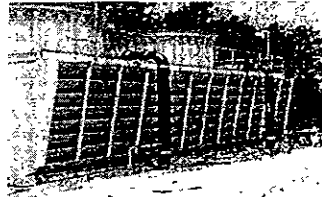
Ventilador



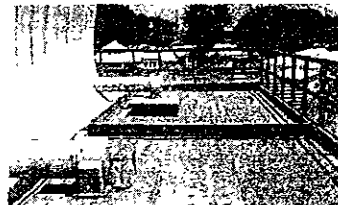
Interruptor de vibración
Soporte de equipo mecánico

Sistema de distribución integrado por:

Cabezal de distribución de agua caliente



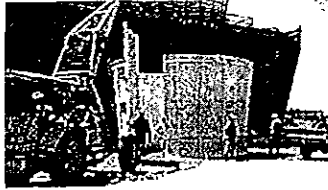
Deposito de agua caliente
Válvulas de control de flujo
Cajas de desborde
Orificios de distribución (flujo cruzado)



Boquillas rompedoras de chorro



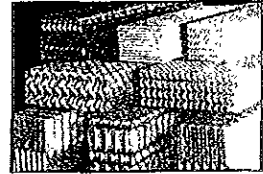
Chimenea o venturi



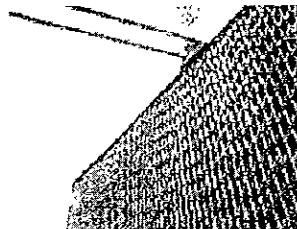
Persianas o louvers



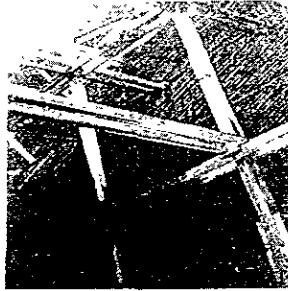
Relleno o empaque



Eliminadores de rocío



Estructura de la torre



Depósito de agua fría

3. Variables de torres de enfriamiento.

Es importante conocer las variables que se usan para empezar a especificar una torre de enfriamiento correctamente.

- Flujo de agua (F)
- Temperatura del agua caliente (TAC)
- Temperatura de agua fría (TAF)
- Temperatura de bulbo húmedo (TBH)
- Rango (TAC - TAF)
- Aproximación (TAF - TBH)
- Condiciones climatológicas del lugar
- Características del agua

En el apéndice se enlista un glosario de términos para mejor manejo y comprensión acerca de este trabajo.



**ESTRATEGIAS PARA LLEVAR A
CABO EL DIAGNÓSTICO**

Estrategias para llevar a cabo el diagnóstico.

Los propósitos del diagnóstico energético en torres de enfriamiento se reducen a:

- Evaluar las condiciones actuales de operación del equipo
- Establecer su potencial de capacidad de enfriamiento en función de sus características de diseño.
- Establecer alternativas de mínima inversión que conlleven a eficientar la torre
- Cuantificar los beneficios derivados de estas alternativas establecidas.

Para alcanzar tales objetivos, se deberán desarrollar las actividades secuenciales que a continuación se describen.

Es importante que la realización de cada una de estas etapas sea en forma sucesiva, es decir, no se podrá iniciar la siguiente etapa si no se ha terminado con la anterior.

A.- Verificar la instrumentación requerida

Es necesario contar con la instrumentación para medir las variables de la torre para poder realizar un diagnóstico energético confiable. Las mediciones a realizar son las siguientes:

Voltaje y amperaje:	Contar con un multímetro para conocer la potencia del (los) motor(es) eléctrico(s) que mueve(n) el (los) ventilador(es).
Temperatura:	Es necesario contar con termómetros calibrados para tomar la temperatura de agua fría y agua caliente, a la salida y entrada de la torre de agua de enfriamiento.
Bulbo húmedo:	Es necesario contar con un psicrometro para tomar la temperatura de bulbo húmedo del aire.
Flujo:	Mediante un equipo de medición de flujo o en su defecto que las bombas tengan un medidor de presión y con las curvas de operación, para determinar el flujo de circulación de agua en la torre de enfriamiento.

B.- Obtención de información general de la torre de enfriamiento.

Mediante el empleo del formato 1, será posible conocer los datos generales del equipo en consideración, que en general son los siguientes:

- Nombre de la planta
- Condiciones de operación:
- Datos de la torre de enfriamiento
- Servicio de agua de enfriamiento:
- Datos estadísticos de temperatura de bulbo húmedo
- Costo del agua tratada para enfriamiento, y energía eléctrica ó vapor
- Datos en campo

C.- Análisis y revisión de la información general del equipo de enfriamiento

Como puede apreciarse, el conocimiento previo al nivel de gabinete de la información descrita en el párrafo anterior, permitirá tener una visión inmediata y suficiente del equipo próximo a evaluar.

Dado que la siguiente etapa del desarrollo consiste en la recopilación de información detallada del equipo, dicha fase será mucho más redituable y efectiva por el hecho de conocer e inferir de antemano, la función y características operacionales del equipo en cuestión.

D.- Recopilación de información detallada de diseño y operacional de la torre

Esta actividad de campo consiste en lo siguiente:

D.1 - Localización e integración de documentos de diseño.

La documentación básica y fundamental para el desarrollo del estudio y análisis energético es la siguiente:

- Hoja de datos de la torre de enfriamiento. Necesariamente tiene que ser la generada o proporcionada por el proveedor del equipo (en el formato 2 se presenta una hoja típica de torre de enfriamiento de agua).
- Dibujo o plano del arreglo general de la torre. También es un documento suministrado por el proveedor del equipo.
- Diagrama de tubería e instrumentación del equipo. Documento elaborado durante el desarrollo de la ingeniería.
- Diagrama de flujo del proceso del cual la torre es parte. También es un documento elaborado durante el desarrollo de la ingeniería de la instalación
- Curva de operación de la torre, bombas y de ventiladores

D 2 - Levantamiento e integración de datos operacionales

- Capacidad operacional actual de la planta o plantas a las cuales da servicio la torre
- Inspección visual con elaboración y emisión de reporte detallado del mismo (formato 3) La información mínima contenida en el citado reporte se refiere a
 - Condición actual de la estructura exterior.
 - Condición de la estructura interior
 - Condición del equipo mecánico.
- Información de bitácora operacional Los datos relevantes a los que se refiere en éste punto son:
 - Temperatura de bulbo húmedo a lo largo del año.
 - Temperatura del agua fría y caliente, salida y entrada respectivamente.
 - Consumo, de energía eléctrica. Dicha información deberá ir acompañada con el costo (\$) del referido servicio.
 - Flujo de agua a enfriar por la torre.
- Levantamiento de los datos de placa de los motores de los ventiladores y de las bombas de agua

E.- Evaluación energética (prueba de comportamiento)

Evaluación de la operación actual de la torre siguiendo las recomendaciones citadas por el código CTI ATC-105 (Cooling Towers Institute). Medición de las variables de operación, temperatura de agua fría/agua caliente, flujo de agua a enfriar, temperatura de bulbo húmedo del aire, potencia de los ventiladores (voltaje y amperaje)

El procedimiento secuencial de esta etapa se describe en los lineamientos para la evaluación in situ.

F.- Determinación de la capacidad.

Este punto consiste en el cálculo de la capacidad de enfriamiento a partir de los datos obtenidos en la prueba de comportamiento preliminar.

El procedimiento secuencial de esta etapa se describe en la sección de determinación de la capacidad actual de enfriamiento, conforme a los dos métodos reconocidos por el CTI, los cuales son:

-
- Método de curvas de comportamiento (Método de Curvas)
 - Método de curvas características (Método de Merkel)

G.- Diagnóstico energético

A partir de los datos recopilados en las etapas anteriores (inspección visual y el porcentaje de capacidad), se darán las recomendaciones y sugerencias operacionales para eficientizar energéticamente el equipo.

La descripción de esta etapa se encuentra en la sección de diagnóstico energético.

H.- Recomendaciones operacionales

A partir de la inspección visual (formato3), y de la determinación del porcentaje de capacidad actual de la torre de enfriamiento se pueden dar las recomendaciones operacionales

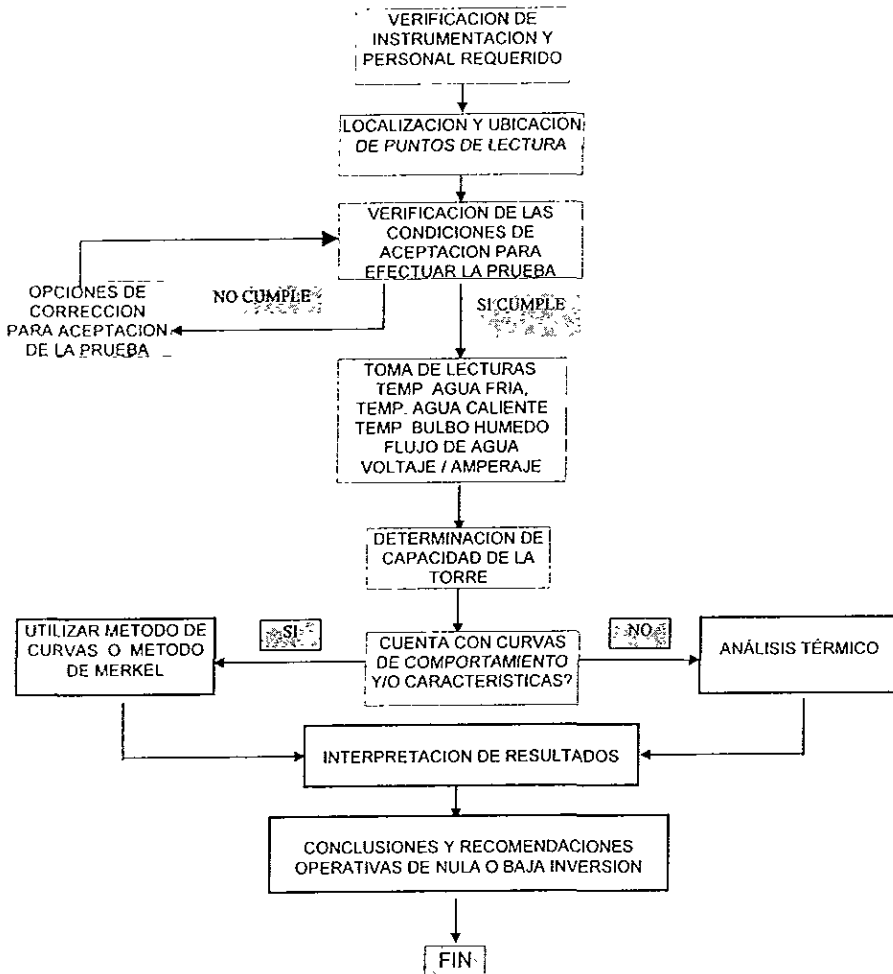
La descripción de esta etapa se encuentra en las recomendaciones operacionales

Estrategias para llevar a cabo el diagnóstico.

Lineamientos para la evaluación in situ (prueba de comportamiento)

A continuación se presenta en el diagrama No.1, la secuencia de evaluación energética en las torres de enfriamiento

Diagrama No.1 Secuencia de evaluación



Es importante establecer como recomendaciones primordiales para efectuar la prueba de comportamiento, que esta preferentemente se realice en temporada de verano y alrededor del medio día debido a que en esta época y a esta hora se tienen referidas las temperaturas de bulbo húmedo de diseño. Que es la temperatura utilizada para el cálculo de las torres de enfriamiento.

En caso de que esta prueba se efectúe en una temporada diferente a la de verano deberá de verificarse que las condiciones de temperatura de bulbo húmedo no difieran de las permisibles para este tipo de prueba.

Las actividades de verificación de las condiciones permisibles deberán comenzar a las 9.00 horas e iniciar la toma de lecturas a una vez verificadas estas condiciones a las 11.00 horas, teniendo una hora límite para terminación de la prueba hasta las 15.00 horas debido a que puede presentarse una variación en las condiciones climatológicas que afecten la toma de lecturas.

A.- De acuerdo a CTI

Para realizar la prueba de comportamiento como lo marca CTI ATC -105, a continuación se presenta de manera detallada la descripción y procedimiento para efectuar la prueba de comportamiento para todas las celdas de la torre de enfriamiento de agua, tal como se describe en los siguientes puntos:

A.1. Preparación de la prueba

Las condiciones del equipo para efectuar la prueba deberá de seguir las siguientes recomendaciones previo y durante el desarrollo de la misma como a continuación se explica:

- El sistema de distribución de agua deberá estar limpio y libre de materia extraña que permita un flujo de agua normal.
- El equipo mecánico deberá estar trabajando. Los ventiladores deberán estar girando en la dirección correcta con la orientación apropiada. Las aspas deberán tener un ángulo de inclinación uniforme que produzca una variación de $\pm 10\%$ la carga de potencia especificada de diseño. Además de que los ventiladores deberán de estar libres de materia extraña y asegurados apropiadamente.
- Los eliminadores de rocío deberán estar limpios y libres de algas o cualquier otra materia extraña que pudiera obstruir o impedir el flujo de aire normal.
- El relleno deberá estar libres de algas o cualquier otra materia extraña tales como aceite, brea, escamas, etc.
- El nivel del agua en el depósito de agua fría deberá estar con la elevación normal de operación y deberá mantenerse substancialmente constante durante la prueba con objeto de mantener el flujo de agua adecuado para el relleno
- La mezcla de agua y purgas pueden ser detenidas durante la prueba si no se ven afectados algún otro requerimiento de la prueba

Condiciones de operación

Las limitaciones para la conducción de la prueba y que son mandatorias para dar validez a la misma son como a continuación se detalla:

- La temperatura de bulbo húmedo deber ser medida utilizando el instrumento calibrado como se describe en la parte de recomendaciones para la instrumentación
- El agua deberá estar distribuida conforme a las recomendaciones del fabricante de la torre de enfriamiento.
- El total de sólidos disueltos en el agua de circulación determinados por la evaporación no deberá de exceder de 5,000 ppm ó 1.1 veces la concentración de diseño
- El agua de circulación deberá de contener no más de 10 ppm de aceite, brea o cualquier otra sustancia.
- Las siguientes variaciones con respecto a las condiciones de diseño no deberán excederse, como se muestra en el formato 4.

Formato 4
Límites de aceptación de la prueba de comportamiento

CONDICIONANTE	VARIACION PERMISIBLE	CELDA
Temperatura de bulbo húmedo	$\pm 15^{\circ} F$	
Rango	$\pm 20\%$	
Flujo de agua de circulación	$\pm 10\%$	

A.2. Toma de lecturas

La duración de la prueba una vez localizadas los puntos de lectura y posterior a la revisión y verificación de las condiciones de diseño será de una hora. La frecuencia de lecturas se tomarán con intervalos regulares y registradas en el formato No. 5 de esta sección, para tener una ubicación de los puntos de lectura se pueden observar los esquema No. 1 a 4, que se presenta al final de este capítulo

La frecuencia de lecturas con sus respectivas unidades debe ser como se muestra en la tabla No 2.

Tabla No.2
Numero de mediciones de variables para la prueba de comportamiento

Variable a medir	Numero de mediciones por prueba	Unidad	Variación
Temperatura de bulbo húmedo	12	°F	0.1
Temperatura de agua fría	12	°F	0.1
Temperatura de agua caliente	12	°F	0.1
Flujo de circulación de agua	3	GPM	1
Altura de bombeo	1	Pies	0.1
Consumo de potencia del ventilador	1	HP	0.1

Una vez instalado todo el equipo, para realizar la prueba de comportamiento se deben de hacer lecturas previas del flujo de agua, temperatura de agua caliente, fría y bulbo húmedo, y obtener las variaciones del formato 4 , en caso de entrar dentro de límites de aceptación de CTI se iniciará el registro de lecturas en el formato 5, dando la prueba de comportamiento como valida. En caso de no estar dentro de los límites de aceptación del formato 4, se deben de seguir las recomendaciones para realizar el ajuste necesario.

Medición del flujo de agua.

Para la medición del flujo de agua del cabezal de retorno de agua caliente se hará utilizando un medidor de flujo ultrasónico, como se indica las recomendaciones de instrumentación, utilizando una plataforma de altura adecuada, como se muestra en los esquemas 1 a 4.

Los siguientes son los volúmenes de agua que deben de medirse

1. Flujo de agua en circulación en la torre de enfriamiento
2. Flujo de agua de repuesto⁽¹⁾
3. Flujo de purga⁽¹⁾

(1) si aplica

Procedimiento para la medición de temperaturas:

Las mediciones de la temperatura del agua deben de efectuarse utilizando los instrumentos de medición descritos en las recomendaciones, considerando que el punto de medición sea aquel donde el agua este perfectamente mezclada.

1 - Temperatura de agua caliente

La medición de la temperatura del agua caliente de la torre de enfriamiento, se hará para una celda y debe efectuarse con cualquiera de las siguientes opciones

1 1) En la acometida de agua de entrada (riser) de la torre de enfriamiento o en la descarga del tubo de distribución. En el caso de una torre de enfriamiento multi-celda debe ser localizado en el cabezal de alimentación justo arriba de la primera acometida de agua (riser). Si la fuente de alimentación es una mezcla de dos o más corrientes de diferentes temperaturas (provenientes de dos o más procesos) deberá de asegurarse que sea un sitio donde se tenga la mezcla completa u obtener varias mediciones para sacar una temperatura promedio.

1 2) Para la toma de temperaturas de agua caliente se deberá contar con una línea de purga en alguno de los cabezales de retorno de agua o instalando válvulas de compuerta de ¾ " o de 1" de diámetro con las conexiones adecuadas (codos, niples, etc.) que permitan la colocación del termómetro de cristal, o se hará la toma en el depósito de agua caliente.

2 - Temperatura de agua fría

La medición de la temperatura del agua fría debe ser en el depósito de agua fría, aunque preferentemente debe ser realizada en donde se localiza la purga de la descarga de las bombas de circulación y el promedio deberá de corregirse por el calor que se añade por el efecto de estrangulación en la válvula de la descarga de un sistema de alta a baja presión o por la ineficiencia de la bomba (debido a los años de operación) para lo cual podrá utilizarse el siguiente criterio:

$$\Delta h = 0$$

Donde

$$\Delta h = \Delta U + \Delta \left[\frac{PU}{J} \right]$$

$$\text{Así. } (U_2 - U_1) + \left[\frac{P_2 V_2}{J} \right] - \left[\frac{P_1 V_1}{J} \right] = 0$$

Las unidades de presión deberán de expresarse en psig, entonces

$$P_2 = 0 \text{ y } U_2 - U_1 = \Delta U = \frac{P_1 V_1}{J}$$

$$\text{Así } \Delta U = P_1 \times 144 / 62.4 \times 778$$

Dado que el calor específico del agua es unitario, ΔT es numéricamente igual a ΔU

por lo que $\Delta T = P_1 \times 144/62.4 \times 778$

El calor añadido por la ineficiencia de la bomba debe ser considerado como.

$$\Delta U = P_1 \times 144/62.4 \times 778 =$$

Así $\Delta T = P_1 \times 0.002966 / \text{Eficiencia de la bomba}$

En donde:

h = Entalpía , expresada en BTU / lb.

U = Energía interna , expresada en BTU / lb.

P = Presión , expresada en lb / in² .

J = Equivalente mecánico del calor, en lb - ft / BTU

V = Volumen, expresado en ft³

T = Temperatura, expresada en ° F

El punto 1 es el punto de donde la bomba descarga del depósito, expresada en lb/in².

El punto 2 es el punto del lado del aire de la garganta de la válvula (atmosférico), expresada en lb / in²

La medición de la temperatura del agua de repuesto, si esta es aplicable deberá de ser en el sitio donde se localiza la entrada del agua de repuesto.

La medición de la temperatura del agua de purga del sistema, si esta es aplicable deberá de ser en el sitio donde se localiza la salida de la purga del sistema.

3 - Temperatura de bulbo húmedo (Temperatura de entrada del aire).

Para efectuar la medición de la temperatura del bulbo húmedo (TBH), los instrumentos deben estar localizados a 1.2 m (4 pies) de las entradas de aire (zona de persianas). La cantidad de mediciones es como se indica en la tabla No 2 y en el formato 5, la descripción de la toma de lecturas de la TBH se debe hacer como se indica en las recomendaciones. Una cantidad suficiente (mínimo dos de cada lado), de equipos de medición deben estar puestos para obtener confiabilidad en el promedio de las lecturas de la TBH.

A.3 Inicio de la prueba, equipo y personal requerido.

La hora de inicio para la toma de lecturas deberá de ser de preferencia a partir de las 11.00 AM, no se recomienda efectuar esta prueba en la tarde debido a que las condiciones de calor máximo se presenta en las primeras horas del día y pueden variar las condiciones climatológicas que afecten a las lecturas

El equipo y personal requerido para efectuar la prueba es como a continuación se en lista

2 pzs.	Psicrometros mecánicos (mínimo)
4 Pzs.	Termómetros de cristal
2 lts.	Agua destilada
1 pza.	Medidor de flujo ultrasónico (o algún otro dispositivo de los descritos las recomendaciones)

En los esquemas 1 a 4 se indica la colocación de los instrumentos para la realización de la prueba de comportamiento. Los requerimientos adicionales que se requieren son los siguientes .

- Extensiones eléctricas a prueba de explosión en cantidad y longitud adecuada
- Un mínimo de 4 conexiones eléctricas de las siguientes características: una fase, 125 volts, 60 Hz. localizadas en ambos lados de la torre (zona de persianas).
- Andamios metálicos localizados a una distancia mínima de 5 pies en un lado de la torre con el mismo nivel que presente el carcamo de agua fría. Dimensiones mínimas requeridas de 1.5 x 2.0 m.
- Tablones para cubrir un área mínima de 1 5 x 2.0 mts cubriendo la rejilla del cárcamo.
- Equipo de seguridad tal como arnés con cable de vida, overoles, cascos, botas, guantes, lentes de seguridad, protector de oídos; así como seguir los requerimientos de seguridad implantados en el Centro de Trabajo (C.T)
- Se requiere personal (mínimo cuatro), para la toma de lecturas y tiempos, apoyo para efectuar conexiones. Las lecturas deberán ser en forma simultanea y ccordinada.

A.4 Llenado de formatos

Para la prueba de comportamiento, el formato en donde se registrarán las variables obtenidas es el formato 5.

Para la inspección visual de la torre deberá de llenarse el formato 3.

B.- Prueba de comportamiento preliminar

En caso de que no se tenga el equipo de medición para la prueba de comportamiento indicado por CTI, a continuación se detalla algunas otras formas de tomar lectura de las variables.

B.1.- Preparación de la prueba.

Las condiciones del equipo para efectuar la prueba deberán seguir las recomendaciones indicadas en el punto A.1 de éste documento (prueba de comportamiento según CTI)

B.2.-Toma de lecturas

El procedimiento para la toma de lecturas para efectuar la prueba deberá seguir los mismos lineamientos indicados en el punto A.2, de éste documento (prueba de comportamiento según CTI), a excepción de los siguientes puntos:

Medición del flujo de agua.

Para la medición del flujo de agua, en caso de que no se cuente con los equipos de medición indicados en las recomendaciones, se podrá utilizar un método aproximado, para el cual se requiere de un indicador de presión a la descarga de la bomba y conocer el diámetro del impulsor de la bomba; y con las curvas de operación de las bombas se puede obtener un flujo de agua (preliminar).

La descripción para el empleo de éste método está contenida en el apéndice.

Medición de la temperatura de agua caliente

La medición de la temperatura del agua caliente debe de hacerse como se indica en el punto A.2 (prueba de comportamiento según CTI).

Medición de la temperatura de agua fría

En caso de que la medición de la temperatura de agua fría no se pueda realizar en la purga de la descarga de las bombas del agua de circulación, se podrá tomar la temperatura en el depósito de agua fría de la celda evaluada de la torre, sin ser necesaria la corrección descrita en el punto A de éste documento (prueba de comportamiento según CTI).

Medición de temperatura de aire

Para efectuar la medición de la temperatura de bulbo húmedo, en caso de que no se cuente con un psicrometro mecánico se podrá emplear un termómetro de bulbo de mercurio, el cual cuente con una mecha de tela en el bulbo

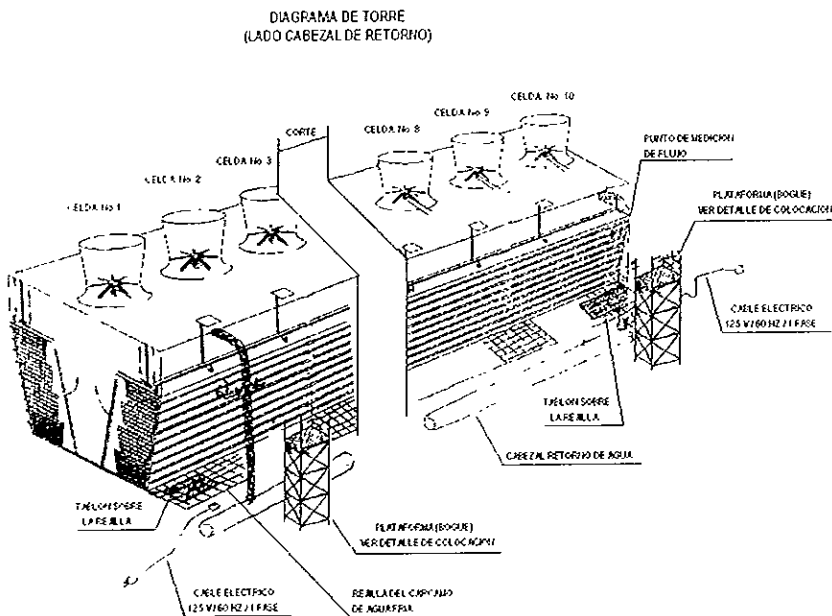
B.3.- Inicio de la prueba, equipo y personal requerido

Las actividades realizadas en éste punto deberán seguir las recomendaciones indicadas en el punto A 3 de éste documento (prueba de comportamiento según CTI)

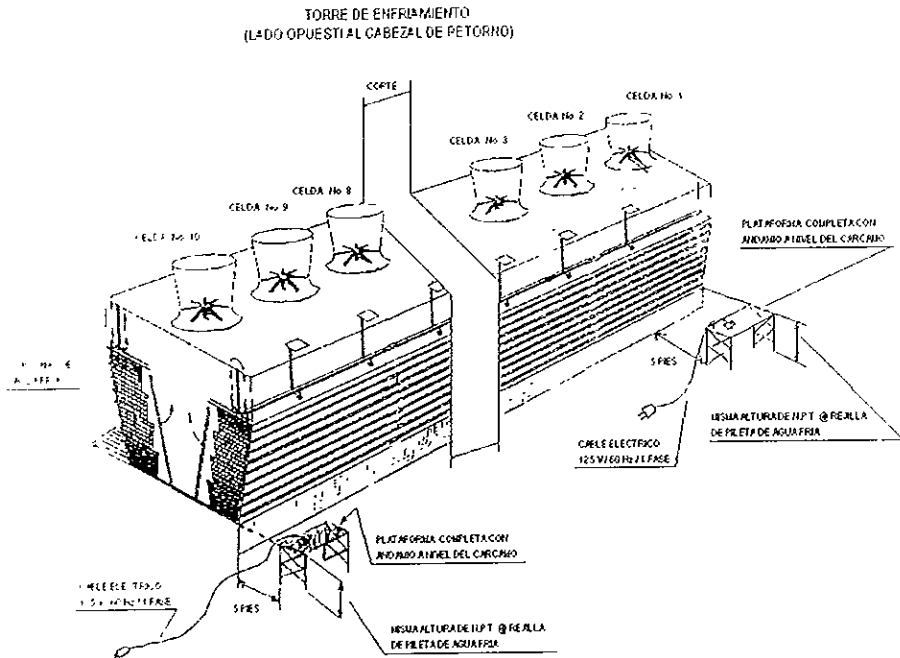
B.4.- Llenado de formatos

Las actividades realizadas en éste punto deberán seguir las recomendaciones indicadas en el punto A.4 de éste documento (prueba de comportamiento según CTI)

Esquema No. 1
Vista de la torre (Lado Cabezal de retorno de agua)

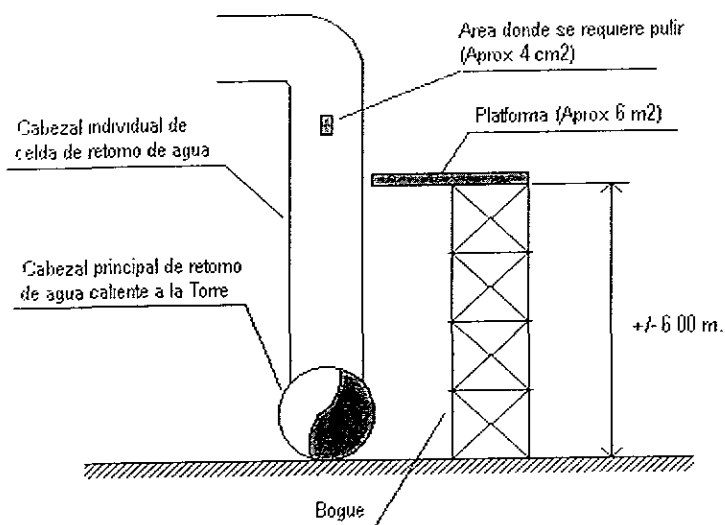


Esquema No 2.
Vista de la torre (Lado Opuesto al cabezal de retorno de agua)



Esquema No.3
Colocación del andamio para la lectura del flujo de agua en el riser

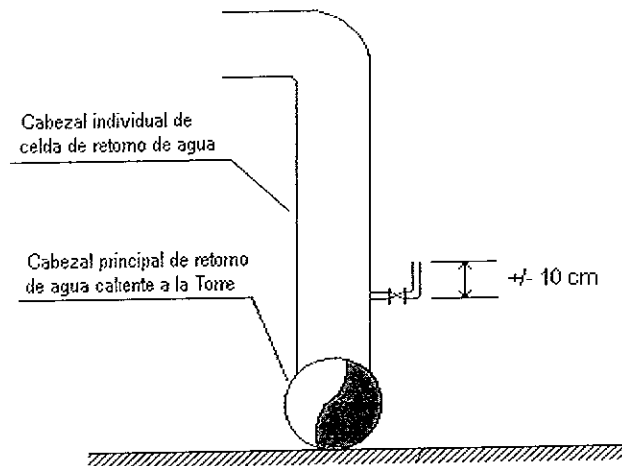
Plataforma
Detalle de colocación de la plataforma cerca de las
Tubenas de retomo de agua caliente



Nota: Incluir equipo de seguridad para dos personas que trabajen sobre la plataforma

Esquema No 4
Colocación del termómetro para la lectura del agua caliente.

Detalle para la toma de temperatura
de agua fría



Formato No. 1
Información general de la torre de enfriamiento de agua.

Hoja 1 de 2

Variable	Valor ó características
Nombre de la planta:	
Condiciones de operación de la torre	
Flujo de agua (W) G P M :	
Temperatura de agua caliente (TAC) °F :	
Temperatura de agua fría (TAF) °F :	
Temperatura de bulbo húmedo (TBH) °F :	
Datos generales de la torre	
Marca y modelo	
Tipo de torre	Flujo cruzado () Contraflujo ()
Relleno :	Tipo. Salpiqueo () Película () Material PVC () Madera () Otro _____
Numero de celdas	
Ventiladores por celda :	
Potencia del motor y ventilador BHP (HP) :	

Completar el formato

Formato No. 1

Información básica requerida para la evaluación energética

Marque con: (S) si la información está disponible
 (N) información no disponible

Hoja 2 de 2

Información específica del equipo de diseño	Datos en campo	
Plano de focalización general		
Diagramas de balance de agua de enfriamiento	Bitácoras de datos de operación (flujo de agua y temperaturas de entrada y salida del agua)	
Requerimientos actuales de agua de enfriamiento a cada planta involucrada en la torre		
Dimensiones de la caja enfriadora	Consumos actuales de potencia en motores de bombas y ventiladores de torre	
Planos del arreglo del empaque y soportes	Número de ventiladores	
Planos de dimensiones estructurales de torre	Datos de placa de los motores de los ventiladores	
Arreglo del sistema de distribución (boquillas ó espreas)	Datos de placa de las bombas.	
Arreglo de los eliminadores y soportes	Récord de condiciones climatológicas del último año (temperaturas de bulbo húmedo y seco)	
Plano de chimenea y ventiladores/accionadores	Curvas de comportamiento ó características.	
Hoja de datos de torre, bombas y ventiladores	Prueba de comportamiento	
Curva de operación de la torre, bombas y ventiladores	Inspección visual	
Eficiencia del ventilador, reductor y accionador	Consumo de energía eléctrica (voltaje y amperaje) ó vapor (flujo, presión, temperatura).	
Costo del agua de reposición, energía eléctrica o vapor	Consumos actuales de vapor en turbinas de bombas	

Formato No. 2

Hoja de datos de torres de enfriamiento

Hoja 1 de 3

Cliente (1)
Planta (2)
Clave (3)
Fecha de construcción (4)

Características original // Actual de diseño (5)			
Marca y tipo : (6)			
Modelo : (7)			
	Unidades (8)	Celdas originales (9)	Celdas Adicionales (10)
Flujo circulante total: (11)	[GPM]		
Flujo por celda: (12)	[GPM]		
Temperatura agua caliente: (13)	[°F]		
Temperatura agua fría: (14)	[°F]		
Temperatura bulbo húmedo: (15)	[°F]		
Rango de enfriamiento: (16)	[°F]		
Aproximación : (17)	[°F]		
Carga estática: (18)			
BHP ventiladores: (19)	HP		
Pérdida de evaporación: (20)	%		
Pérdida por arrastre : (21)	%		
Elevación sobre el nivel del mar : (22)	ft		
Exposición de la torre : (23)			
Valor característico de torre (Kav/L) : (24)	-		
Relación de flujo de agua /aire (L/G) : (25)	lb agua / lb aire		

Detalles estructurales : (26)			
No. de celdas : (27)			
Ventilador por celda : (28)			
No. total de ventiladores : (29)			
Dimensiones (l x w x h) totales : (30)	[ft]		
Relleno (l x w x h) (por celda) : (31)	[ft]		
Altura chimenea : (32)	[ft]		

Construcción : (33)			
Estructura : (34)			
Columnas : (35)			
Trabes, travesaños y diagonales : (36)			
Éscaleras : (37)			
Barandales : (38)			
Pasillos : (39)			
Paredes laterales : (40)			
Paredes intermedias : (41)			
Desviadores de aire : (42)			
Persianas: mat / ángulo : (43)			
Charola de agua caliente: (44)			
Piso de ventiladores : (45)			
Chimeneas : (46)			
Relleno: mat / arreglo : (47)			
Relleno: cantidad por celda: (48)	[ft ³]		
Tirante charola a.c. : (49)			
Mallas: mat / tipo / separación / paso : (50)			
Eliminadores de rocío: mat / tipo (51)			
Separadores : mat / tipo : (52)			
Soportes : mat / tipo : (53)			
Sist. distribución agua : (tipo) : (54)			
Cabezal distribuidor de agua: (55)			
Boquilla: mat / no. / diámetro / tipo : (56)			
Herrajería : tornillería / clavos : (57)			
Válvulas : mat / tipo / diámetro : (56)			
Laterales: mat / diámetro: (59)			

Equipo mecánico (60)

Ventiladores : Fabricante : (61)			
Número / tipo / modelo : (62)			
Diámetro / No. de aspas : (63)	ft/		
Material : (64)			
Maza / tornillería : mat (65)			
r.p.m. / velocidad tangencial : (66):	[ft/min]		
Aire total real / ventilador acfm : (67)			
Potencia del freno ventilador : (68)	B.H P		
Caida presión estát. total en agua : (69)			
Eficiencia estática / total: (70)			
Reductor de velocidad: fabricante : (71)			
Material / número : (72)			
Tipo / modelo / eficiencia : (73)			
Relación de velocidad / no. de red. : (74)			
Tipo engranes : (75)			
AGMA clase / f.s. : (76)			
Línea de venteo y nivel : (77)			
Flecha trans. de potencia : fab./ tipo : (78)			
Número : (79)			
Tipo / modelo : (80)			
Diámetro / material del tubo : (81)	(ft)		
Material coples : (82)			
Interruptor de vibración (fabricante) : (83)			
Modelo : (84)			
Tipo : (85)			
Soporte equipo mecánico (mat): (86)			

Motor eléctrico o turbina (87)

Accionador : (88)			
Número : (89)			
Tipo : (90)			
Velocidad : (91)			
Fases/Hz/corriente : (92)			
Potencia : (93)	HP		

NOTAS: (94)

Descripción de campos

- 1 Campo para indicar el nombre de la empresa.
- 2 Campo para indicar la ubicación de la planta
- 3 Campo para indicar la clave de la torre de enfriamiento.
- 4 Campo para indicar la fecha de instalación de la torre en la planta.
- 5 Campo que indica las características originales y actuales de diseño de la torre de enfriamiento.
- 6 Campo para indicar la marca y tipo de la torre de enfriamiento
- 7 Campo para indicar el modelo de la torre de enfriamiento
- 8 Campo en donde se indican las unidades requeridas en las cuales que se tienen que registrar los datos de la torre, para las características de las celdas originales/actuales de diseño de la torre.
- 9 Campo para indicar las características originales/actuales de diseño de las celdas de la torre de enfriamiento.
- 10 Campo para indicar las características originales/actuales de las celdas adicionales de la torre de enfriamiento.
- 11 Campo para indicar el flujo de agua circundante total ($W_{H2O\ TOTAL}$) original/actual para las celdas originales y adicionales, en galones por minuto (G.P.M.)
12. Campo para indicar el flujo de agua por celda original/actual ($W_{H2O\ CELDA}$) para las celdas originales y adicionales, en galones por minuto (G P.M.).
- 13 Campo para indicar la temperatura de agua caliente (TAC) original/actual para las celdas originales y adicionales, en *grados Fahrenheit* (°F).
- 14 Campo para indicar la temperatura de agua fría (TAF) original/actual para las celdas originales y adicionales, +en *grados Fahrenheit* (°F).
- 15 Campo para indicar la temperatura de bulbo húmedo (TBH) original/actual para las celdas originales y adicionales, en *grados Fahrenheit* (°F).
- 16 Campo para indicar el rango de enfriamiento (TAC-TAF) original/actual para las celdas originales y adicionales, en *grados Fahrenheit* (°F).
- 17 Campo para indicar la aproximación de enfriamiento (TAF - TBH) par las celdas originales y adicionales, en *grados Fahrenheit* (°F).
18. Campo para indicar la carga estática para las celdas originales y adicionales de la torre de enfriamiento
- 19 Campo para indicar la potencia al freno del ventilador (BHP) para las celdas originales y adicionales de la torre de enfriamiento, en *horse power* (HP).
- 20 Campo para indicar la pérdida por evaporación de agua (agua evaporada / flujo total de agua) * 100, de las celdas originales y adicionales de la torre de enfriamiento, en (%).
- 21 Campo para indicar la pérdida por arrastre de agua (agua arrastrada / flujo de agua total) *100, de las celdas originales y adicionales de la torre de enfriamiento, en (%)
22. Campo para indicar la elevación de la torre de enfriamiento sobre el nivel del mar, en pies (ft).
- 23 Campo para indicar la exposición de la torre.

-
- 24 Campo para indicar la relación característica de torre (KaV/L), es adimensional.
 - 25 Campo para indicar la relación de flujo de aire/agua (L/G), (lbagua/lbairre).
 - 26 Campo en donde sé indicar los detalles estructurales de la torre de enfriamiento.
 - 27 Campo para indicar el número de celdas originales/actuales para las celdas originales y adicionales.
 - 28 Campo para indicar el número de ventiladores por celda original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 29 Campo para indicar el número total de ventiladores original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 30 Campo para indicar las dimensiones de la torre de enfriamiento (largo x ancho x alto) original/actual para las celdas originales y adicionales, en pies (ft).
 - 31 Campo para indicar las dimensiones del relleno (largo x ancho x alto) original/actual para las celdas originales y adicionales, en pies (ft).
 - 32 Campo para indicar la altura de la chimenea (largo x ancho x alto) original/actual para las celdas originales y adicionales, en pies (ft).
 - 33 Campo que indica el material de construcción de la torre de enfriamiento
 - 34 Campo para indicar el material de la estructura original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 35 Campo para indicar el material de las columnas original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 36 Campo para indicar el material de traveses, travesaños y diagonales original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 37 Campo para indicar el material de la escalera original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 38 Campo para indicar el material de los barandales original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 39 Campo para indicar el material de los pasillos original/actual para las celdas originales y adicionales.
 40. Campo para indicar el material de las paredes laterales original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 41 Campo para indicar el material de las paredes intermedias original/actual para las celdas originales y adicionales.
 42. Campo para indicar el material de los desviadores de aire original/actual para las celdas originales y adicionales.
 43. Campo para indicar el material de las persianas, con su respectivo ángulo, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 44 Campo para indicar el material de la charola de agua caliente original/actual para las celdas originales y adicionales.
 45. Campo para indicar el material del piso de los ventiladores original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 46 Campo para indicar el material de las chimeneas original/actual para las celdas originales y adicionales

-
- 47 Campo para indicar el material del relleno y su arreglo original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 48 Campo para indicar el material y cantidad por celda del relleno original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 49 Campo para indicar el material del tirante de la charola de agua caliente(A.C.), original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 50 Campo para indicar el material de las mallas, así como el tipo, separación y paso. original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 51 Campo para indicar el material de los eliminadores de rocío, así como el tipo, original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 52 Campo para indicar el material de los separadores, así como el tipo original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 53 Campo para indicar el material del soporte, así como el tipo, original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 54 Campo para indicar el tipo de sistema de distribución de agua original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 55 Campo para indicar el material del cabezal de distribución de agua original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 56 Campo para indicar el material de las boquillas, así como el número, diámetro y tipo original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 57 Campo para indicar el material de la herrería, tal como tornillería y clavos original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 58 Campo para indicar el material de las válvulas, así como el tipo y diámetro, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 59. Campo para indicar el material de las laterales, así como su diámetro, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 60 Campo que indica el equipo mecánico de la torre de enfriamiento.
 - 61 Campo para indicar el fabricante de los ventiladores original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 62 Campo para indicar el número, tipo y modelo de los ventiladores original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 63 Campo para indicar el diámetro y número de aspas del ventilador original/actual para las celdas originales y adicionales, el diámetro en pies (ft).
 - 64 Campo para indicar el material de los ventiladores original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 65 Campo para indicar el material de la maza y tornillería de los ventiladores original/actual para las celdas originales y adicionales
 66. Campo para indicar las revoluciones por minuto (R.P.M.) y velocidad tangencial del ventilador original/actual para las celdas originales y adicionales, en pies por minuto (ft/min).
 - 67 Campo para indicar el flujo de aire total real que entra al ventilador (ACFM), original/actual para las celdas originales y adicionales.
 68. Campo para indicar la potencia al freno del ventilador (BHP) de la torre de enfriamiento para las celdas originales y actuales, en horse power (HP)

-
- 69 Campo para indicar la caída de presión estática en el agua, original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 70 Campo para indicar la eficiencia estática total, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 71 Campo para indicar el fabricante del reductor de velocidad, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 72. Campo para indicar el material y número de reductores de velocidad en el ventilador, original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 73 Campo para indicar el tipo, modelo y eficiencia del reductor de velocidad. original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 74 Campo para indicar la relación de velocidad y el No. de red del reductor de velocidad original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 75 Campo para indicar el tipo de engrane del ventilador original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 76 Campo para indicar el AGMA de clase y factor de servicio (f.s.) del ventilador original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 77 Campo para indicar la línea de venteo y nivel del ventilador, original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 78 Campo para indicar el fabricante y tipo de la flecha de transmisión de potencia del ventilador, original / actual para las celdas originales y adicionales.
 79. Campo para indicar el número de las flechas de transmisión de potencia del ventilador, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 80 Campo para indicar el tipo y modelo de las flechas de transmisión de potencia del ventilador, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 81. Campo para indicar el diámetro y material del tubo de las flechas de transmisión del ventilador original/actual para las celdas originales y adicionales, el diámetro en pies (ft).
 82. Campo para indicar el material de los coplees usados en el ventilador, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 83. Campo para indicar el fabricante del interruptor de vibración del ventilador, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 84. Campo para indicar el modelo del interruptor de vibración del ventilador, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 85. Campo para indicar el tipo del interruptor de vibración del ventilador, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 86. Campo para indicar el material de soporte del equipo mecánico, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 87. Campo para indicar el uso de motor o turbina de la bomba de agua de la torre de enfriamiento, original/actual para las celdas originales y adicionales
 88. Campo para indicar el tipo de accionador (motor o turbina) de la bomba de agua, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 89 Campo para indicar el número de motores eléctricos o turbinas de las bombas de agua, original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 90 Campo para indicar el tipo de motores eléctricos o turbinas de la bomba de agua, original/actual para las celdas originales y adicionales

-
- 91 Campo para indicar la velocidad del motor eléctrico turbinas de la bomba de agua. original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 92 Campo para indicar el número de fases, hertz y corriente de motor eléctrico o turbinas de la bomba de agua, original/actual para las celdas originales y adicionales
 - 93 Campo para indicar la potencia de motor eléctrico o turbinas de la bomba de agua. original/actual para las celdas originales y adicionales.
 - 94 Campo para indicar notas generales adicionales a las mostradas en el formato

Formato No.3.

Hoja de inspección para torre de enfriamiento

Hoja 1 de 2

Propietario (1)		Fecha de inspección (6)	
Planta (2)		Inspeccionada por (7)	
Ubicación (3)		Torre marca (8)	
Clave de la torre por el usuario (4)		Fecha de instalación (9)	
Tipo de tratamiento de agua (5)		Fabricante y modelo (10)	

Condiciones de diseño:

Gasto (GPM) : (11) _____ Temp. Agua Caliente (°F) (12) _____

Temp. Agua Fría (°F) : (13) _____ Temp. Bulbo Húmedo (°F) . (14) _____

Marque con una (X) la columna que corresponde a la condición actual

Condición actual - (15)	1. Buena 2. Regular 3. Mal			
	1 (15)	2 (15)	3 (15)	
1. ESTRUCTURA EXTERIOR (16)				Equipo mecánico (41)
1. Paredes exteriores y puertas de acceso (17)				21. Flecha de transmisión (tipo) : (42)
2. Persianas (material) : (18)				22. Reductor de velocidad : (43)
3. Sellos de persianas y paredes : (19)				Serie rel. vel : (44)
4. Escalera de acceso al piso del vent : (20)				Nivel de aceite : (45)
5. Piso del ventilador : (21)				Sellos de aceite : (46)
6. Soportes del piso del ventilador : (22)				Ventila (47)
7. Barandales : (23)				Jgo de la Flecha piñón. (48)
8. Escaleras y pasillos : (24)				Jgo de la flecha vent.: (49)
9. Sistema de distribución : (25)				Fecha cambio de aceite:(50)
Cabezales (Tipo) : (26)				Aceite utilizado : (51)
Válvulas de control de flujo . (27)				23. Ventilador : (52)
Orificios (medida) : (28)				Diámetro y tipo : (53)
10. Sistema de rocío y toberas : (29)				Maza : (54)
11. Cilindro del ventilador : (30)				Aspas : (55)
ESTRUCTURA INTERIOR (31)				Cubierta de la maza : (56)
12. Relleno (tipo y arreglo) : (32)				Vibración (Si/No) : (57)
13. Columnas : (33)				Componentes adicionales : (58)
14. Mallas (34)				Guarda flecha (59)
15. Dragonales : (35)				Líneas y nivel de aceite (60)
16. Particiones y puertas : (36)				Switch de vibración (61)
17. Eliminadores (tipo, material) (37)				Otros (62)
18. Pasillo : (38)				24. Motor (Marca) . (63)
19. Deposito de agua fría (tipo) : (39)				Datos de Placa HP/RPM . (64)
20. Soporte del equipo mecánico (tipo) : (40)				Fases/Ciclos/Volts : (65)
				Amperes/Carcaza : (66)

Partes de remplazo requeridas (67)		
Cantidad (68)	Descripción (69)	Fecha Requerida (70)

Trabajos de mantenimiento requeridos (71)	
DESCRIPCION : (72)	NOTAS : (73)

Descripción de los campos

- 1 Campo para indicar el nombre de la empresa.
- 2 Campo para indicar el tipo de planta
- 3 Campo para indicar la ubicación de la planta.
- 4 Campo para indicar la clave de la torre
- 5 Campo para indicar el tipo de tratamiento que se le da al agua de la torre de enfriamiento
- 6 Campo para indicar la fecha de inspección de la torre de enfriamiento.
- 7 Campo para indicar el nombre de la empresa y persona que inspecciona la torre de enfriamiento
- 8 Campo para indicar la marca de la torre de enfriamiento.
- 9 Campo para indicar la fecha cuando entro en operación la torre de enfriamiento.
10. Campo para indicar el fabricante y modelo de la torre de enfriamiento.
11. Campo para indicar el flujo de agua de diseño en GPM de la torre de enfriamiento, este valor se toma del formato 2, campo (11), en galones por minuto (G.P M.).
- 12 Campo para indicar la temperatura de agua caliente (TAC) de diseño de la torre de enfriamiento, este valor se toma del formato 2, campo (13), en grados Fahrenheit (°F).
- 13 Campo para indicar la temperatura de agua fría (TAF) de diseño de la torre de enfriamiento, en grados Fahrenheit (°F)
- 14 Campo para indicar la temperatura de bulbo húmedo (TBH) de diseño de la torre de enfriamiento, en grados Fahrenheit (°F).
15. Campo para indicar la condición actual de la estructura exterior, interior y equipo mecánico de la torre de enfriamiento. Estas opciones son (1) bueno, (2) regular (3) malo . Se deberá de marcar con una "x" el estado en que se encuentre dichas partes de la torre en solo una de las columnas marcadas como "1", "2" y "3", campo (15).
16. Campo en el cual se enlistan los componentes de la estructura exterior para la torre de enfriamiento de enfriamiento.
- 17 Campo para indicar el estado de las paredes exteriores y las puertas de acceso.

Bueno:	Sí están completas
Regular:	Sí faltan manijas o bisagras
Malo:	Sí están rotas o faltan
18. Campo para indicar el estado actual de las persianas (indicar el material)

Bueno:	Sí están completas
Regular.	Sí están rotas y/o sucias
Malo:	Sí faltan algunas
- 19 Campo para indicar el estado de los sellos de las persianas y las paredes.

Bueno	Sí están completas
Regular	Sí están rotas y/o sucias
Malo:	Sí faltan algunas

-
- 20 Campo para indicar el estado de la escalera de acceso al piso del ventilador (Para escaleras con estructura de madera)
- Bueno Si esta completa
 - Regular Si están flojas los escalones
 - Malo Si faltan algunas pieza de escalera
- 21 Campo para indicar el estado del piso del ventilador. (Para torres con estructura de madera)
- Bueno: Si están completas
 - Regular Si están rotas y sucias
 - Malo. Si faltan algunas y/o rotas
- 22 Campo para indicar el estado del soporte del piso del ventilador. (Para torres con estructura de madera)
- Bueno: Si están completas
 - Regular. Si están desclavado y/o flojo
 - Malo Si presenta pudrición
- 23 Campo para indicar el estado de los barandales de la torre de enfriamiento
- Bueno: Si están completos
 - Regular. Si está flojo
 - Malo: Si falta o tiene pudrición (en caso de que sean de madera)
- 24 Campo para indicar el estado de las escaleras y pasillos de la torre de enfriamiento.
- Bueno. Si está completo
 - Regular. Si está flojo
 - Malo: Si falta o tiene pudrición
- 25 Campo para indicar el estado del sistema de distribución de la torre de enfriamiento.
- Bueno: Si no presenta fugas y/o corrosión
 - Regular: Si presenta corrosión
 - Malo: Si presenta fugas
26. Campo para indicar el tipo y estado del cabezal del sistema de distribución de agua
- Tipo De pared lateral o de pared final
 - Bueno. Si está completo
 - Regular. Si presenta corrosión
 - Malo: Si presenta fugas
27. Campo para indicar el tipo y estado de las válvulas de control de flujo del sistema de distribución
- Bueno Si están completas y engrasadas
 - Regular: Si falta alguna pieza y/o falta engrasar
 - Malo: Si presenta fugas en los sellos
- 28 Campo para indicar la medida y estado de los orificios del sistema de distribución de agua. (Para torres con diseño flujo cruzado)
- Tomar la medida de parte de la pieza
 - Bueno: Si están completos
 - Regular: Si faltan algunas tapas
 - Malo: Si falta tapas, si están rotas las rosetas y si faltan piezas completas
-

29. Campo para indicar del sistema de rocío y toberas. (Para torres con diseño a contraflujo)
- Bueno Sí está completo
 - Regular Sí presenta fugas en algunos de los ramales
 - Malo. Sí falta toberas o ramales
30. Campo para indicar el estado del cilindro del ventilador
- Bueno: Sí está completo y fijo
 - Regular: Sí está flojo
 - Malo. Sí está roto o falta algún segmento
31. Campo para enlistar el estado de la estructura interior de la torre de enfriamiento.
32. Campo para indicar el estado, tipo y arreglo del relleno de la torre de enfriamiento.
- Tipo: Salpiqueo o película (indicar material)
 - Bueno: Sí está completo
 - Regular: Sí faltan pocas piezas o sucio
 - Malo: Sí faltan piezas en áreas muy grandes
33. Campo para indicar el estado de las columnas interiores de la torre de enfriamiento. (Para torres con estructura de madera)
- Bueno. Sí están completas
 - Regular. Sí se notan flojas y/o sucias
 - Malo. Sí presenta pudrición
34. Campo para indicar el estado de las mallas de la torre de enfriamiento.
- Bueno: Sí están completas
 - Regular: Sí faltan pocas piezas
 - Malo: Sí faltan muchas
35. Campo para indicar el estado de las diagonales de la torre de enfriamiento. (Para torres con estructura de madera)
- Bueno: Sí están completas
 - Regular: Sí se notan flojas y/o sucias
 - Malo: Sí presenta pudrición
36. Campo para indicar el estado de las particiones y puertas de la torre de enfriamiento.
- Bueno: Sí están completas
 - Regular: Sí se notan flojas o con fugas de aire
 - Malo: Sí faltan y/o están rotas
37. Campo para indicar el material tipo y estado de los eliminadores de rocío
- Tipo: (Contraflujo, flujo cruzado, celular)
 - Material: (Madera, PVC)
 - Bueno: Sí están completos
 - Regular: Sí se notan rotos y/o sucios
 - Malo: Sí faltan o presenta pudrición (madera)

- 38 Campo para indicar el estado del pasillo de la torre de enfriamiento. (Para torres con estructura de madera)
- Bueno Sí están completo
 - Regular Si se notan flojos y/o sucios
 - Malo Si presenta pudrición
- 39 Campo para indicar el tipo y estado del depósito de agua fría
- Tipo Madera o concreto
 - Bueno. Si no presentan fugas
 - Regular Si presentan fugas
 - Malo Si presenta pudrición(para madera)
- 40 Campo para indicar el estado del soporte del equipo mecánico.
- Bueno Si no presenta corrosión
 - Regular. Si tiene principios de corrosión
 - Malo: Si presenta corrosión en varias partes
- 41 Campo para enlistar los componentes del equipo mecánico.
- 42 Campo para indicar el tipo y estado de la flecha de transmisión del ventilador
- Bueno: Si no presenta vibración
 - Regular: Si presenta vibración
 - Malo: Si presenta vibración y están rotos los elementos flexibles
- 43 Campo para indicar el estado del reductor de velocidad del ventilador.
- Bueno: Si no presenta ruidos
 - Regular: Si falta pintura
 - Malo: Si el ruido es muy alto
- 44 Campo para indicar el No. de Serie y relación de velocidad del reductor (son los datos de placa del reductor)
- 45 Campo para indicar el nivel de aceite del motor del ventilador.
- Bueno: Si están en la marca de lleno
 - Regular. Si está abajo de la marca de normal
 - Malo: Si está en la marca de bajo
46. Campo para indicar el estado de los sellos de aceite.
- Bueno. Si están completos
 - Regular: Si se aprecia un poco el goteo de aceite
 - Malo Si hay goteo de aceite
- 47 Campo para indicar el estado de la ventila del ventilador.
- Bueno: Si está libre
 - Regular: Si se aprecia un poco de obstrucción
 - Malo Si hay obstrucción
48. Campo para indicar el estado del juego de la flecha piñón del ventilador.
- Bueno: Si no se aprecia ruido
 - Regular: Si existe un poco de ruido
 - Malo Si existe ruido
- 49 Campo para indicar el estado del juego de la flecha del ventilador.
- Bueno. Si no se aprecia ruido
 - Regular: Si existe un poco de ruido
 - Malo: Si existe ruido
- 50 Campo para indicar la fecha del cambio de aceite en el reductor de velocidad.
- 51 Campo para indicar el tipo de aceite utilizado en el reductor de velocidad

-
52. Campo para indicar modelo de ventilador.
53. Campo para indicar el diámetro y tipo del ventilador
54. Campo para indicar el estado de la maza del ventilador.
- | | |
|---------|-----------------------------------|
| Bueno | Sí está completa |
| Regular | Sí falta alguna pieza de sujeción |
| Malo | Sí faltan piezas de sujeción |
55. Campo para indicar el estado de las aspas del ventilador.
- | | |
|----------|--------------------------------|
| Bueno | Sí están limpias |
| Regular. | Sí presentan suciedad |
| Malo | Sí presentan fisuras o roturas |
56. Campo para indicar el estado de la cubierta de la maza del ventilador.
- | | |
|----------|--|
| Bueno: | Sí está completa |
| Regular. | Sí falta tornillería de sujeción |
| Malo | Si falta tornillería de sujeción y está rota |
57. Campo para indicar si existe o no vibración en el ventilador.
58. Campo para indicar el estado de los componentes adicionales del ventilador.
59. Campo para indicar el estado del guarda del ventilador
- | | |
|----------|-----------------------|
| Bueno. | Sí está completa |
| Regular: | Sí falta alguna pieza |
| Malo: | Sí está rota |
60. Campo para indicar el estado de las líneas y nivel de aceite del ventilador.
- | | |
|----------|---------------------------|
| Bueno: | Sí está limpia y completa |
| Regular: | Sí falta alguna conexión |
| Malo: | Sí está rota la línea |
61. Campo para indicar el estado del switch de vibración del ventilador.
- | | |
|----------|------------------------------|
| Bueno: | Sí está fijo y limpio |
| Regular: | Sí está flojo |
| Malo. | Sí está sucio y/o incompleto |
62. Campo para indicar el estado de accesorios adicionales (lamparás, sistema contra incendio, equipo de remoción, etc.).
63. Campo para reportar la marca y estado del motor del ventilador.
- | | |
|----------|---|
| Bueno: | Sí está fijo y limpio |
| Regular: | Sí está sucio, sin grasa y/o sin placa |
| Malo. | Sí existen conexiones fuera de sitio, sin grasa |
64. Campo para reportar los datos de placa del motor del ventilador potencia (HP) y revoluciones por minuto (RPM).
65. Campo para reportar las fases (número), ciclos (hertz) y voltaje (volt), de la placa del motor del ventilador.
66. Campo para reportar el amperaje (ampere) de consumo y el tipo de carcasa del motor.
67. Campo para enlistar las partes de reemplazo requeridas por la torre de enfriamiento que se hayan marcado con regular o mal estado.
68. Campo para indicar la cantidad de partes de reemplazo requeridas por la torre de enfriamiento
-

-
- 69 Campo para indicar el nombre y/o número de las partes de los elementos a requerir para la torre de enfriamiento
 - 70 Campo para indicar la fecha en que se requerían las partes de reemplazo.
 - 71 Campo para indicar los trabajos de mantenimiento requeridos.
 - 72 Campo para descripción de los trabajos de mantenimiento requeridos en la torre de enfriamiento.
 - 73 Campo para indicar las notas relevantes o complementarias de la inspección visual

Formato No.4
Variaciones permitidas por el Código Cooling Tower Institute (CTI).



Variable (1)	Desviación permitida por código CTI (2)	Desviación entre prueba y diseño (3)	Desviación entre prueba y diseño (4)
		Celda No. _____ (5)	Celda No. _____ (6)
TBH (7)	+/- 10 °F		
Rango (8)	+ - 20 %		
Flujo (9)	+ - 10 %		

Descripción de campos

- 1 Campo para indicar las variables a reportar en el formato.
- 2 Campo que indicar las desviaciones permitidas en las variables indicadas por el Código Cooling Tower Institute (CTI).
- 3 Campo para indicar la desviación de las variables entre prueba y diseño para la celda indicada en el campo (5).
- 4 Campo para indicar la desviación de las variables entre prueba y diseño para la celda indicada en el campo (5).
- 5 Campo para indicar el número de la primer celda inspeccionada.
- 6 Campo para indicar el número de la segunda celda inspeccionada.
- 7 Campo para indicar la desviación entre prueba y diseño de las dos celdas para la temperatura de bulbo de húmedo (TBH) en ° F, el valor de diseño se toma del formato 2 campo (15); el valor de prueba se toma del formato 5, campo (24), en grados Fahrenheit (°F).
- 8 Campo para indicar la desviación entre prueba y diseño de las dos celdas para el rango (TAC – TAF) en %, el valor de diseño se toma del formato 2 campo (16), para obtener el rango de prueba se hace la diferencia entra la e la TAC y la TAF, la TAC se toma del formato 5, campo (25) y la TAF se toma del formato 5, campo(26), en por ciento (%)
- 9 Campo para indicar la desviación entre prueba y diseño de las dos celdas para el flujo de agua %, el valor de diseño se toma del formato 2 , campo (12); el valor de prueba se toma del formato 5, campo (27), en por ciento (%).

Formato 5
Hoja de datos para la prueba de comportamiento

Hoja 1 de 2

Cliente (1) Centro de trabajo : (2) Fecha de la prueba (3) Clave de la torre (4) Fabricante, y modelo (5) Celda a inspeccionar (6)	(7) NORTE  Numero de celdas (8) (Primera) (Última) 
---	--

Corrida (9)	Hora (10)	Estación de toma de temperatura de bulbo húmedo : (TBH) (11)			Temperatura de agua caliente : (TAC) (14)		Temperatura de agua fría : (TAF) (16)	
		(° F) (12)	(° F) (13)		(° F) (15)		(° F) (17)	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
Suma total (18)		(19)	(20)		(21)		(22)	
Promedio TBH : (23)		(24)						

Promedio total (25)			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>TBH (° F) (26)</td> <td>TAC (° F) (27)</td> <td>TAF (° F) (28)</td> </tr> </table>	TBH (° F) (26)	TAC (° F) (27)	TAF (° F) (28)
TBH (° F) (26)	TAC (° F) (27)	TAF (° F) (28)	

Flujo (G.P.M) : (29)

NOTAS : (30)	Descripción : (31)
1	
2	
3	

Nombres : (32)	Representado : (33)	Fecha : (34)

Determinación de la potencia de prueba del motor del ventilador de la torres de enfriamiento: (35)

Ventilador (36)		Voltaje (Volts) (39)	Corriente eléctrica (Ampere): (40)			Potencia (BHP) (44)
CLAVE (37)	No CELDA (38)		LÍNEA 1 (41)	LÍNEA 2 (42)	LÍNEA 3 (43)	(HP) (45)

Factor de potencia, F.P. (46)

Potencias de bombas de agua de enfriamiento: (47)

(Llenar en caso de no poder medir el flujo de entrada a la celda)

Bomba (48)		Presión de descarga : (psig) (51)	Voltaje (Volts) (52)	Corriente eléctrica (Ampere) (53)			Potencia (57)
CLAVE (49)	No CELDA (50)			LÍNEA 1 (54)	LÍNEA 2 (55)	LÍNEA 3 (56)	(KW) (58)

Factor de potencia (F.P) (59)


Descripción de campos del Formato 5

- 1 Campo para indicar el nombre de la empresa
- 2 Campo para indicar el lugar donde se ubica la empresa.
- 3 Campo para indicar la fecha en que se efectuó la prueba
- 4 Campo para indicar la clave de la torre de enfriamiento.
- 5 Campo para indicar el fabricante y modelo de la torre de enfriamiento
- 6 Campo para indicar la celda que se va a probar, en caso de ser una sola celda deberá de indicarse como: única.
- 7 Campo que indica el norte físico
- 8 Campo para indicar el número de celdas de la torre de enfriamiento. (comúnmente la prueba de comportamiento se realiza en la primera y última celda)
- 9 Campo que indica el número de veces (12) en que se tienen que efectuar las lecturas de las temperaturas, en grados Fahrenheit (°F) .
- 10 Campo para indicar la hora/minutos en que se toma la lectura la frecuencia es de cada 5 minutos
- 11 Campo para indicar la temperatura de bulbo húmedo (TBH) que se obtiene con el psicrometro en ambos lados de la torre, como se indica en la evaluación energética, en grados Fahrenheit (°F).
- 12 Campo para indicar la TBH, de un lado de la celda (lado oriente), esto queda especificado al indicar el norte en el campo (7), en grados Fahrenheit (°F)..
- 13 Campo para indicar la TBH, del otro lado de la celda (lado poniente), esto queda especificado al indicar el norte en el campo (7), en grados Fahrenheit (°F)
- 14 Campo para indicar la temperatura de agua caliente (TAC), con un termómetro de mercurio como se indica en la evaluación energética, en grados Fahrenheit (°F)
- 15 Campo para indicar la temperatura de agua caliente (TAC), en grados Fahrenheit (°F).
- 16 Campo para indicar la temperatura de agua fría (TAF), con un termómetro de mercurio como se indica en la evaluación energética, en grados Fahrenheit (°F)
- 17 Campo para indicar la temperatura de agua fría (TAF), en grados Fahrenheit (°F).
- 18 Campo para indicar la sumatoria de las columnas las TBH(2), TAC, TAF, en grados Fahrenheit (°F).
- 19 Campo para indicar la sumatoria de las TBH (lado oriente), en grados Fahrenheit (°F).
- 20 Campo para indicar la sumatoria de las TBH (lado poniente), en grados Fahrenheit (°F).
- 21 Campo para indicar la sumatoria de las TAC, en grados Fahrenheit (°F).
22. Campo para indicar la sumatoria de las doce TAF, en grados Fahrenheit (°F)

-
- 23 Campo para indicar el promedio de las TBH (lado oriente y lado poniente), en grados Fahrenheit (°F)
 - 24 Campo para indicar el promedio de las TBH (lado oriente y lado poniente), es el promedio aritmético del campo (19) y (20)
 - 25 Campo para indicar el promedio total para la TBH , TAC, y TAF, estos valores se usarán para determinar el porciento de capacidad de la torre de enfriamiento, en grados Fahrenheit (°F).
 - 26 Campo para indicar el promedio de la TBH, es la división entre el promedio de la TBH campo 24 y el número de corridas (12), en grados Fahrenheit (°F).
 - 27 Campo para indicar el promedio de la TAC, es la división entre la suma total de la TAC campo 21 y el número de corridas (12), en grados Fahrenheit (°F).
 - 28 Campo para indicar el promedio de la TAF, es la división entre la suma total de la TAF campo 22 y el número de corridas (12), en grados Fahrenheit (°F).
 29. Campo para indicar el flujo de agua que entra esta a una celda (W_{agua}), la medición se debe de realizar como se indica en la evaluación energética, en galones por minuto (G.P.M.).
 - 30 Campo que indica las notas generales sobre la realización de la prueba de comportamiento.
 31. Campo para indicar la descripción de las notas generales sobre la realización de la prueba de comportamiento.
 32. Campo para indicar los nombres de las personas que realizan la prueba de comportamiento.
 - 33 Campo para indicar a la empresa que representan las personas que realizan la prueba de comportamiento.
 34. Campo donde se indican la fecha de la prueba.
 - 35 Campo que indica la determinación de la potencia de prueba del motor del ventilador, el procedimiento se indica en la evaluación energética, y la memoria del cálculo para determinar la capacidad de enfriamiento.
 36. Campo que indica el ventilador de la celda de la torre de enfriamiento.
 - 37 Campo para indicar la clave del ventilador de la celda de la torre de enfriamiento.
 38. Campo para indicar el número de la celda de la torre, en la que se encuentra el ventilador.
 39. Campo para indicar la lectura de voltaje con el multímetro, como se indica en la evaluación energética, en volts (V).
 - 40 Campo para indicar la lectura de amperaje con el multímetro, como se indica en la evaluación energética, en las tres líneas de corriente, el amperaje es el promedio de los campos (41), (42) y (43) en ampere (A).
 41. Campo para indicar la lectura de amperaje con el multímetro, para la primera línea de corriente, en ampere (A).
 - 42 Campo para indicar la lectura de amperaje con el multímetro, para la segunda línea de corriente, en ampere (A).
 - 43 *Campo para indicar la lectura de amperaje con el multímetro, para la tercera línea de corriente, en ampere (A).*
 - 44 Campo para indicar la potencia motor del ventilador, en horse power (H.P), es el promedio del campo (41),(42) y (43).

-
- 45 Campo para indicar la potencia del motor del ventilador, mediante la fórmula siguiente $Potencia = (\sqrt{3} \text{ (Voltaje x Amperaje x F.P.)}) / (1000 \cdot 0.7457)$, en horse power (H P.).
 - 46 Campo para indicar el factor de potencia del motor del ventilador, este valor es adimensional
 - 47 Campo que indica la determinación de la potencia de prueba del motor de la bomba (Esta sección se llenará sólo en caso de que no se cuente con los equipos para medir el flujo de agua), el procedimiento se encuentra en el apéndice.
 - 48 Campo que indica la bomba de la celda de la torre de enfriamiento.
 - 49 Campo para indicar la clave de la bomba de agua que alimenta a la torre.
 - 50 Campo para indicar la celda de la torre, en
 - 51 la que se encuentra la bomba
 - 52 Campo para indicar la presión de descarga de la bomba de agua de la torre, en libras sobre pulgada cuadrada manométrico (psig).
 - 53 Campo para indicar la lectura de voltaje con el multímetro, como se indica en la evaluación energética, en volts (V).
 - 54 Campo para indicar la lectura de amperaje con el multímetro, como se indica en la evaluación energética, en las tres líneas de corriente (para motor trifásico), y para una sola línea de corriente (para motor monofásico), en ampere (A).
 - 55 Campo para indicar la lectura de amperaje con el multímetro, para la primera línea de corriente, en ampere (A).
 - 56 Campo para indicar la lectura de amperaje con el multímetro, para la segunda línea de corriente, en ampere (A)
 - 57 Campo para indicar la lectura de amperaje con el multímetro, para la tercera línea de corriente, en ampere (A).
 - 58 Campo para indicar la potencia motor del ventilador, en horse power (H P)
 - 59 Campo para indicar la potencia del motor del ventilador, mediante la fórmula siguiente: (para motor trifásico) $Potencia = (\sqrt{3} \text{ (Voltaje x Amperaje x F.P.)}) / (1000 \cdot 0.7457)$, (para motor monofásico) $Potencia = (\text{Voltaje x Amperaje x F.P.}) / (1000 \cdot 0.7457)$, en horse power (H.P.).
 - 60 Campo para indicar el factor de potencia del motor de la bomba, este valor es adimensional.

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO



Determinación de la capacidad actual de enfriamiento.

En este punto se obtendrán los resultados de la capacidad de enfriamiento de la torre, para lo cual se pueden emplear dos métodos de cálculo aprobados por el código CTI ATC-105, método de curvas de comportamiento (método de curvas) y el método de curvas características por el criterio de Merkel (método de Merkel).

En caso de que no se cuente con las curvas de comportamiento ni la característica de la torre, se desarrolla un balance térmico, para estimar en forma preliminar las condiciones de operación de la torre.

Obtención de resultados

Con base a los datos recopilados durante la información preliminar así como los de la prueba de comportamiento se elabora una tabla de comparación entre valores de diseño y prueba, como se muestra en el formato No. 6.

Formato No. 6.

Tabla de comparación entre diseño y prueba

Variable (1)	Diseño (2)	Prueba (3) primer celda	Prueba (4) última celda
Flujo (GPM) (5)			
T_{AC} (°F) (6)			
T_{AF} (°F) (7)			
Rango ($T_{AC} - T_{AF}$)°F (8)			
T_{BH} (°F) (9)			
Aproximación ($T_{AF} - T_{BH}$)°F (10)			
BHP(Hp) (11)			

Descripción de campos del Formato 6.

- 1 Campo para indicar las variables a reportar en el formato.
- 2 Campo para indicar las variables de diseño.
- 3 Campo para indicar las variables de prueba, de la primer celda.
- 4 Campo para indicar las variables de prueba, de la última celda.
- 5 Campo para indicar el flujo de agua que entra a la torre (W_{H_2O}) de diseño y prueba, el valor de diseño se toma del formato 2, campo 12, el valor de prueba se toma del formato 5, campo 29, en galones por minuto (G.P M.).
- 6 Campo para indicar la temperatura de agua caliente (TAC) de diseño y prueba, el valor de diseño se toma del formato 2, campo 13, el valor de prueba se toma del formato 5, campo 27, en grados Fahrenheit (°F).

- 7 Campo para indicar la temperatura de agua fría (TAF) de diseño y prueba, el valor de diseño se toma del formato 2, campo 14, el valor de prueba se toma del formato 5, campo 28, en grados Fahrenheit (°F)
 - 8 Campo para indicar el rango de la torre de enfriamiento , el valor de diseño se toma del formato 2, campo 16, el valor de prueba es la resta de TAC (campo 6) y la TAF (campo 7), en grados Fahrenheit (°F).
 - 9 Campo para indicar la temperatura de bulbo húmedo TBH de diseño y prueba, el valor de diseño se toma del formato 2, campo 15, el valor de prueba se toma del formato 5, campo 26, en grados Fahrenheit (°F).
 10. Campo para indicar la aproximación de la torre de enfriamiento , el valor de diseño se toma del formato 2, campo 17, el valor de prueba es la resta de TAF (campo 7) y la TBH (campo 9), en grados Fahrenheit (°F).
- Campo para indicar la potencia al freno del ventilador (BHP), de diseño y prueba, el valor de diseño se toma del formato 2, campo 19, el valor de prueba se toma del formato 5, campo 45, En horse power (H p.).

A.- Método de curvas de comportamiento

Este método se utiliza cuando se cuenta con las curvas de comportamiento proporcionadas por el fabricante de la torre

Utilizando las curvas de comportamiento proporcionadas por el fabricante para condiciones de operación de 90%, 100% y 110% del flujo de agua de circulación (o como mínimo dos) y tomando del formato No. 6 los datos de la prueba el valor correspondiente al bulbo húmedo y haciéndolo coincidir con cada una de las curvas de comportamiento de la torre de enfriamiento, se podrá construir una curva donde la abscisa (eje x) es el rango y la ordenada (eje y) corresponde a la temperatura de agua fría.

En esa curva se fija el rango de enfriamiento que se obtuvo en la prueba (formato No.5) y se construye la gráfica donde el eje x corresponde a la temperatura de agua fría y el eje y al gasto de circulación predecible, una vez elaborada esta curva y tomando como dato la temperatura de agua fría de la prueba se podrá determinar el flujo esperado.

A partir de este valor y de los datos reportados en el formato 5, se calcula el porcentaje de capacidad de enfriamiento de la torre y esta dado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ CAP} = \left[\frac{\text{FLUJO DE PRUEBA}}{\text{FLUJO ESPERADO}} \right] \times \left[\frac{\text{BHP DISEÑO}}{\text{BHP PRUEBA}} \right]^{0.333} \times 100$$

donde

- 1 BHP prueba = Es la potencia al freno del ventilador de prueba, determinada a partir del voltaje, amperaje y factor de potencia, en (H.P.)
- 2 BHP diseño = Es la potencia al freno del ventilador de diseño, proporcionada por el fabricante, o calculada a partir de datos de diseño o nominal, en (H.P.).
- 3 % de flujo de prueba = Es el porcentaje de flujo de agua de prueba con respecto a diseño, en (%).
- 4 % de flujo de esperado = Es el porcentaje de flujo de diseño, que se determinará en esta metodología, en (%).
- 5 % de capacidad = Es el porcentaje de capacidad de la torre, expresado en (%).

A continuación se desarrolla completamente la memoria de cálculo para determinar el porcentaje de capacidad de la **torre de enfriamiento de agua típica**, por el método de curvas.

1 Cálculo de la potencia al freno del ventilador (BHP) de prueba

La potencia al freno del ventilador (BHP) de prueba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{BHP de prueba} = \frac{\sqrt{3} \times V \times A \times \text{F.P.}}{0.7457 \times 1000} = [\text{Hp}] \dots \text{ecuación (2)}$$

$$\text{BHP de prueba} = \frac{V \times A \times \text{F.P.}}{0.7457 \times 1000} = [\text{Hp}] \dots \text{ecuación (2A)}$$

En donde

- $\sqrt{3}$ = Raíz cuadrada de tres, valor para el motor trifásico del ventilador (adimensional).
- V = Voltaje del motor del ventilador, este valor se toma del formato No5, campo 39, en volts (Volts).
- A = Amperaje del motor del ventilador, este valor se toma del formato No.5, campo 40, en ampere (Ampere).
- F.P. = Factor de potencia del motor del ventilador, este valor se toma del formato No.5, campo 46, este valor es adimensional
- 0.7457 = Factor de conversión de Watts a Hp (1 Hp = 0.7457 kW).

1000 = Valor para convertir watts a kilowatts (1 kW = 1000 W).
 BHP de prueba = Potencia al freno del ventilador de prueba (BHP), en caballos de potencia (Hp).

La ecuación (2) es para motor trifásico y la ecuación (2A) es para motor monofásico.

2. Cálculo del BHP de diseño

El BHP de diseño se obtiene de la hoja de datos de la torre, la cual debe vaciarse en el formato No 2, campo 19, en caballos de potencia (Hp). En caso de que no se cuente con este valor se deberá calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{BHP diseño} = \frac{\text{ACFM} * \Delta P \text{ total}}{6356 * \eta_{\text{red}} * \eta_{\text{vent}}} = [\text{Hp}] \quad \dots \text{ecuación (3)}$$

En donde.

ACFM = Cantidad de aire actual incluyendo agua evaporada, en pies cúbicos por minuto (ft³/min)

ΔP_{Total} = Caída de presión total que tiene que vencer el ventilador. Es decir, incluye la presión estática total (perdidas a través de la torre, más la presión de velocidad), en pulgadas de agua (pulg H₂O).

η_{red} = Eficiencia del reductor de velocidad, en porcentaje (%).

η_{vent} = Eficiencia del ventilador, en porcentaje (%).

6356 = Factor de conversión, para obtener potencia.

BHP diseño = Potencia al freno de diseño a la entrada del motor, en horse power (Hp).

2 A Datos proporcionados por el fabricante, en la hoja de simulación de la torre de enfriamiento.

η_{rec} = Eficiencia de recuperación en la chimenea, en porcentaje (%)

η_{red} = Eficiencia del reductor de velocidad, en porcentaje (%).

η_{vent} = Eficiencia del ventilador, en porcentaje (%).

ACFM = Cantidad de aire real incluyendo agua, en pies cúbicos por minuto (ft³/min).

$P_{\text{est tot}}$ = Caída de presión total que tiene que vencer el ventilador. Incluye la presión estática total (pérdidas a través de la torre, más la presión de velocidad), en pulgadas de agua (pulg de H₂O).

V_g = Velocidad del aire, en pies por segundo (ft/s).

- ρ = Densidad del aire saliente, en libras por pie cúbico (lb/ft³)
 D_s = Diámetro de la chimenea en la parte superior, en pies (ft)

2 B Cálculo de velocidad del aire en el ventilador

Esta velocidad será calculada en la salida de la chimenea.

$$A_s = \pi \cdot D_s^2 / 4 = [\text{ft}^2] \quad \dots \text{ecuación (3 A)}$$

$$V_s = \text{ACFM} / A_s = [\text{ft}/\text{min}] \quad \dots \text{ecuación(3 B)}$$

En donde

$$\pi = \text{Constante } 3.1415$$

$$A_s = \text{Área de flujo de aire a la salida de la chimenea, en pies cuadrados (ft}^2\text{)}$$

$$V_s = \text{Velocidad de flujo de aire a la salida de la chimenea, expresada en pies por minuto (ft/min)}$$

2 C Cálculo de presión de velocidad

2 C 1. Cálculo de presión de velocidad en la salida del ventilador.

$$PVS = \left| \frac{V_s^2}{1096.5 / (\rho)^{1/2}} \right| = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots (3 C)$$

2 C 2. Cálculo de presión de velocidad en la garganta del ventilador

$$PVG = \left| \frac{V_g^2}{1096.5 / (\rho)^{1/2}} \right| = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots (3 D)$$

En donde:

$$\rho = \text{Densidad del aire saliente de la torre, en libras por pie cúbico (lb/ft}^3\text{)}$$

$$PVS = \text{Presión de velocidad a la salida, en pulgadas de agua (pulg de H}_2\text{O)}.$$

$$PVG = \text{Presión de velocidad en la garganta, en pulgadas de agua (pulg de H}_2\text{O)}.$$

Cálculo de la presión total

$$\text{REC} = \eta \text{ rec} (PVG - PVS) = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots \text{ecuación (3 E)}$$

$$PVREC = PVG - REC = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots \text{ecuación (3 F)}$$

$$\Delta P_{\text{tot}} = P_{\text{est tot}} + PVREC = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots \text{ecuación (3G)}$$

El valor obtenido de ΔP_{tot} y los valores del η por el fabricante (ACFM, η_{red} , η_{vent}), se sustituye en la ecuación (3) para obtener el BHP de diseño

En donde:

REC = Recuperación de velocidad, en pulgadas de agua (pulg H₂O)

PVREC = Presión de velocidad recuperada, en pulgadas de agua (pulg H₂O).

ΔP_{tot} = Caída de presión total en la torre de enfriamiento, en pulgadas de agua (pulg H₂O).

En caso de no contar con el BHP del fabricante, o con los valores requeridos de la hoja de simulación del fabricante de la torre de enfriamiento, se puede obtener un valor preliminar del BHP de diseño, utilizando la potencia nominal del motor del ventilador.

A continuación se presenta el formato No.7 en donde se tienen los datos de diseño y prueba para una celda, de donde se obtienen los datos para calcular el % de flujo esperado

Formato No.7
Tabla de comparación entre los valores de diseño y prueba.
(Para una sola celda)

Variable	Símbolo	Unidad	Diseño	Prueba primer celda
Flujo de agua	W_{H_2O}	GPM	12,750	13,818
Temperatura de agua caliente	TAC	° F	98	86.5
Temperatura de agua fría	TAF	° F	75	67.9
Temperatura de bulbo húmedo	TBH	° F	65	52.5
Rango de enfriamiento ($T_{AC} - T_{AF}$)°F	-	° F	23	18.6
Aproximación ($T_{AF} - T_{BH}$)°F	-	° F	10	15.4
Potencia al freno del ventilador	BHP	Hp	58	40.9

Antes de iniciar los cálculos se debe de llenar el formato 4, en donde se obtienen los límites de aceptación de la prueba de comportamiento, con los datos del formato 7

Formato No.4
**Límites de aceptación permitidas por el
 Código Cooling Tower Institute (CTI).**

Variable	Desviación permitida por código CTI	Desviación entre prueba y diseño
		Celda No. Primera
TBH	+- 15 ° F	-12.5 ° F
Rango	+- 20 %	-19.13 %
Flujo	+- 10%	+8.38 %

Como se observa en el formato 4, la desviación en los valores de la TBH, rango y flujo de agua, están en los límites de aceptación marcados por CTI, por lo que se acepta la prueba de comportamiento y puede seguir con los cálculos para determinar el % de capacidad de la celda.

En caso de que no se tengan los límites de aceptación marcados por CTI en el formato 4, se dan las recomendaciones operacionales para su ajuste.

3. Porcentaje de flujo de prueba (% de flujo de prueba)

El % de flujo de prueba de la torre esta dada por la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de flujo de prueba} = \frac{\text{flujo de prueba}}{\text{flujo de diseño}} * 100 \dots \text{ecuación (3H)}$$

En donde:

Flujo de prueba = Flujo medido del agua que entra a la celda, se toma del formato 5, campo (29), en galones por minuto (G P.M.).

Flujo de diseño = Flujo de diseño de la torre, obtenido de la hoja de datos de la torre, formato No.2, en galones por minuto (G P.M.).

Para este ejemplo se toman los datos de ejemplo del formato 5, mostrado

$$\% \text{ de flujo de prueba} = \frac{13,818}{12,750} * 100$$

$$\% \text{ de flujo de prueba} = 108.38 \%$$

4 Por ciento de flujo de esperado

Para calcular el por ciento (%) de flujo esperado se proporciona un ejemplo teniendo ya los resultados de los datos de diseño y los resultados reales de una prueba realizada, así como las tres curvas de comportamiento a tres rangos distintos, para determinar el % de flujo esperado de la torre.

Los datos de diseño y prueba se toman del formato 7 (ejemplo).

La secuencia de cálculo para determinar el % de flujo esperado de la torre se cuenta con 2 grupos de información:

a) Curvas de comportamiento a tres por cientos de flujo, 90%, 100% y 110%.
(Gráficas 1 a 3)

b) Datos de diseño y datos de la prueba para incorporar en la fórmula del % de capacidad (ecuación 1), en ésta fórmula sólo falta el flujo esperado que se determina mediante el siguientes procedimiento:

b.1) Con las tres curvas de comportamiento (90%, 100%, y 110%) de temperatura de bulbo húmedo (TBH) en grados Fahrenheit (°F). vs temperaturas de agua fría (TAF) en grados Fahrenheit (° F) a tres rangos diferentes (°F); para cada gráfica de % de flujo situarse con la TBH (°F) de prueba (para este ejemplo 52.5 ° F) e interceptar los tres distintos rangos y leer las tres TAF (°F) para las gráficas 1 a 3, éstos valores se vacían en la tabla No.1

Tabla No. 1. Celda primera
Temperatura de agua fría (°F)

Rango (°F)	18.4	23.0	27.6
TAF (°F)			
% de flujo (GPM)			
90	63.76	65.55	67.11
100	65.34	67.34	69.07
110	66.91	69.10	71.00

b.2) Con los datos de la tabla 1, se obtiene la gráfica No.4, Rango (° F) vs TAF (° F), obteniéndose tres curvas, una para cada flujo de agua (90%,100%,110%) En dicha gráfica se localiza el rango de prueba (para este ejemplo 18.6 ° F) y así obtenemos las TAF esperadas (°F) para cada % de flujo. Esta información se vacía en la tabla No 2

Tabla No 2.

Temperaturas de agua fría esperadas (TAF esperada en ° F)

TAF esperada °F	Rango (18.6 °F)
% de flujo (GPM)	
90	63.7
100	65.4
110	67.0

b 3) Se gráfica los datos de la tabla No.2 para hacer la gráfica No.5, TAF (°F) vs % de flujo de agua (GPM), trazamos la recta correspondiente a la TAF (para este ejemplo de 67.9 °F) y encontramos el % de flujo esperado.

El % de flujo esperado es de (para este ejemplo) = 115.1 %

5 Por ciento de capacidad de la torre de enfriamiento

Todos los valores de los puntos 1 a 4, se sustituyen en la ecuación (3):

$$\% \text{ de capacidad} = \frac{\% \text{ de flujo de prueba}}{\% \text{ de flujo de esperado}} * \left| \frac{\text{BHP diseño}}{\text{BHP prueba}} \right|^{0.333} * 100$$

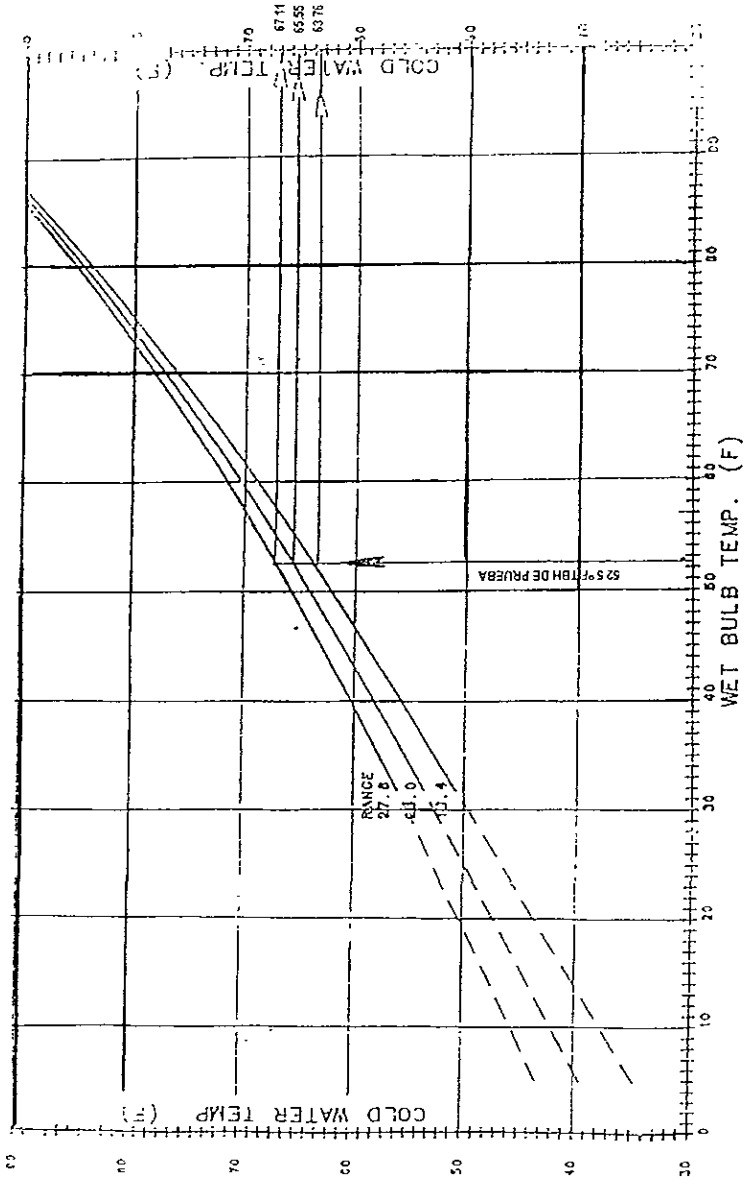
$$\% \text{ de capacidad} = \frac{108.38 \%}{115.10 \%} * \left| \frac{58}{40.9} \right|^{0.333} * 100$$

$$\% \text{ de capacidad} = 105.76 \%$$

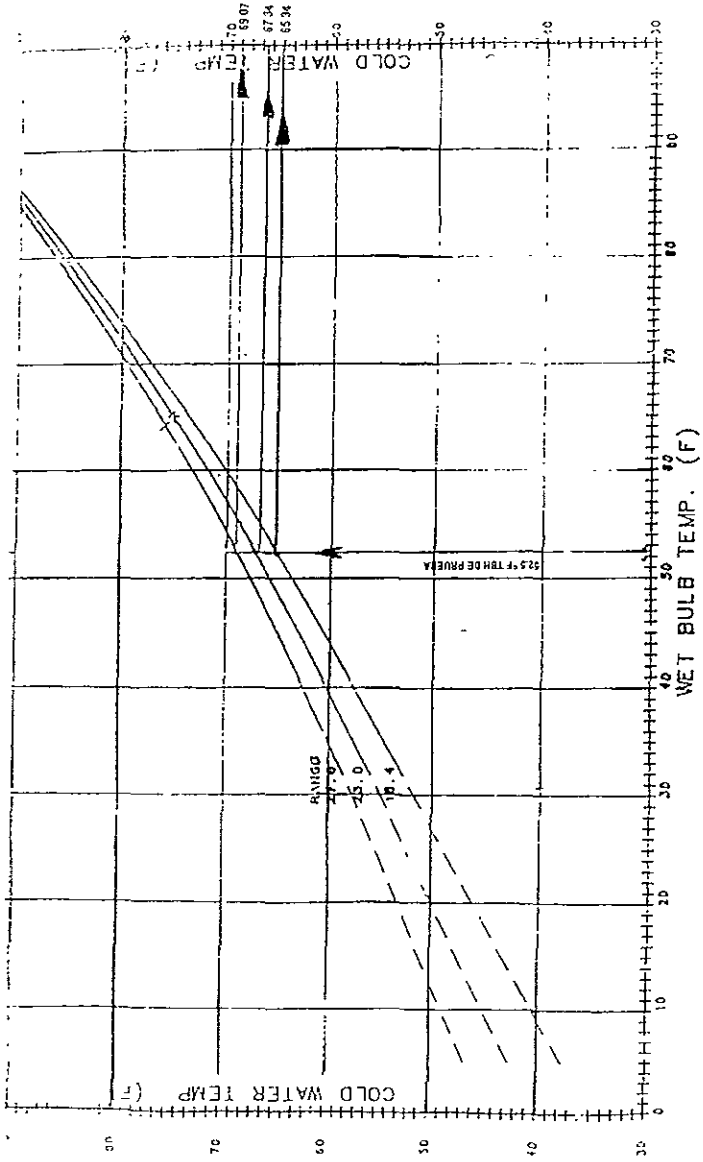
Este valor indica que a los valores de diseño, la temperatura de agua caliente (TAC = 98 °F); temperatura de agua fría (TAF = 75 °F); temperatura de bulbo húmedo (TBH = 65 °F) y con una potencia de ventilador de 58 BHP, la celda es capaz de enfriar :

$$12,750 \times 1.0576 = 13,484 \text{ GPM.}$$

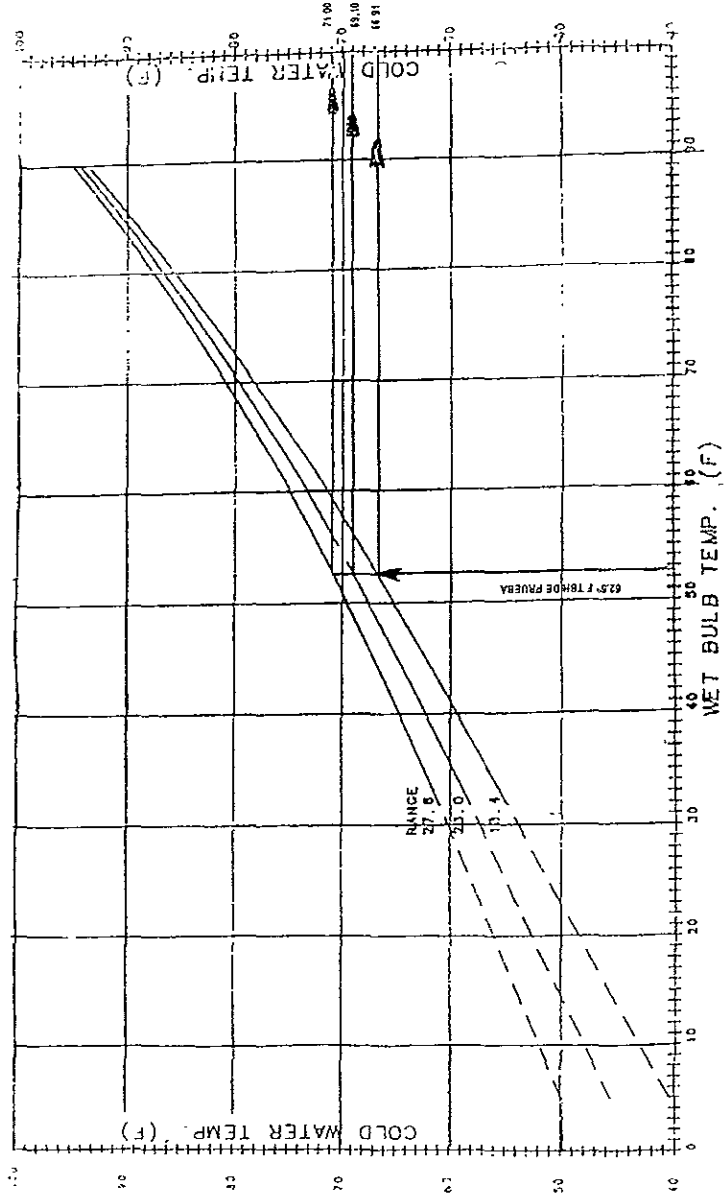
GRAFICA No. 1
 CURVA DE COMPORTAMIENTO 90 %
 TBH (°F) VS TAF (°F)



GRAFICA No. 2
 CURVA DE COMPORTAMIENTO 100%
 TBH (°F) VS TAF (°F)



GRAFICA No. 3
 CURVA DE COMPORTAMIENTO 110%
 TBH (°F) VS TAF (°F)



GRAFICA No 4
RANGO (° F) VS TEMPERATURA DE AGUA FRIA TAF (°F)

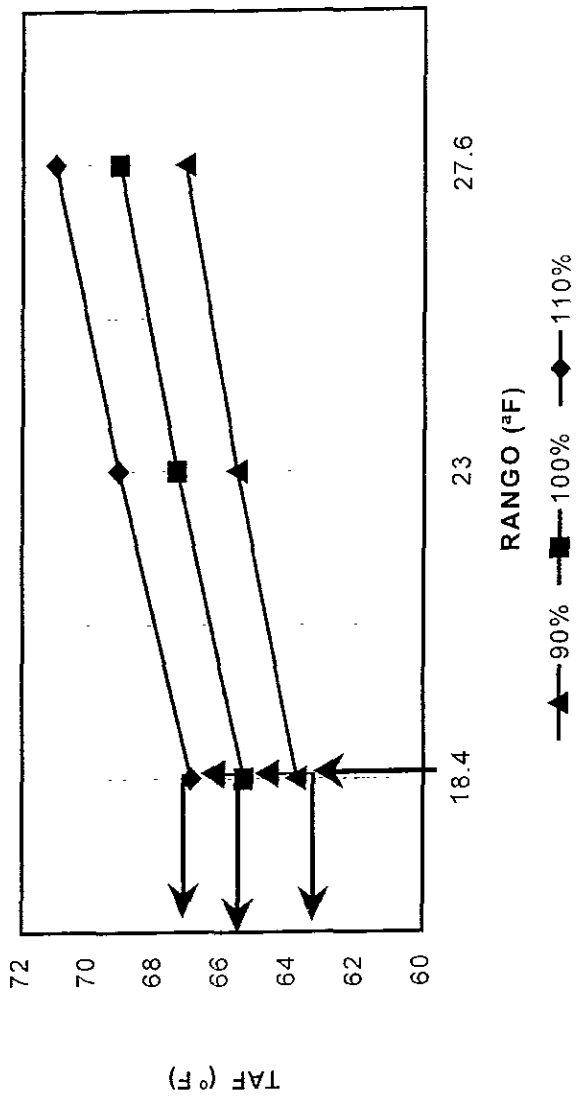
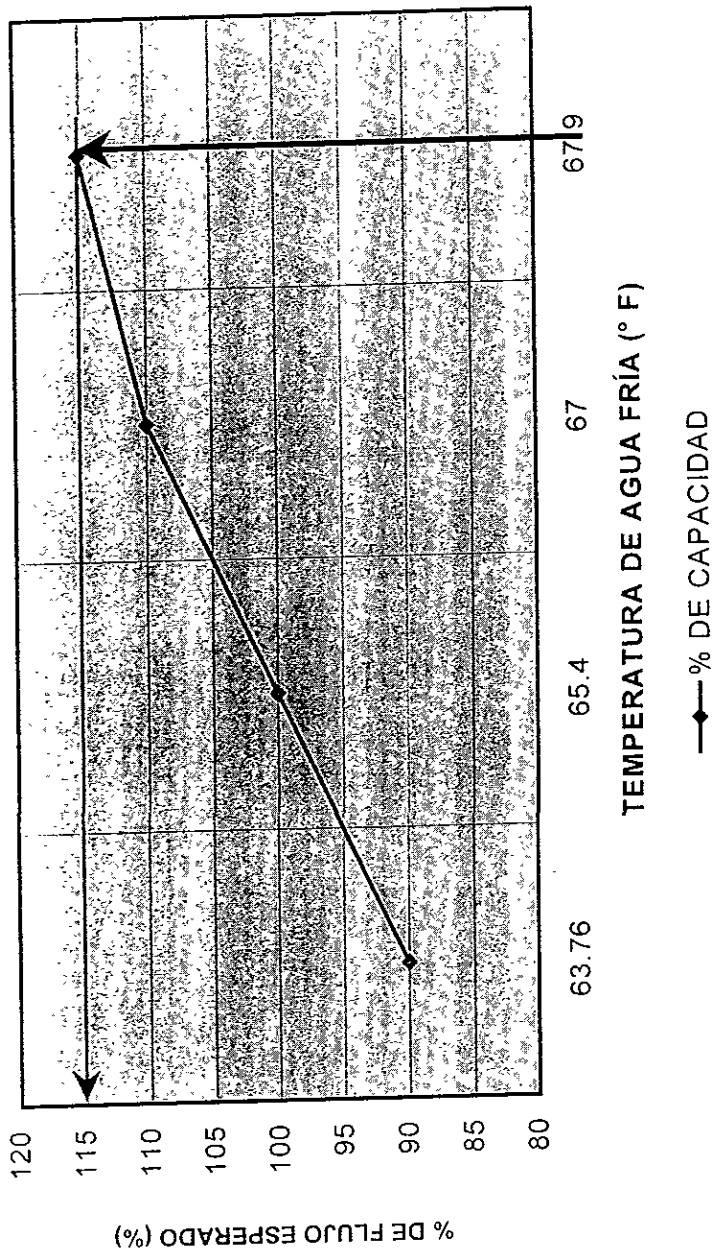


TABLA No 6 TEMPERATURA DE AGUA FRÍA VS % DE FLUJO ESPERADO (%)



B.- Método de curvas características por el criterio de Merkel.

Este método se utiliza cuando no se cuenta con las curvas de comportamiento proporcionadas por el fabricante de la torre y se utiliza una curva característica general que nos auxilia, para obtener los datos requeridos por el criterio de Merkel.

Se localizan ahora los valores de $(KaV / L)_{prueba}$ y con $(L / G)_{prueba}$ localizar la curva que le corresponde. En este punto se traza una tangente paralela a la curva característica con pendiente negativa de 0.6. Moverse sobre esta línea paralela hasta interceptar a la curva característica con la aproximación (TAF-TBH) de diseño y leer el valor de (L / G) o que le corresponde.

El por ciento de capacidad para la torre de enfriamiento típica por el método de curvas características (por el criterio de Merkel), esta dado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de capacidad} = \frac{(L / G) o}{(L / G) \text{ DISEÑO}} \times 100 = [\%] \dots \text{ ecuación (1)}$$

$(L / G)_{diseño}$ = Proporcionado por el fabricante.

$(L / G) o$ = función $(L / G)_{prueba}$ y $(KaV / L)_{prueba}$
(evaluada posteriormente gráficamente)
= [lb agua / lb aire seco]

En donde:

$(L/G)_{diseño}$ = Relación de diseño del flujo de agua con respecto al flujo de aire seco, en (lb agua / lb de aire seco).

$(L / G) o$ = Relación corregida del flujo de agua con respecto al flujo de aire seco, este valor se determina en una gráfica que posteriormente se determina con los valores de (L/G) y (KaV / L) de diseño y prueba (lb agua / lb de aire seco).

% de capacidad = Por ciento de capacidad de una celda de la torre, expresada en (%)

A continuación se desarrolla completamente la memoria de cálculo para determinar el por ciento de capacidad de la torre de enfriamiento de agua, por el método de curvas características por el criterio de Merkel.

Obtención del $(L / G) o$

Para calcular el $(L / G) o$, se necesita primero obtener el $(L / G)_{prueba}$ y el $(KaV / L)_{prueba}$

Cálculo del (L / G) prueba

El calculo del (L / G) prueba se determina mediante la siguiente ecuación:

$$(L / G)_{prueba} = (L_{prueba} / L_{diseño}) * (BHP_{diseño} / BHP_{prueba})^{1/3} * (L / G)_{diseño}$$
$$(L / G)_{prueba} = [\text{lb agua / lb aire seco}] \dots \text{ecuación (2)}$$

En donde

- L_{prueba} = Flujo de agua de prueba, este valor se toma del formato 5, campo 29, en galones por minuto(GPM).
- $L_{diseño}$ = Flujo de agua de diseño, este valor se toma del formato 2, campo 12, en galones por minuto G.P.M.).
- BHP prueba = Es la potencia al freno del ventilador de prueba, determinada a partir del voltaje y amperaje y factor de potencia del motor del ventilador en (Hp). Posteriormente se describe el cálculo para obtenerlo.
- BHP diseño = Es la potencia al freno del ventilador de diseño, proporcionada por el fabricante en el formato 2, campo 19, o calculada a partir de datos de diseño o nominal, en (Hp).
- $(L / G)_{prueba}$ = Relación de diseño de flujo de agua con respecto al flujo de aire seco (lb agua / lb aire seco).

Cálculo de la potencia al freno del ventilador (BHP) de prueba

La potencia al freno del ventilador (BHP) de prueba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{BHP de prueba} = \frac{\sqrt{3} \times V \times A \times \text{F.P.}}{0.7457 \times 1000} = [\text{Hp}] \dots \text{ecuación (3)}$$

$$\text{BHP de prueba} = \frac{V \times A \times \text{F.P.}}{0.7457 \times 1000} = [\text{Hp}] \dots \text{ecuación (3A)}$$

En donde:

- $\sqrt{3}$ = Raíz cuadrada de tres, valor para el motor trifásico del ventilador (adimensional).
- V = Voltaje del motor del ventilador, este valor se toma del formato No.5, campo 39, en volts (Volts).

- A = Amperaje del motor del ventilador, este valor se toma del, formato No.5, campo 40, en ampere (Ampere)
- F P = Factor de potencia del motor del ventilador, este valor se toma del formato No.5, campo 46, este valor es adimensional.
- 0 7457 = Factor de conversión de Watts a HP (1 HP = 0 7457 kW)
- 1000 = Valor para convertir watts a kilowatts (1 kW = 1000 W).
- BHP de prueba = Potencia al freno del ventilador de prueba (BHP), en caballos de potencia (Hp).

La ecuación (3) es para motor trifásico y la ecuación (3A), es para motor monofásico

Cálculo del BHP de diseño

El BHP de diseño, se obtiene de la hoja de datos de la torre, la cual debe vaciarse en el formato No.2, campo 19, en caballos de potencia (H.p.). En caso de que no se cuente con este valor se deberá calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{BHP diseño} = \frac{\text{ACFM} * \Delta P \text{ total}}{6356 * \eta_{\text{red}} * \eta_{\text{vent}}} = [\text{Hp}] \quad \dots \text{ecuación (4)}$$

En donde.

- ACFM = Cantidad de aire real incluyendo agua evaporada, en pies por segundo (ft/min).
- ΔP_{total} = Caída de presión total que tiene que vencer el ventilador. Es decir, incluye la presión estática total (perdidas a través de la torre, más la presión de velocidad), en pulgadas de agua (pulg H₂O).
- η_{red} = Eficiencia del reductor de velocidad, en porcentaje (%).
- η_{vent} = Eficiencia del ventilador, en porcentaje (%).
- 6356 = Factor de conversión, para obtener potencia
- BHP diseño = Potencia al freno de diseño a la entrada del motor, en (Hp).

Datos proporcionados por el fabricante, en la hoja de simulación de la torre de enfriamiento.

- η_{rec} = Eficiencia de recuperación en la chimenea, en porcentaje (%)
- η_{red} = Eficiencia del reductor de velocidad, en porcentaje (%).
- η_{vent} = Eficiencia del ventilador, en porcentaje (%).
- AFCM = Cantidad de aire real incluyendo agua, en pies por minuto (ft/min)

- P est tot = Caída de presión total que tiene que vencer el ventilador. Incluye la presión estática total (pérdidas a través de la torre , mas la presión de velocidad), en pulgadas de agua (pulg de H₂O).
- Vg = Velocidad del aire, en pies por segundo (ft/min)
- ρ = Densidad del aire saliente, en libras por pie cúbico (lb/ft³).
- Ds = Diámetro de la chimenea en la parte superior, en pies (ft).

Cálculo de velocidad del aire en el ventilador

Esta velocidad será calculada en la salida de la chimenea.

$$As = \pi * Ds / 4 = [ft^2] \dots \text{ecuación (4 A)}$$

$$Vs = ACFM / As = [ft/min] \dots \text{ecuación(4 B)}$$

En donde :

π = Constante 3 1415

As = Área de flujo de aire a la salida de la chimenea, en pies cuadrados (ft²)

Vs = Área de flujo de aire a la salida de la chimenea, en pies cuadrados (ft²)

Cálculo de presión de velocidad

Cálculo de presión de velocidad en la salida del ventilador.

$$PVS = \left| \frac{Vs^2}{1096.5 / (\rho)} \right|^{1/2} = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots (4 C)$$

Cálculo de presión de velocidad en la garganta del ventilador

$$PVG = \left| \frac{Vg^2}{1096.5 / (\rho)} \right|^{1/2} = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots (4 D)$$

En donde

ρ = Densidad del aire saliente de la torre, en libras por pie cúbico (lb/ft³)

PVS = Presión de velocidad a la salida, en pulgadas de agua (pulg de H₂O).

PVG = Presión de velocidad en la garganta , en pulgadas de agua (pulg de H₂O)

Cálculo de la presión total

$$REC = \eta_{rec} (PVG - PVS) = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots \text{ecuación (4 E)}$$

$$PVREC = PVG - REC = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots \text{ecuación (4 F)}$$

$$\Delta P_{tot} = P_{est.tot} + PVREC = [\text{pulg H}_2\text{O}] \dots \text{ecuación (4G)}$$

El valor obtenido de ΔP_{tot} y los valores del η_{red} por el fabricante (ACFM, η_{red} , η_{vent}), se sustituye en la ecuación (4) para obtener el BHP de diseño.

En donde

REC = Recuperación de velocidad, en pulgadas de agua (pulg H₂O).

PVREC = Presión de velocidad recuperada, en pulgadas de agua (pulg H₂O)

ΔP_{tot} = Caída de presión total en la torre de enfriamiento, en pulgadas de agua (pulg H₂O).

En caso de no contar con el BHP del fabricante, o con los valores requeridos de la hoja de simulación del fabricante de la torre de enfriamiento, se puede obtener un valor preliminar del BHP de diseño, utilizando la potencia nominal del motor del ventilador

Cálculo del (L / G) o

Para el cálculo del (L / G) o, se proporciona un ejemplo teniendo ya los datos de diseño y los resultados de la prueba de comportamiento, utilizando la curva característica de las torres de enfriamiento. A continuación se presenta el formato 8 para una celda, de donde se obtienen los datos para calcular el % de flujo esperado.

Formato No. 8.
Tabla de recopilación de información de prueba y diseño
Para el Método de Merkel.
(Prueba para una celda)

Variable	Símbolo	Unidad	Diseño	Prueba primer celda
Flujo de agua	W H ₂ O	GPM	42,845	45,826
Temperatura de agua caliente	TAC	° F	111.94	112.69
Temperatura de agua fría	TAF	° F	88.6	93.14
Temperatura de bulbo húmedo	TBH	° F	76.6	76.14
Rango de enfriamiento (TAC-TAF)	-	° F	23.34	19.55
Aproximación (T _{AF} - T _{BH})	-	° F	12	17.0
Potencia al freno del ventilador	BHP	Hp	91.6	85.54
Relación característica de la torre	(K _a V/L)	Adimensional	1.16	-
Relación de flujo	(L / G)	lb agua / lb aire seco	1.4	-

Antes de iniciar los cálculos se debe de llenar el formato 4, en donde se obtienen los límites de aceptación de la prueba de comportamiento, con los datos del formato 8.

Formato No.4

Variaciones permitidas por el Código Cooling Tower Institute (CTI).

Variable	Desviación permitida por código CTI	Desviación entre prueba y diseño
		Celda No. <u> </u> <u>primera</u>
TBH	+ - 15 °F	- 0.46 °F
Rango	+ - 20 %	-16.24 %
Flujo	+ - 10 %	+6.95 %

Como se observa en el formato 4, la desviación en los valores de la TBH, rango y flujo de agua, están en los límites de aceptación marcados por CTI, por lo que la prueba de comportamiento se da cómo válida y puede seguirse con los cálculos para determinar el % de capacidad de la celda.

En caso de que no se entren en los límites de aceptación del formato 4, marcados por CTI, se dan las recomendaciones operacionales para entran dentro de los límites de aceptación

A Cálculo del $(L / G)_{prueba}$

El $(L / G)_{prueba}$ se determina con la ecuación 2, sustituyendo los valores del formato 8

$$(L / G)_{prueba} = (L_{prueba} / L_{diseño}) * (BHP_{diseño} / BHP_{prueba})^{1/3} * (L / G)_{diseño}$$

$$(L / G)_{prueba} = (45,826 / 42,845) * (91.6 / 85.54)^{1/3} * (1.4)$$

$$= 1.53 \text{ lb agua / lb aire seco}$$

B Cálculo del $(Ka V / L)_{prueba}$

Este se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación :

$$(Ka V / L)_{prueba} = \int_{TAF}^{TAC} \frac{dT}{h_w - h_a} = [\text{adimensional}]$$

$$(Ka V / L)_{prueba} = (TAC - TAF) / 4 * ((1 / \Delta h_1) + (1 / \Delta h_2) + (1 / \Delta h_3) + (1 / \Delta h_4))$$

$$(Ka V / L)_{prueba} = \dots \text{ecuación (5)}$$

En donde

$(Ka V / L)_{prueba}$ = Valor característico de la torre, (adimensional)

$\int_{TAF}^{TAC} \frac{dT}{h_w - h_a}$ = Representa el perfil de temperaturas, en la torre para calcular la transferencia de calor, la integral se resuelve por el criterio de Merkel, evaluando por incrementos, y se estiman cuatro temperaturas en la torre; a éstas temperaturas se calcula la entalpia de la mezcla de aire - agua y posteriormente se calcula la entalpia de la corriente de aire, evaluando así a la integral, el procedimiento es el siguiente:

Determinación del perfil de las cuatro temperaturas.

$$T1^* = TAF + 0.1 (TAC - TAF) \dots \text{ecuación (5A)}$$

$$T2^* = TAF + 0.4 (TAC - TAF) \dots \text{ecuación (5B)}$$

$$T3^* = TAC - 0.4 (TAC - TAF) \dots \text{ecuación (5C)}$$

$$T4^* = TAC - 0.1 (TAC - TAF) \dots \text{ecuación (5D)}$$

En donde:

T1* = Temperatura estimada en el punto 1, del perfil de temperatura, en grados Fahrenheit (°F).

T2* = Temperatura estimada en el punto 2, del perfil de temperatura, en grados Fahrenheit (°F).

T3* = Temperatura estimada en el punto 3, del perfil de temperaturas, en grados Fahrenheit (°F)

T4* = Temperatura estimada en el punto 4, del perfil de temperaturas, en grados Fahrenheit (°F)

Sustituyendo los valores del formato 8 en las ecuaciones 6A a 6B, tenemos:

$$T1^* = 93.14 + 0.1 (112.69 - 93.14) = 95.09 \text{ } ^\circ\text{F} \dots \text{ecuación (5A)}$$

$$T2^* = 93.14 + 0.4 (112.69 - 93.14) = 100.96 \text{ } ^\circ\text{F} \dots \text{ecuación (5B)}$$

$$T3^* = 112.69 - 0.4 (112.69 - 93.14) = 104.87 \text{ } ^\circ\text{F} \dots \text{ecuación (5C)}$$

$$T4^* = 112.69 - 0.1 (112.69 - 93.14) = 110.73 \text{ } ^\circ\text{F} \dots \text{ecuación (5D)}$$

A estas 4 temperaturas se obtiene la entalpía de la mezcla de aire – agua

También se determina la entalpía de la mezcla aire – agua, para la temperatura de bulbo húmedo de prueba (TBH), en grados Fahrenheit (°F).

$$hw1 \text{ (@ } 95.03 \text{ } ^\circ\text{F)} = 63.48 \text{ Btu / lb}$$

$$hw2 \text{ (@ } 100.96 \text{ } ^\circ\text{F)} = 73.37 \text{ Btu / lb}$$

$$hw3 \text{ (@ } 104.87 \text{ } ^\circ\text{F)} = 81.13 \text{ Btu / lb}$$

$$hw4 \text{ (@ } 110.73 \text{ } ^\circ\text{F)} = 94.00 \text{ Btu / lb}$$

$$hgr \text{ (@ } 76.14 \text{ } ^\circ\text{F)} = 39.67 \text{ Btu / lb}$$

En donde

hw1 = Entalpía de la mezcla aire – agua a T1*, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco).

hw2 = Entalpía de la mezcla aire – agua a T2*, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco).

hw3 = Entalpía de la mezcla aire – agua a T3*, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco)

hw4 = Entalpía de la mezcla aire – agua a T4*, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco)

h_{gi} = Entalpía de la mezcla aire – agua a T_4^* , en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco).

Cálculo de la entalpía del aire:

La entalpía del aire se determina mediante la ecuación (6)

$$h_{g2} = (L / G)_{prueba} \times (TAC - TAF) + h_{gi} \quad [\text{Btu} / \text{lb aire húmedo}] \quad \dots \text{ecuación (6)}$$

También se calcula el perfil de entalpías del aire en los cuatro puntos de la torre (Criterio de Merkel), mediante las siguientes ecuaciones.

$$h_{a1} = h_{gi} + 0.1 (TAC - TAF) * (L/G)_{prueba} \quad \dots \text{ecuación (6A)}$$

$$h_{a2} = h_{gi} + 0.4 (TAC - TAF) * (L/G)_{prueba} \quad \dots \text{ecuación (6B)}$$

$$h_{a3} = h_{g2} - 0.4 (TAC - TAF) * (L/G)_{prueba} \quad \dots \text{ecuación (6C)}$$

$$h_{a4} = h_{g2} - 0.1 (TAC - TAF) * (L/G)_{prueba} \quad \dots \text{ecuación (6D)}$$

En donde

- $(L / G)_{prueba}$ = Relación de prueba del flujo de agua con respecto al flujo de aire seco (lb agua / lb aire seco)
- TAC = Temperatura de agua caliente, en grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).
- TAF = Temperatura de agua fría, en grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)
- h_{gi} = Entalpía del aire a la temperatura de bulbo húmedo, en unidad térmica inglesa por libra de aire húmedo (Btu / lb aire seco).
- h_{g2} = Entalpía del aire, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco)
- h_{a1} = Entalpía del aire en el punto 1, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco).
- h_{a2} = Entalpía del aire en el punto 2, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco).
- h_{a3} = Entalpía del aire en el punto 3, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco).
- h_{a4} = Entalpía del aire en el punto 4, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire seco).

Sustituimos los valores obtenidos anteriormente en las ecuaciones 7, 7A a 7B.

$$h_{g2} = 1.53 * (112.69 - 93.14) + 39.67 = 69.58 \text{ Btu} / \text{lb} \quad \dots \text{ecuación (6)}$$

$$h_{a1} = 39.67 + 0.1 * (112.69 - 93.14) * 1.53 = 42.66 \text{ Btu} / \text{lb} \quad \dots \text{ecuación (6A)}$$

$$h_{a2} = 39.67 + 0.4 * (112.69 - 93.14) * 1.53 = 51.63 \text{ Btu} / \text{lb} \quad \dots \text{ecuación (6B)}$$

$$h_{a3} = 69.58 - 0.4 * (112.69 - 93.14) * 1.53 = 57.61 \text{ Btu} / \text{lb} \quad \dots \text{ecuación (6C)}$$

$$h_{a4} = 69.58 - 0.1 * (112.69 - 93.14) * 1.53 = 66.59 \text{ Btu} / \text{lb} \quad \dots \text{ecuación (6D)}$$

Calculamos la diferencia de entalpía de la mezcla aire – agua y la entalpía del aire, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta h_1 = h_{w1} - h_{a1} \quad \dots \text{ecuación (6E)}$$

$$\Delta h_2 = h_{w2} - h_{a2} \quad \dots \text{ecuación (6F)}$$

$$\Delta h_3 = h_{w3} - h_{a3} \quad \dots \text{ecuación (6G)}$$

$$\Delta h_4 = h_{w4} - h_{a4} \quad \dots \text{ecuación (6H)}$$

En donde

Δh_1 = Diferencia de entalpías para el punto 1 (criterio de Merkel), entre la entalpía de la mezcla de agua – aire y la entalpía del aire, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire)

Δh_2 = Diferencia de entalpías para el punto 2 (criterio de Merkel), entre la entalpía de la mezcla de agua – aire y la entalpía del aire, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire)

Δh_3 = Diferencia de entalpías para el punto 3 (criterio de Merkel), entre la entalpía de la mezcla de agua – aire y la entalpía del aire, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire)

Δh_4 = Diferencia de entalpías para el punto 4 (criterio de Merkel), entre la entalpía de la mezcla de agua – aire y la entalpía del aire, en unidad térmica inglesa por libra de aire seco (Btu / lb aire)

Sustituyendo los valores obtenidos tenemos:

$$\Delta h_1 = 63.48 - 42.66 = 20.82 \text{ Btu / lb} \quad \dots \text{ecuación (6I)}$$

$$\Delta h_2 = 73.37 - 51.63 = 21.74 \text{ Btu / lb} \quad \dots \text{ecuación (6J)}$$

$$\Delta h_3 = 81.13 - 57.61 = 23.52 \text{ Btu / lb} \quad \dots \text{ecuación (6K)}$$

$$\Delta h_4 = 94.00 - 66.59 = 27.41 \text{ Btu / lb} \quad \dots \text{ecuación (6L)}$$

Calculo de $(K_a V / L)_{\text{prueba}}$, sustituimos los valores obtenidos en la ecuación (5):

$$(K_a V / L)_{\text{prueba}} = \int_{TAF}^{TAC} \frac{dt}{h_w - h_a} = \dots \text{ecuación (5)}$$

$$(K_a V / L)_{\text{prueba}} = (TAC - TAF) / 4 \times [(1 / \Delta h_1) + (1 / \Delta h_2) + (1 / \Delta h_3) + (1 / \Delta h_4)]$$

$$(K_a V / L)_{\text{prueba}} = [(112.69 - 93.14) / 4] \times [(1 / 20.82) + (1 / 21.74) + (1 / 23.52) + (1 / 27.41)]$$

$$(KaV/L)_{prueba} = 0.84$$

A continuación se resumen los datos obtenidos, en la siguiente tabla 1

Tabla No. 1 Resumen de datos de diseño y prueba para la utilización del Método de Merkel.

Variable :	Datos de diseño	Datos de prueba
(L / G)	1.4	1.53
(KaV/L)	1.16	0.84
Aproximación (TAF-TBH) °F	12	-

Obtención gráfica del (L / G) o

En caso de no tener él (L/G)_{diseño} ó él (KaV/L)_{diseño} se puede utilizar lo siguiente:

En lugar de usar él (KaV/L)_{diseño} se puede usar la aproximación de diseño para la lectura de la curva característica.

El (L/G)_{diseño} se puede obtener de dividir el flujo de agua de diseño por celda, que se toma del formato 2, campo 12, el flujo de aire de diseño para una celda se toma del formato 2, campo 67.

La obtención del (L / G) o (relación de flujo de agua y líquido corregido), se hace gráficamente , mediante el uso de la curva característica de la torre de enfriamiento, la cual se presentan dos curvas, una para obtener los datos en general y otra para cálculos posteriores.

Con los valores obtenidos de (L / G)_{diseño} = 1.4 y con cualquiera de los dos siguientes datos (KaV/L)_{diseño} = 1.16 o la aproximación de diseño = 12, y con (L / G)_{prueba} = 1.53 y (KaV/L)_{prueba} = 0.84 se sigue el procedimiento, en la curva característica

- Localizar en la curva característica (L / G)_{diseño} (punto A) y con (Ka V / L)_{diseño} ó la curva característica con la aproximación de diseño (punto B ó curva A), con esto se localiza el punto de diseño (punto E), se traza una tangente al punto E con pendiente - 0.6.
- Se localizan ahora los valores de (L / G)_{prueba} (punto C) y con (Ka V / L)_{prueba} (punto D) localiza el punto de prueba (punto F), se traza una tangente al punto F y paralela a la curva característica con pendiente -0.6 del punto E

- Moverse sobre esta a tangente al punto F, hasta interceptar a la curva característica con la aproximación de diseño = 12 ° F, localizando el punto corregido de la torre (punto G)
- Moverse del punto G perpendicularmente al eje (L/G) localizando el punto H, este punto corresponde al valor corregido (L / G)_o.

El valor de (L / G)_o que se obtiene es 1.1

Cálculo de la capacidad actual de la torre

Sustituimos los valores obtenidos en la ecuación (1):

$$\% \text{ de capacidad} = \frac{(L / G)_o}{(L / G)_{\text{diseño}}} \times 100 = [\%] \dots \text{ecuación (1)}$$

$$\% \text{ de capacidad} = \frac{1.16}{1.4} \times 100 = 78.75 \%$$

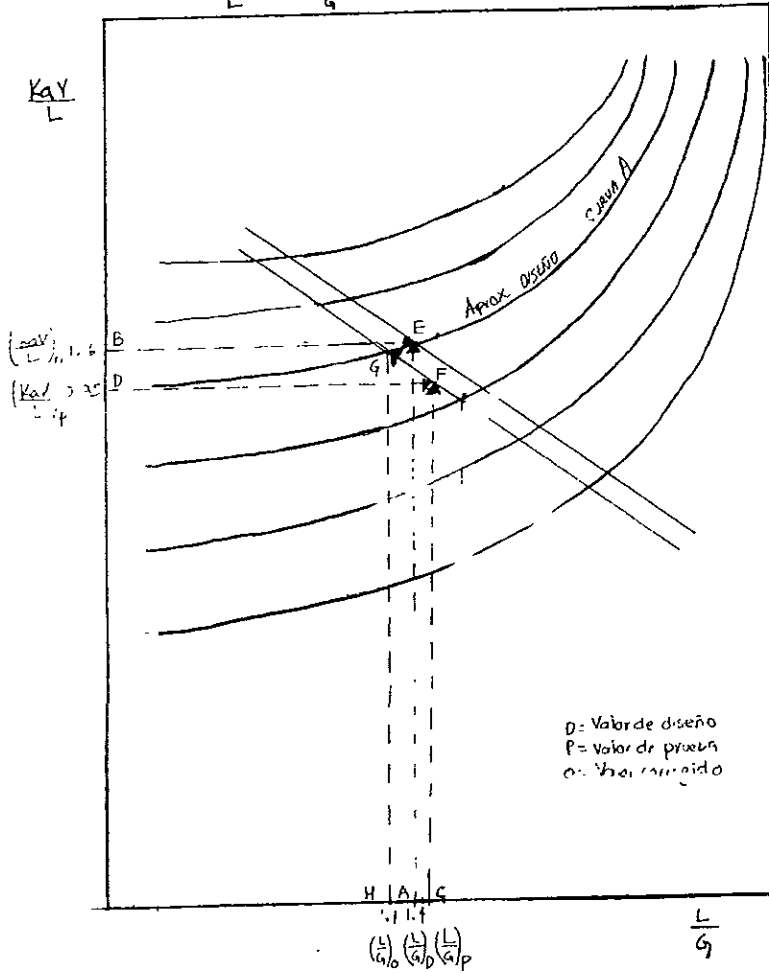
Este valor indica que a los valores de diseño; la temperatura de agua caliente (TAC = 111.94 °F); temperatura de agua fría (TAF = 88.6 °F); temperatura de bulbo húmedo (TBH = 76.6 °F) y con una potencia de ventilador de 91.6 BHP, la celda es capaz de enfriar :

$$42,845 \times 0.7875 = 33,740 \text{ GPM.}$$

GRAFICA No. 1

CURVA CARACTERISTICA DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

$\frac{K_{av}}{L}$ VS $\frac{L}{G}$ @ DIFERENTES APROXIMACIONES

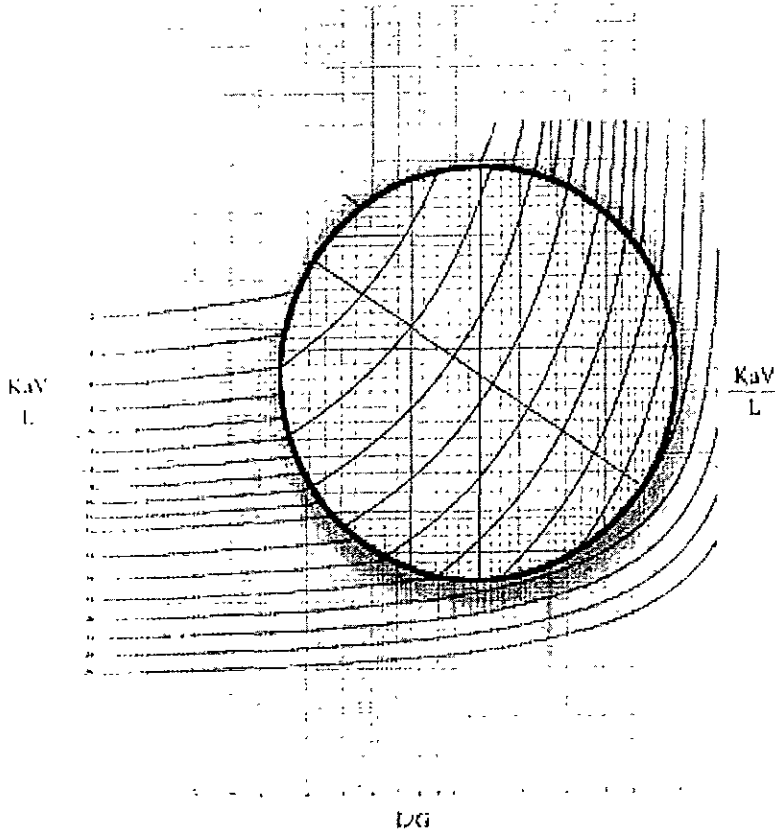


Gráfica No.2 . Curva Característica

Cooling Tower Institute
Brentwood Industries - 4 ft. Fill



80.00	WET BULB (°F)
10.00	RANGE (°F)
0.00	ALTITUDE (ft)
2.08	C
-0.67	SLOPE



C.- Método alternativo preliminar (balance térmico).

Este método se utiliza cuando no se cuenta con las curvas de comportamiento ni la curva característica de la torre, proporciona en forma muy global la condición de operación de la torre, para lo cual se requiere de los datos de diseño y de la prueba de comportamiento dentro de los límites de aceptación indicados por el CTI

Los datos que se requieren tanto de diseño, como de prueba son los siguientes

W =	Flujo de agua = Kg/hr
TAF =	Temperatura de agua fría = °C
TAC =	Temperatura de agua caliente = °C
Cp =	Calor específico del agua ≈ 1 Kcal/Kg°C
ρ =	Densidad del agua ≈ 1 Kg/l

A partir de estos valores se calcula el calor disipado por la torre con la siguiente fórmula:

$$Q_D = W_D \times C_p \times (TAC_D - TAF_D)$$

$$Q_P = W_P \times C_p \times (TAC_P - TAF_P)$$

Donde:

Q_D =	Calor disipado por diseño = Kcal/hr
Q_P =	Calor disipado en la prueba = Kcal/hr
X_P =	Valores de prueba
X_D =	Valores de diseño
X =	Variables (W, TAC, TAF)

La siguiente relación indica el porcentaje de calor que disipa la torre en condiciones de operación con respecto a las de diseño, de forma global:

$$\%Q_R = \frac{Q_P}{Q_D} \times 100$$

Donde

$\%Q_R$ = Porcentaje del calor removido por la torre.

Es importante mencionar que el valor resultante de este cálculo es preliminar, por lo que solamente indica la forma de operar de la torre desde el punto de vista energético y no como un porcentaje de capacidad.



DICTAMEN ENERGETICO

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Dictamen energético.

En esta sección se dará el dictamen energético actual de la torre de enfriamiento de agua a partir de los datos recopilados de diseño (formato 2), inspección visual (formato 3) y de la evaluación energética, prueba de comportamiento (formato 5), así como de la capacidad de enfriamiento actual de la torre.

A partir de la inspección visual (formato 3), se puede conocer el estado general de la torre, con esta información se puede determinar e implementar acciones de mantenimiento que se requieran en los elementos del equipo.

La determinación de la capacidad de enfriamiento actual consiste en comparar los datos de diseño (hoja de datos del proveedor o formato 2), con el valor obtenido en la sección de determinación de la capacidad de enfriamiento (% de capacidad).

El por ciento (%) de capacidad obtenido multiplicado por el flujo de agua de diseño nos indicará el flujo actual que puede manejar la torre de enfriamiento a las condiciones con las cuales se diseñó y/o esta opera (potencia de los motores del ventilador, flujo, temperaturas de agua fría, caliente y bulbo húmedo). Es decir entonces que:

$$\% \text{ CAPACIDAD ACTUAL} = \frac{\text{FLUJO (GPM) QUE LA TORRE PUEDE MANEJAR}}{\text{A LAS CONDICIONES DE DISEÑO ORIGINAL}}$$

De acuerdo a lo anterior se podría definir como la capacidad real de una torre:

"La cantidad o flujo de agua caliente de recirculación de planta(s) que la torre puede manejar a las condiciones de diseño y/o actuales de operación"

Es decir, si por ejemplo las condiciones de diseño originales de la torre son: 11 500 GPM, 118 °F TAC, 92 °F TAF y 79 °F TBH y el resultado de la prueba es un 83% de capacidad, éste dato nos indicaría que la torre sólo puede manejar en condiciones similares:

$$0.83 \times 11500 = 9545 \text{ GPM a las condiciones a las cuales fue diseñada}$$

Donde:

GPM = Flujo de agua, expresados en galones por minuto.

°F = Grados Fahrenheit.

TAC = Temperatura de agua caliente.

TAF = Temperatura de agua fría.

TBH = Temperatura de bulbo húmedo (temperatura del aire).

A partir de este valor y de la inspección visual se puede determinar el potencial de ahorro de energía en la torre de enfriamiento de agua y saber las condiciones a las cuales esta operando.

Este potencial se determina a partir de un balance térmico en la torre y en la cual se relacionan los rangos de enfriamiento es decir la diferencia de temperaturas del agua caliente y el agua fría

Este potencial se define como la cantidad preliminar de conservación y/o ahorro energético que se obtendría al ajustar las variables de las condiciones actuales de operación hacia las condiciones de diseño. Esto al aplicar recomendaciones operacionales (nula o baja inversión).

Evaluación del ahorro y beneficios energéticos

Esta parte se refiere a la cuantificación de los ahorros que se obtendrán al aplicar las recomendaciones consecuencia del plan de acción que tome el comité de ahorro de energía, es decir, representa los potenciales posibles de ahorro que se tienen no solo por la mejor operación de la torre, si no también en los ahorros económicos obtenidos por un menor consumo en agua de reposición y de energía eléctrica principalmente.

El ajustar el rango actual de enfriamiento a las condiciones de diseño representa un potencial de ahorro y se define como la relación del rango a condición actual entre el rango de diseño, esto es:

$$\text{Potencial} = 1 - (\text{Rango actual} / \text{Rango diseño})$$

Los ahorros son:

$$\text{Ahorro en agua} = \text{potencial} * \text{flujo actual}$$

$$\text{Ahorro en bombeo (consumo de energía eléctrica)} = \text{potencial} * \text{kWh consumo}$$

$$\text{Ahorro en ventiladores (consumo energía eléctrica)} = \text{potencial} * \text{kWh consumo}$$

El paro de ventiladores y el ajuste del ángulo de ataque en las aspas del ventilador representan otro potencial directo en ahorro de energía eléctrica

El ahorro por el ajuste del ángulo de ataque en las aspas es en el caso que al uniformizarlo el ventilador puede manejar más flujo de aire para lograr el enfriamiento y así poder reducir la potencia en el motor del ventilador y por consecuencia consumo en la energía eléctrica.



**RECOMENDACIONES
OPERACIONALES**

Recomendaciones operacionales.

Las actividades para implementar las siguientes recomendaciones a ser realizadas por el usuario, requieren de la inspección visual (formato 3) y del % de capacidad de enfriamiento actual.

A continuación se presentan algunos ejemplos más comunes en la operación de las torres de enfriamiento.

A) Distribución del agua a través de la torre:

Indicación del problema

Se presentan cascadas o flujos anormales de agua en ciertas zonas.

Efecto en la operación

Reducción en la capacidad de enfriamiento

Problema:

Fallas en el depósito de agua caliente, debido a boquillas tapadas ó de boquillas con la roseta rota.

Solución

- 1 - Esta situación se puede corregir instalando boquillas nuevas. Para las torres de flujo cruzado se deberán arreglar las cajas de salpiqueo, tratando de repararlas y dejarlas en forma similar a como se encontraban en el diseño original
- 2.- Depósito de agua caliente: Es necesario observar en torres de flujo cruzado si el agua se distribuye en forma pareja con un nivel (tirante) mínimo de 0.1 m (4'). así mismo es importante notar que no exista formación de remolinos y que el agua salga de las cajas de salpiqueo con baja velocidad permitiendo que el depósito de agua caliente se vaya llenando suavemente.
- 3.- Boquillas. Las boquillas deberán de estar completas en número y condición física, es decir deberán tener la roseta que forma el paraguas, condición principal para iniciar el proceso de enfriamiento, así mismo deberán tener insertada la reducción calculada para el flujo de recirculación de agua que se está manejando

En el caso de torres de contra-flujo se deberá revisar que las boquillas no se encuentren tapadas y produzcan el efecto de paraguas arriba descrito. En general en ambos tipos de torres se deberán limpiar o reponer las boquillas faltantes.

- 4 - Cajas de salpiqueo: En torres de madera deben estar completas para producir la reducción de velocidad del agua que sale del cabezal de distribución que es el objetivo de estas cajas en el sistema de distribución. En torres de concreto es común que se encuentren mal diseñadas o mal construidas para lo cual es conveniente construir una caja de desborde cerrada alrededor de la caja de salpiqueo con objeto de reducir totalmente la velocidad.
- 5 - Válvulas de control de flujo. *Simplemente es necesario* revisar que se encuentren completas que no estén inhabilitadas y que reduzcan o aumenten el flujo según se desee.

B) Relleno

Indicación del problema

Falta de mantenimiento en el relleno.

Efecto en la operación

Reducción en la capacidad de enfriamiento

Problema:

El relleno está incompleto, roto ó doblado por la acción de los fuertes flujos de agua

Solución

- 1 - Esta situación se corrige con el arreglo del sistema de distribución é instalando los perfiles ó tabletas faltantes.
- 2 - En el caso de torres de contra-flujo instalar las parrillas ó paquetes de relleno faltantes, por el del mismo tipo.

3- En caso de realizar algún cambio del relleno original es conveniente asegurarse de que el nuevo tipo haya sido probado en equipos en operación y realizar el cambio (no combinado) en secciones completas, es decir medias celdas mínimo en torres de flujo cruzado o la sección empacada completa en torres de contra-flujo para poder comparar las bondades del nuevo empaque instalado. De esta forma el operador sin entrar en pruebas de comportamiento especializadas se dará cuenta inmediatamente si el cambio tuvo los efectos de mejoría esperados.

C) Eliminadores de Rocío:

Indicación del problema:

Lluvia constante que se produce alrededor de la torre.

Efectos en la operación:

- 1 - Reducción en la capacidad de enfriamiento.
- 2 - Pérdidas de agua por arrastre.

Problema:

Eliminadores operando inadecuadamente o en mal estado. Esta falla se debe a que se encuentran secciones de eliminadores rotas, dobladas o faltantes, debido al paso del tiempo ó porque el diseño de los eliminadores no es el adecuado

Solución:

- 1 - Lo primero que se deberá arreglar es el completar ó cambiar las piezas faltantes y observar si al tener los eliminadores de acuerdo al diseño original continúa la lluvia, en este caso el cambio de eliminadores es el único camino para corregir el problema.
- 2 - Se deberá analizar el perjuicio que está ocasionando el arrastre y decidir si es soportable ó es indispensable cambiarlos para evitar posibles daños en los equipos aledaños ó problemas de obstrucción de visibilidad que puedan crear algún peligro.

D) Equipo Mecánico:

D 1) Ventiladores

Indicación del problema:

Se producen ruidos peculiares fáciles de identificar ya que no es un sonido suave y parejo y además se siente el exceso de vibración en la estructura.

Efecto en la operación:

- 1.- Baja eficiencia en los ventiladores.
- 2.- Exceso de consumo de corriente eléctrica.
- 3.- Debilitamiento en la estructura.
- 4 - Disminución en el flujo de aire

Problema:

Ventiladores desbalanceados

Soluciones:

- 1 - Se requiere rebalancear el ventilador posiblemente por un especialista.
- 2 - *Asegurarse que los ventiladores están bien balanceados, completos incluyendo la cubierta de la maza y debidamente protegidos por interruptores de vibración los cuales deben estar en condición operable y con la sensibilidad adecuada la cual la puede ir ajustando el operador en forma muy sencilla golpeando con diferente fuerza el ventilador, el reductor o el motor, hasta tener el valor adecuado de tal manera que no se esté parando constantemente la operación del equipo mecánico.*
- 3.- Si no se está logrando el enfriamiento adecuado y el amperaje de placa no se ha alcanzado es posible aumentar la cantidad de aire y consecuentemente el enfriamiento, aumentando el ángulo de ataque (ver anexo V), hasta cerca del valor de placa de los motores. Si el usuario no tiene experiencia se recomienda contratar a un especialista.

D 2) Reductor de velocidad

Identificación del problema:

Ruidos extraños

Efectos en la operación:

Mal funcionamiento del ventilador.

Problema:

El reductor de velocidad se encuentra en mal estado (estos equipos si son de diseño específico para torres de enfriamiento, ángulo recto y engranes cónico Helicoidales, son de construcción robusta y de gran duración).

Solución:

Se deberán enviar para su servicio o para su revisión y mantenimiento

D.3) Flechas de transmisión de potencia

Identificación del problema:

Ruidos extraños

Efectos en la operación:

- 1 Baja eficiencia en la operación.
- 2 Exceso de consumo de corriente eléctrica.
- 3 Debilitamiento en la estructura.
- 4 Disminución en el flujo de aire.

Problema:

Vibración trepidatoria.

Solución:

Al realizar una reparación menor las flechas se puede reinstalar sin problemas y en caso de notar anomalías realinear todo el acoplamiento.

D 4) Motores eléctricos.

Normalmente las plantas se encargan de su mantenimiento sin problemas.

D 5) Paredes Laterales y Persianas

Identificación del problema:

Mediante la inspección visual

Efectos en la operación:

Reducción en la capacidad de enfriamiento.

Problema:

Paredes laterales y persianas en mal estado.

Solución:

En las torres de edad son de asbesto cemento, si no se encuentran muchas dañadas se pueden instalar nuevamente de asbesto-cemento teniendo cuidado de que las ondas de las laminas sean similares a la onda original y teniendo cuidado de sellar perfectamente las uniones para evitar fugas.

D.6) Estructura de madera

Identificación del problema:

- 1 - Las secciones que más fácilmente se dañan con los años son aquellas que están en la zona de eliminadores de rocío tanto para torres de flujo-cruzado como torres de contra-flujo. Una revisión sencilla consiste en tratar de encajar un punzón en diferentes secciones de la madera; si el punzón entra con facilidad es señal que la madera está ya deteriorada y que deberá cambiarse la columna, travesaño o larguero revisado.

-
- 2 - Al mismo tiempo que se va revisando en forma sencilla la estructura, se debe también revisar el estado de los conectores estructurales y la tornillería. Cuando ha habido exceso de vibración producida por de ajustes del equipo mecánico, toda la estructura vibra también y la tornillería va abocardando el orificio en donde está instalada, permitiendo el inicio del deterioro de la madera. Es necesario observar el avance de ese deterioro y el estado de corrosión de la tornillería. Si está avanzado esté último es recomendable cambiar toda la tornillería para evitar daño general en la estructura y asegurarse que el equipo mecánico esté bien balanceado y alineado.

Efectos en la operación:

Debilitamiento en la estructura de la torre.

Problema:

Estructura de madera dañada

Solución:

- 1 - Al solicitar madera de repuesto para las partes dañadas es muy importante *especificar que ésta venga tratada después de fabricada* y con el tratamiento a presión a base de sales siguiendo los lineamientos del CTI y de la AWPA*, solicitando inclusive los resultados de los análisis y realizando una simple inspección en la madera recibida comprobando la penetración y la retención de la solución en la misma.
- 2 - La misma revisión se deberá realizar en otros componentes de madera teniendo mucho cuidado de reponer las piezas en mal estado sobre todo en el caso de la escalera, barandales y pasillos por razones de seguridad

- AWPA (American Wood Pretreatment Association)

Recomendaciones para la instrumentación necesaria

Los instrumentos utilizados para efectuar la prueba de comportamiento deberán estar perfectamente calibrados antes de efectuar la prueba, además de ser inspeccionados y aprobados por la autoridad correspondiente.

Medición del flujo de agua

Para la medición del flujo de agua podrán ser utilizados cualquiera de los siguientes instrumentos:

- ↳ Tubo de pitot
- ↳ Orificios
- ↳ Venturi
- ↳ Molinete
- ↳ Medidor de flujo ultrasónico

La referencia para utilizar estos instrumentos esta dada por:

- ↳ Las propias instrucciones de uso del fabricante
- ↳ Suplementos para instrumentos y aparatos Parte 5 Capítulo 4 código ASME (última versión)
- ↳ Código de prueba de potencia ASME "Hydraulic prime movers" (última versión)

Cualquier otro método aprobado por el CTI (Cooling Tower Institute) para la medición directa puede ser utilizado. La precisión en la medición tendrá una tolerancia de $\pm 1.25\%$. La selección del método y localización de los dispositivos de medición dependerán de la naturaleza de la instalación que se va a probar.

Posteriormente, en el apéndice, se describe el uso del medidor ultrasónico y el tubo pitot.

En caso de no contar con cualquiera de estos equipos, se podrá estimar el flujo mediante el método contenido en el apéndice, que utiliza la cabeza y el diametro del impulsor de la bomba en conjunto con la curva de operación de éste equipo.

Medición de la temperatura del agua

La medición de la temperatura del agua podrá efectuarse con cualquier instrumento de medición (termómetro de cristal con mercurio) y por el método dado en los suplementos para instrumentos y aparatos del código ASME última versión. Los instrumentos deberán de tener o registrar una aproximación mínima de 0.2 °F. Los elementos sensitivos de temperatura deberán ser localizados cuidadosamente donde el agua este completamente mezclada.

Medición de la temperatura de agua caliente

La medición de la temperatura de agua caliente (TAC) deberá de realizarse en el tubo de alimentación de agua de la torre (testigos de corrosión), o a la descarga del agua del tubo de alimentación, en la charola de agua caliente

Para una torre multicelda esta medición se realizará en la charola de agua caliente del primer tubo de alimentación de agua. Si el agua de alimentación es una mezcla de dos o más corrientes de diferentes temperaturas, esta corriente debe estar completamente mezclada para asegurar una correcta lectura de la temperatura de agua caliente.

Medición de la temperatura de agua fría

La medición de temperatura de agua fría (TAF) debe de realizarse preferentemente adentro de la celda, o para la primera y última celda de la torre en el depósito de agua fría; o a la descarga de la bomba de la torre con la corrección de calor añadido indicada en la evaluación energética

Medición de la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada

La medición de la temperatura de bulbo húmedo (TBH) del aire de entrada, podrá medirse utilizando psicrómetros de aspiración mecánica que cumplan con los siguientes requerimientos:

- El indicador deberá de estar graduado en incrementos de no más de 0.2 °F
- La sensibilidad de temperatura del elemento deberá fijarse a ± 0.1 °F
- La temperatura del elemento sensitivo deberá de protegerse de la acción directa de la luz del sol o de otras fuentes que irradian calor.
- La temperatura del elemento sensitivo deberá de estar cubierta con una mecha y deberá estar continuamente alimentado el depósito de agua destilada.
- La temperatura del agua destilada utilizada para humedecer el elemento sensitivo deberá de ser similar a la temperatura del bulbo húmedo a medir.
- La mecha debe de cubrir el sensor al menos en 2 cm.
- La velocidad sobre el elemento sensitivo de temperatura deberá de conservarse entre 950 a 1050 pies por minuto (17.3 a 19.2 km/hr).

Deberán de colocarse dos psicrómetros uno a cada lado de la entrada de la celda

Los psicrómetros deberán de colocarse a 4 pies de distancia de cada lado de la celda

El promedio de 3 lecturas sucesivas tomándose en un intervalo de 10 segundos en cada estación se considera la TBH para cada lectura; el promedio aritmético de las TBH tomadas en los dos lados de la celdas se considera la temperatura de TBH de prueba.

Potencia del ventilador

Para torre de tiro mecánico, deberá ser tomada como la potencia de salida del motor o de la transmisión y no la del ventilador.

En el caso de motores eléctricos, la potencia de prueba del ventilador deberá ser determinada utilizando algún dispositivo de medición de voltaje y amperaje, considerando el factor de potencia o midiendo de manera directa el consumo de Kilowatts

Las lecturas de flujo, TAC, TAF, voltaje y amperaje deberán de realizarse siempre y cuando se cumpla con las desviaciones marcadas por CTI, indicadas en la el formato No 4.

En caso de no entrar dentro de los límites de marcados por CTI, se deberán de seguir los ajustes para entrar a los límites de aceptación en este mismo capítulo

Una vez que se entra a estos límites de aceptación de flujo ($\pm 10\%$), TBH ($\pm 15^\circ$ F) rango ($\pm 20\%$), se puede iniciar la prueba de comportamiento, como lo indica la evaluación energética.

Todas las mediciones realizadas para la prueba de comportamiento se deberán de registrar en el formato 5 en las estrategias

Recomendaciones para intentar alcanzar los parámetros para la prueba de comportamiento

Ajuste para el aire

Para ajustar el aire se requiere ajustar el ángulo de paso en las aspas del ventilador, mediante el siguiente procedimiento:

- 1 Colocar un transportador universal conforme al ángulo de paso suministrado por el fabricante de la torre.
- 2 Ajustar las aspas uniformemente a un mismo ángulo.
- 3 Cada aspa debe ser ajustada , rotando el ventilador para que el ángulo de paso de cada aspa este colocado en la misma posición de la rotación del ventilador con respecto a alguna parte fija de la torre

-
- 4 Sujetar los tornillos de la abrazadera del aspa del ventilador a la torsión recomendada por el fabricante.
 - 5 Verificar nuevamente el ángulo de ataque ya que al apretar los tornillos pudiera existir alguna variación que ocasionaría vibraciones durante la operación de la torre
 - 6 La capacidad de enfriamiento de la torre depende de la cantidad de aire movido por su ventilador por lo que deberá de tenerse como mínimo la indicada por el fabricante para la potencia del motor de la torre.
 - 7 La reducción del flujo de aire a través de la torre puede causar un incremento en la temperatura del agua fría.

Ajuste para el agua

Para asegurarse de la calidad del agua se requiere verificar los siguientes puntos:

- 1 Asegurarse de la limpieza en las áreas de depósito de agua fría y agua caliente, verificando que la zona de succión y las rejillas estén limpias y adecuadamente instaladas.
- 2 Verificar que los orificios de distribución estén adecuadamente instalados y libres de obstrucciones.
- 3 Verificar que el tirante de agua en el depósito de agua fría (en depósitos de concreto debe ser de 9 a 15 pulgadas abajo del nivel exterior del depósito), esto se consigue ajustando la válvula de mezcla de agua flotador caliente se mantenga constante a 4 a 7 pulgadas, dependiendo del gasto de agua de circulación, esto se consigue mediante el ajuste de la válvula de control de flujo (El cual debe corresponder al alcanzar el gasto de diseño de la torre).
- 4 Modificar el gasto de alimentación, el incrementar el gasto de circulación puede causar una elevación de temperatura del agua fría y la reducción del flujo puede causar una disminución en la temperatura del agua que en ocasiones y dependiendo de la carga de calor pudiendo incrementar la temperatura del agua caliente.

En caso de realizar las recomendaciones mencionadas y no alcanzar los límites de aceptación del formato 4 en el apartado de las estrategias, se podrá contactar con un consultor especializado para realizar la prueba de comportamiento

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

Evaluar las torres de enfriamiento es trascendental por que es un servicio indispensable de todo proceso que involucra la transformación y generación de energía.

Por la magnitud de los procesos industriales, se producen y manejan grandes cantidades de calor que deben ser removidos en la mayoría de estos casos en que es utilizada el agua como servicio de enfriamiento para los equipos de intercambio de calor por lo que debemos de estar auxiliados de un sistema de enfriamiento que sea capaz de cumplir esta función, por lo cual se requiere el apoyo de las torres de enfriamiento

El procedimiento que aquí se ha presentado es una herramienta de aplicación práctica para que el usuario del equipo, es decir, la gente que los opera y utiliza cotidianamente, tengan la facilidad de evaluar tanto cualitativa como cuantitativamente la capacidad de enfriamiento actual que tiene la torre.

De esta forma el trabajo esta estructurado para que el usuario obtenga secuencialmente el diagnóstico de su equipo, conociendo en primera instancia el proceso de enfriamiento que se lleva en el interior del equipo. Posterior a esta etapa toda la información requerida para su evaluación energética, para lo cual el utilizar los formatos contenidos en este trabajo podrán realizar este trabajo importante

Obtener la Capacidad de enfriamiento de la torre es primordial puesto que nos indicara el estado actual con la que esta operando la torre; esta actividad es importante soportarla con métodos para su obtención los cuales se emplean bajo ciertas normas y lineamientos que permitan establecer una buena comparación de los resultados entre las condiciones actuales de operación y las de diseño.

Por lo que el método de curvas de comportamiento y el de las curvas características representan y cubren estos aspecto, puesto que están aceptados como métodos de evaluación por un código reconocido internacionalmente el del CTI (Cooling Tower Institute). Además de que estos métodos se utilizan incluso como la tecnología para la especificación y la construcción de las torres de enfriamiento.

Para el método del balance térmico, aunque no se cita en algún código, es un método practico para que también se determine el potencial de manera preliminar de conservación y/o ahorro energético en estos equipos

La emisión de las recomendaciones operacionales es un punto importante puesto que nos llevará a eficientar la torre térmicamente, es decir, llevar a las condiciones de diseño operacional del equipo y así poder determinar que beneficios de conservación o ahorro se obtienen al implementar estas acciones o recomendaciones de nula o baja inversión.

El punto medular en la evaluación de una torre de enfriamiento es determinar el estado actual con el que esta operando, es decir, si el equipo es capaz de cubrir los requerimientos que demandan los equipos en el proceso. La flexibilidad que este procedimiento presenta al globalizar los conceptos y criterios que se aplican en estos sistemas, es decir, puede aplicarse para un caso específico independientemente de los métodos que se utilicen para su evaluación y diagnóstico.

El eficientar la torre de enfriamiento puede resultar en un ahorro en consumo de agua de circulación y el agua de reposición; esto al poner en práctica las recomendaciones que resultasen del diagnóstico energético, por lo regular la posibilidad de parar celdas en periodos largos celdas de acuerdo a los ajustes de los parámetros térmicos (flujo, temperaturas de agua fría, caliente).

Así como el de ahorrar energía eléctrica en los ventiladores en épocas frías o de invierno. Y ahorro de energía eléctrica en un caso particular que las bombas puedan quedar fuera de operación en función de las celdas fuera de operación y de los problemas que se presentarán en la distribución del agua de enfriamiento objeto de otro estudio.

El beneficio directo en el aspecto ambiental, por eficientar estos equipos es el utilizar menos agua de reposito y por consecuencia en la preservación de nuestros mantos freáticos y otras fuentes de suministro de agua. E indirectamente en el ahorro de combustible para la generación de energía eléctrica y mas aun al dejar de emitir grandes cantidades de bióxido de carbono (CO_2), óxidos nitrosos (NO_x), así como dióxido de azufre (SO_2) por lo cual beneficia las comunidades aledañas a la industria.

Por lo que la trascendencia que tiene el eficientar las torres de enfriamiento es, en el ámbito de la conservación de la energía, una actividad que nos involucra a todos aquellos que nos preocupemos por la conservación de nuestros recursos naturales.



APÉNDICE

APENDICE

A) Glosario de términos

Agua de circulación. Cantidad de agua caliente que entra a la torre de enfriamiento.

Agua de repuesto. Cantidad de agua añadida al agua de circulación para reemplazar el agua que se pierde en el sistema por la evaporación, el arrastre, la purga, etc. (Unidad: metros cúbicos por hora, m^3/hr o Galones por minuto GPM)

Aire entrante. Aire de la atmósfera que rodea a la torre de enfriamiento, el cual entra a través de las persianas en una torre de tiro inducido o es el aire descargado en la torre por un ventilador en una torre de tiro forzado.

Aire exhausto. Es la mezcla de aire que está asociada con el vapor de agua que deja la torre. Unidad: metros cúbicos por hora, (m^3/hr) o pies cúbicos por minuto (CFM)

Alga. Especie de planta la cual generalmente requiere de la luz del sol y aire para su existencia.

Ambiente. Término que se refiere a la atmósfera la cual es adyacente a la torre de enfriamiento pero que no afecta su operación

Angulo de ataque. Ángulo formado por el aspa de ventilador y el plano de rotación. Unidad: Grados ($^{\circ}$)

Aproximación. Es la diferencia entre la temperatura del agua fría y la temperatura del bulbo húmedo, está dada en $^{\circ}C$ ó $^{\circ}F$.

Arrastre. Es la pérdida de agua como gotas de agua mezcladas con aire exhausto. Unidad: % de agua de circulación.

Barandal. Elemento estructural localizado a lo largo de un acceso o en el extremo de una plataforma. Usualmente con una altura de 1.07M (3'-6") arriba del pasillo o del piso y fabricado normalmente del mismo material que la estructura principal

Barra de salpiqueo. Componente horizontal el cual proporciona una superficie de rebote o salto de agua (salpiqueo). Se fabrica de madera tratada o PVC. Su perfil se presenta en diferentes diseños.

Base de anclaje. Dispositivo para unir la estructura de la torre a la cimentación (depósito de agua fría) por medio de un tornillo de anclaje.

Boquillas. Dispositivo utilizado para controlar la distribución del agua en la parte superior de una torre de enfriamiento. Las boquillas están diseñadas para suministrar agua en forma de rocío (spray) si es a presión o de chorro si es por gravedad

Borde del depósito. Nivel superior de la pared de retención del depósito de agua fría, usualmente es el punto de referencia para las medidas de elevación en una torre de enfriamiento.

Btu (British Thermal Unit) Es la cantidad de calor requerida para aumentar la temperatura de una libra de agua en 1° F

Cabezal Tubo principal que conduce el agua a cada celda o a la tubería del sistema de distribución en cada celda.

Cámara plena. Espacio cerrado entre los eliminadores y el piso del ventilador en una torre de tiro inducido, o el espacio cerrado entre el ventilador y el relleno en torres de tiro forzado.

Capacidad. La capacidad térmica es el flujo o gasto (metros cúbicos por hora, m³/hr o galones por minuto GPM) que puede manejar una torre de enfriamiento para un rango específico, una temperatura de bulbo húmedo y una aproximación determinada

Carcamo . Porción del depósito de más bajo nivel en la cual el agua fría de circulación fluye normalmente a una conexión de succión.

Carga de calor. Calor removido del agua de circulación en la torre de enfriamiento. Esta puede ser calculada de la siguiente manera: GPM x 500 x Rango (°F) Unidad (Btu /h).

Celda. La subdivisión más pequeña de una torre de enfriamiento, la cual puede funcionar de manera independiente. Esta limitada por paredes exteriores o particiones. Cada celda puede tener uno o más ventiladores o cilindros de ventilador y uno o más sistemas de distribución.

Cilindro del ventilador. Estructura cilíndrica modificada en la que en su interior opera el ventilador. Fabricado de concreto o resina poliéster reforzada con fibra de vidrio

Condiciones climatológicas del lugar. Como son la altitud, la humedad relativa, vientos dominantes y norte geográfico.

Características del agua. Condiciones del agua, composición, sólidos disueltos y otros

Contraflujo Es el flujo de aire que viaja en dirección opuesta a la caída del agua a través de la torre de enfriamiento.

Cubierta Elemento vertical localizado en la pared lateral o pared final de la torre de enfriamiento. Fabricado de asbesto cemento, fibra de vidrio o metal.

Depósito de distribución. Elemento estructural poco profundo localizado en la parte superior de la torre de enfriamiento para distribuir el agua caliente de circulación a las zonas de contacto de aire

Depósito de agua fría. Elemento estructural localizado en la parte inferior de la torre de enfriamiento para recibir el agua fría de la torre y dirigirla a una línea de succión o un carcamo. Los materiales de fabricación pueden ser madera tratada, metal, fibra de vidrio o concreto.

Doble flujo cruzado. Es una torre de enfriamiento que consta de dos secciones de relleno y una cámara plena la cual es común para ambas secciones de relleno. A través de cada sección de relleno cruza el flujo de aire en un plano perpendicular con respecto a la caída de agua.

Eliminador de arrastre Es un ensamble fabricado de madera, metal o PVC el cual sirve para remover la humedad localizada en la zona de descarga de aire.

Ensamble equipo mecánico. Conjunto de componentes mecánicos que transmite potencia al ventilador, consiste normalmente de motor eléctrico, flecha de transmisión y reductor de velocidad.

Entrada de aire. Area abierta en una torre de enfriamiento a través de la cual el aire entra a la torre de enfriamiento. En una torre de tiro inducido esta área es la cara de persianas o louvers

Flecha de transmisión Elemento mecánico que incluye coples flexibles diseñado para transmitir el torque del motor a un reductor de velocidad. Fabricada en acero galvanizado, acero inoxidable o fibra de carbón.

Flujo cruzado. Flujo de aire que pasa a través del relleno en un plano perpendicular con respecto a la caída de agua.

Flujo de aire. Kilogramos ó libras de aire seco que fluyen a través de un metro cuadrado ó pie cuadrado de un área de relleno en un minuto, o el total de un pie cúbico por minuto de una mezcla de aire medido en la descarga de aire en una torre de enfriamiento

Flujo de agua . Variable elemental; es la cantidad de agua que va a circular por la torre. Las unidades comunes en que se da son m^3/h (galones por minuto GPM en el sistema inglés) Esta variable es fijada por el cliente o asesor y depende del proceso de que se trate.

Guardaventilador. Malla protectora instalada en la parte superior del cilindro del ventilador

Mallas de soporte. Conjunto de componentes que dan soporte al relleno. Este componente es exclusivo de las torres de flujo cruzado, ya que las de contraflujo no lo necesitan, los materiales de fabricación más usados son fibra de vidrio, acero recubierto de PVC y acero inoxidable.

Orificio. Abertura calibrada en un tubo o placa que se utiliza para controlar el flujo de líquidos o gases.

Orificio de distribución. Dispositivo utilizado para convertir en gotas el flujo de circulación y distribuir de manera uniforme el agua sobre el área húmeda en la torre de enfriamiento

Pared final. Pared localizada al final de la estructura. Para torres de flujo cruzado es siempre la pared sólida y que no lleva louvers o persianas.

Partición. Pared interior que subdivide a la torre de enfriamiento en celdas.

Pérdidas de evaporación. Agua evaporada del agua de circulación en el proceso de enfriamiento. Unidad: % del agua de circulación.

Persianas (Louvers). Ensamblajes instalados en las entradas de aire de la torre de enfriamiento para eliminar el salpiqueo de agua.

pH (Concentración de iones de hidrógeno). Escala indicativa que expresa la alcalinidad o acidez del agua de repuesto o de circulación. Un pH abajo de 7.0 indica acidez y arriba de 7.0 indica alcalinidad. El pH igual a 7.0 es neutro.

Psicrometro. Instrumento utilizado principalmente para la medición de la temperatura de bulbo húmedo. Puede ser manual o de aspiración mecánica.

Purga. Porción de agua que se retira del sistema de enfriamiento para controlar las concentraciones de sales u otras impurezas del agua de circulación. Unidad: % del agua de circulación

Rango. Diferencia entre las temperaturas de agua caliente y agua fría, está dada en °C ó °F

Recirculación. Este término describe la condición en la cual una porción de la descarga de aire entra a la torre y se combina con el aire fresco. La cantidad de recirculación por el diseño de la torre, la localización de la torre y las condiciones atmosféricas. El efecto se traduce en el incremento de temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

Reductor de velocidad. Dispositivo formado por engranes y rodamientos que tiene por objeto reducir las revoluciones de un motor eléctrico a los requerimientos de velocidad del ventilador

Relleno Parte del sistema interno de la torre que puede consistir en barras de salpiqueo u hojas verticales de diferentes configuraciones con objeto de afectar la superficie de transferencia entre el agua de circulación y el aire que fluye hacia la torre de enfriamiento.

Sistema de distribución. Son todas las partes de la torre de enfriamiento comenzando con la conexión de entrada, que reparten el agua caliente a la torre en las zonas donde el agua esta en contacto con el aire

Soporte de equipo mecánico. Elemento estructural que proporciona una base estable, nivelada y de fijación a los elementos del equipo mecánico

Temperatura del agua caliente: Es la temperatura del agua en circulación al entrar a la torre de enfriamiento; está dada por las condiciones del proceso y también debe ser fijado por el cliente o el asesor, dependiendo del proceso. Se da en °C o °F

Temperatura de agua fría : Es la temperatura del agua en circulación al salir de la torre y al igual que la anterior, está determinada por el proceso en cuestión, también se da en °C o ° F.

Temperatura de bulbo húmedo: Es la temperatura de equilibrio dinámico que se alcanza en la superficie del agua cuando el flujo del calor transferido a la superficie por convección se iguala con el flujo de masa transferida fuera de la superficie, es decir, es la temperatura que se alcanza en un termómetro cubierto con una mecha humedecida en forma constante y es la temperatura teórica del agua fría que se puede alcanzar con una torre infinita, se mide en °C o °F.

Temperatura de bulbo seco Es la temperatura a la entrada o adyacente a la torre de enfriamiento medida con un termómetro de bulbo seco.

Tornillo de anclaje Elemento roscado embebido en un depósito de concreto.

Tubo de pitot. Instrumento que opera bajo el principio de diferencial de presiones. El uso principal en torres de enfriamiento es la medición del flujo de agua de circulación

Válvula de control de flujo Válvula controlada manualmente, generalmente localizada en la línea de alimentación de agua caliente

Válvula flotadora. Válvula que actúa por medio de un flotador generalmente utilizada para controlar el agua de repuesto.

Ventilador Dispositivo para movimiento de aire en torres de enfriamiento de tiro mecánico. Fabricado con aspas de aluminio o de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio.

B) GUÍA Y PROCEDIMIENTO PARA EL MANEJO DEL MEDIDOR DE FLUJO ULTRASÓNICO.

Teoría de operación y aplicaciones

El medidor de flujo ultrasónico está diseñado para medir el flujo de líquidos y lodos en tuberías, con un diámetro mínimo de una pulgada. La pared de la tubería no debe ser porosa o tener cualquier tipo de hueco entre el transductor y el líquido. Usualmente las mediciones en tuberías de metal o plástico son satisfactorias. Para mediciones en tuberías con revestimiento el medidor de flujo debe ser calibrado en campo. Para instalaciones permanentes el transductor debe ser fijado con silicon de caucho en la tubería. Para mediciones temporales, una unión acústica tal como un silicon puede ser usada. Dos transductores son requeridos.

El principio básico de operación es el efecto Doppler basado en la propiedad de que las frecuencias de las ondas sonoras de un foco emisor varían con la velocidad respectiva respecto al observador, es decir, la medición de los cambios de frecuencia de una señal ultrasónica reflejada de discontinuidades en el líquido que fluye. En teoría esta discontinuidad puede ser virtualmente cualquier cantidad de burbujas suspendida, sólidos, o interferencias causadas por turbulencias en el flujo. Los transductores, los cuales generan y reciben la señal ultrasónica suministran los datos al transmisor. El transmisor procesa la señal y provee una salida analógica para la indicación de velocidad y totalización volumétrica. Además el transmisor contiene un indicador de señal el cual determina la adecuada operación en líquidos limpios.

Frecuentemente, es una función lineal del rango de flujo el cual es condicionado en el circuito para producir estabilidad, repetición y la indicación lineal.

El medidor de flujo puede ser como un medidor unidireccional con exactitud igual y repetitividad. Este operaría a partir de señales de respuesta de turbulencias solamente, entonces el aparato emplea un filtro digital linealizado.

Si la señal del indicador es fuerte muestra una lectura baja en el área roja (RED) y/o si la señal del indicador del analizador (LED) está apagada, indica una pobre aplicación.

Muchos líquidos pueden ser medidos con medidores calibrados en fábrica, sin embargo, los líquidos con niveles altos de sólidos (por ejemplo sobre el 10%) o tuberías con revestimientos pueden necesitar calibración en campo. Esta es hecha por el cambio de parámetros de entrada con la tecla CAL para hacer que el indicador agregue con una velocidad de flujo conocida.

Menor obstrucción y no penetración

Debido al principio de operación, el transductor puede ser montado externamente en las tuberías, lo cual es una ventaja. De este modo son obtenidas lecturas del flujo sin interrupciones de proceso y con un instrumento que no requiere mantenimiento o limpieza periódica. Ya que no hay contacto con el líquido, no existen afectaciones por obstrucciones, material de ensamble, corrosión, abrasivos o revestimientos.

Dificultad en mediciones de flujo en líquidos

Las mediciones de flujo, anteriormente imprácticas, son ahora simples y rutinarias. Algunos ejemplos incluyen: agua potable, agua de desecho, agua de servicios, aceites lubricantes, líquidos altamente corrosivos y otros líquidos de similar dificultad. Básicamente, si el flujo en la tubería es altamente semejante puede ser medido por una variación de este instrumento.

Hay cuatro grandes áreas de aplicación:

1. Donde un instrumento portátil es requerido
2. Donde un instrumento externo es deseado, debido a instrumentos a requerimientos de instalación o propiedades del líquido.
3. Donde el líquido es contaminante, corrosivo o por otras razones, o por mediciones no sencillas para aparatos convencionales.
4. Donde el costo sobre aparatos convencionales para mediciones de flujo en sólidos o lodos es bajo

La lista parcial de instalaciones productivas incluye:

Pruebas de bombeo	Aguas negras	Efluentes	Pulpa y papel
Combustóleo	Agua potable	Azúcar líquida	Leche
Jugos de cítricos	Lubricantes	Agua de servicio	Ácidos
Agua de pozo	Cáusticos	Estudios de flujo	

Verificación de funciones (Antes de la instalación)

El medidor de flujo puede ser verificado fuera de operación antes de usarlo de la siguiente forma: con el sistema correctamente conectado y energizado, colocar la cara de los transductores uno contra otro separados 152 mm y moverlos en forma circular separados 25 mm. Esto puede causar que el indicador se mueva o la parte superior de la escala. Si no ocurre lo anterior parar y activar el sistema de falla antes de continuar.

Consideraciones de instalación en el transductor

Puntos para tener en cuenta:

- 1 Si la totalización de las mediciones de flujo es requerida, de la tubería deben ser retirados completamente los residuos para obtener resultados exactos.
- 2 Si la cantidad de partículas suspendidas es desconocida, el montaje de los transductores debe de ser como mínimo 10 diámetros de tubería corriente abajo a partir de las primeras curvas o accesorios. Si las lecturas no pueden ser obtenidas, entonces mover el transductor de 1 a 5 diámetros a partir de un codo.
- 3 Cuando las partículas suspendidas son suficientes o existen burbujas, seleccionar el lugar del transductor como mínimo 10 diámetros de tubería a partir de curvas o accesorios y 5 diámetros de tubería contracorriente. Un patrón de flujo simétrico es mejor para la exactitud y respetabilidad sobre el rango de operación del medidor. Localiza a este como mínimo 20 diámetros corriente abajo desde las protuberancias de orificios, etc.
- 4 Cuando el líquido tiene menos de 2 ppm de sólidos suspendidos, montar los transductores dentro de 1 a 5 diámetros corriente abajo a partir de una curva y 90 ° fuera del plano de la curva. Esta relocalización de transductores es necesaria cuando la fuerza de la señal del medidor se lee en el área roja, con un alto ajuste de sensibilidad y/o si la señal del analizador (LED) está apagado. (NOTA: La señal del analizador activada a la derecha es el mayor prototipo del espectro Doppler cuando va a la izquierda sea el mínimo deseable del espectro. Cuando ninguna de las señales del analizador están encendidas durante las mediciones de flujo, la señal del espectro Doppler esta fuera del rango del filtro digital y pueden estar sujetos a errores de medición).
- 5 El par de transductores están hechos para ser montados a 180 ° separados uno del otro con la superficie encontrada.

Acoplamiento acústico

Para una operación exacta, no deben existir huecos de aire entre la superficie del transductor y la tubería. Este espacio debe ser llenado con un material el cual sea un buen transmisor de energía sonora tal como:

Grasa de silicon

DOW III o similar. - Debe ser adecuado para no fluir a temperaturas de tubería Usado por transductores de medición e instalación portátil

Silicon de caucho

DOW CORNING RTV 732.- El adhesivo es recomendado como agente de unión y fácilmente removible.

Instalación y preparación de la tubería

El cable de los transductores T-903 es provisto con 6 m de cordón retráctil y conector.

Preparación de la tubería

Para un montaje permanente use silicon adhesivo. Después de determinar la localización del transductor, alguna atención debe ser dada a las condiciones de la tubería. Antes que la cabeza del transductor sea unida a la superficie de la tubería, un área ligeramente mayor que la superficie plana que ocupan los cabezales del transductor (rectángulo recto) debe ser limpiada hasta el metal. Esto significa remover toda la pintura, moho y escamas. Algunas tuberías menores no causarán problemas, como las mediciones serán detenidas para recibir señales fuertes. En el caso donde la tubería de plástico es usada, retire toda la pintura y grasa de modo que una superficie suave y seca sea expuesta.

Montaje del transductor

El transductor de línea central es diseñado para montaje paralelo a esta línea de la tubería. No haga el montaje del transductor en curvas, codos o accesorios.

Cada esfuerzo debe ser hecho para montar el transductor paralelo a los ejes de la tubería. En tuberías horizontales, el montaje de los transductores a 90 ° desde la parte superior, prepare la superficie de la tubería como se describió. Termine la superficie con una lija, y entonces limpie la superficie con tricloroetileno minuciosamente proteja la superficie de contacto. La superficie plana del transductor debe de tocar la tubería sobre su longitud completa. Los transductores pueden estar sujetos por cada mano montados por la banda elástica para montaje

En este caso asegurar la tira elástica alrededor de la tubería ajustándola y sujetarla con una abrazadera. Después la grasa de silicon es aplicada a una superficie del transductor, sacar la tira elástica y deslizar en el transductor, por lo que el transductor "V" esta bajo la tira. Hacer lo mismo con el segundo transductor.

Ajuste la tira elástica como sea necesario para sujetar los transductores contra la tubería.

Para un montaje permanente se usa un buen adhesivo de silicon (DOW 732), extienda 3 capas de adhesivo en la superficie plana de la cara del transductor, cubriendo la pared. Ahora esparcir más silicon a la superficie preparada de la tubería y presione la cabeza firmemente contra la tubería. Dejar que el silicon fluya hasta llenar toda el área por debajo de la cabeza.

Al mismo tiempo, la tira (suministrada) en el lugar hasta que el silicon tenga ajuste. Una capa de silicon entre la superficie del transductor y la tubería permite la mayor cantidad de transmisión ultrasónica.

No arranque el instrumento hasta que el silicon adhesivo tenga ajuste y asegure que no tenga movimientos relativos entre el transductor y la tubería tenga lugar durante el tiempo de ajuste (cerca de 24 horas). Obtener una abrazadera para fuerza mecánica

Montaje temporal y verificación en sitio

Para un montaje temporal, limpia la tubería como se describió y usa grasa silicon como el material acústico de unión. Sujeta con la mano para las lecturas en sitio o con una tira abrazadera para periodos indefinidos

Operación

SERIES 900 - Posteriores

Los medidores de flujo DYNASONICS MARK 3 - posteriores ofrecen al usuario un método simple para determinar la velocidad de flujo y provee la escala de totalización.

Ventana

TECLA FULL SCALE

Presiona para seleccionar el rango de escala completa de 0.3 a 0.8 MPS con el teclado en, modo ENTER.

TECLA DIÁMETRO INTERIOR (I.D.)

Presiona para seleccionar el actual diámetro interno de la tubería con el teclado en modo ENTER, desde 25 a 1150 mm.

TECLA VOL / PULSE

Presiona para seleccionar el totalizador y la pantalla del multiplicador con el teclado en modo ENTER.

TECLA No.0 = unidades x 1
TECLA No.1 = unidades x 10
TECLA No.2 = unidades x 100
TECLA No.3 = unidades x 1,000
TECLA No.4 = unidades x 10,000
TECLA No.5 = unidades x 100,000
TECLA No.6 = unidades x 1,000,000

TECLA CAL

Presiona para seleccionar el factor de calibración deseado en la pantalla, con el teclado en modo ENTER, desde 3 a 200% del flujo (nominal 100%)

TECLA RESET

Presiona dos veces en modo ENTER para resetear todos los parámetros, para inicializar valores.

TECLA TEST

Presiona en modo ENTER para resetear todos los parámetros, al inicializar valores.

TECLA DAMP

Presiona para seleccionar el factor de humedad con el teclado en modo ENTER, desde 0.5 a 20 (x2 segundos) para la duración de tiempo entre la pantalla de datos superior.

TECLA UNITS

Presiona para seleccionar unidades en pantalla.

TECLA No.1 = metros por segundo sin totalizador.

TECLA No.2 = litros por minuto con totalizador .

TECLA No.3 = metros cúbicos por hora con totalizador.

TECLADO

Presiona para capturar valores de parámetros. Para capturar valores menores de uno, tecla cero, el punto decimal, y el número.

TECLA RUN / ENTER

Presiona para cargar desde modo ENTER o RUN o desde el modo RUN a ENTER

TECLA DEL PUNTO DECIMAL

Presiona (durante el modo RUN solamente)

Una vez.- Al parar el totalizador y congelar la pantalla del totalizador.

Dos veces - Para limpiar el totalizador y la pantalla.

Tres veces.- Para reiniciar el totalizador y la pantalla.

Nota: La batería debe de ser cargada completamente antes de continuar con el siguiente procedimiento

1 0 General

Encienda el interruptor DYNASONICS aparecerá en la pantalla, con los siguientes valores de parámetros inicializados en el sistema del medidor de flujo, a menos que sean cambiados por el operador:

ID	25 mm
FULL SCALE	1.5 MPS
VOL / PULSE	0
UNITS	1
CAL	100 %
DAMP	1

2 0 MODO ENTRY

Para ajustar cualquier parámetro, después de que el medidor de flujo haya sido encendido (paso 1), simplemente presione cualquier parámetro deseado y capture los nuevos valores con el teclado.

2 1 Sin embargo, para cambiar cualquier parámetro cuando el medidor de flujo esta en modo RUN, primero presione la tecla RUN/ENT. La pantalla indicara ENTRY MODO, entonces presionar el parámetro deseado y capturar los nuevos valores con el teclado, por el paso 2.0.

3 0 ENTRADA DE PARÁMETROS

Las teclas de los parámetros pueden ser presionadas en cualquier secuencia cualquier número de veces. SI UNA CAPTURA INCORRECTA ES HECHA, simplemente presione la tecla del parámetro otra vez con reiniciar el valor correcto

NOTA Más de 6 dígitos no serán aceptados y el tablero será "congelado". Libera el mismo parámetro para que el teclado tenga libre acceso.

Uno de los tres mensajes serán mostrados en la esquina inferior derecha de la pantalla, después que una tecla de parámetros es presionada .

OVER El valor capturado es muy alto para los parámetros.

UNDER El valor capturado es muy bajo para los parámetros

RANGE El valor capturado es inapropiado para los parámetros.

Si cualquiera de los mensajes anteriores se presenta, el teclado de entrada del sistema no hará ninguna otra función hasta que el parámetro presentado sea corregido. Simplemente hay que corregir el valor a través del teclado y el nuevo valor reemplazará el mensaje.

4 0 Ajuste del diámetro interno

Con el medidor de flujo para los pasos 2.0 o 2.1, si por ejemplo, la medición de flujo sea hecha para una tubería de diámetro externo de 44.45 mm, con cédula de tubería 40 (con un diámetro interno de 30.75 mm) presiona la tecla I D., entonces captura el valor de 30.75 con el teclado.

La pantalla indicará INSIDE DIAMETRO
 mm 30.75

NOTA La entrada del parámetro de diámetro interno debe ser hecha únicamente con el dato de flujo volumétrico. Ninguna entrada del parámetro I D. es necesaria para unidades de velocidad (MPS)

5 0 Ajuste de escala completa

Con el medidor de flujo para los pasos 2.0 o 2.1, selecciona el rango deseado de escala completa de 0.3 a 8 MPS en incrementos de 0.01 MPS. Para más aplicaciones y donde la salida de 4 a 20 mA no necesita ser usada, el ajuste de escala completa es de 8 MPS. Por ejemplo: presiona la tecla FULL SCALE, entonces captura 8 con el teclado.

La pantalla indicará DESIRED F.S.IA
 MPS 8

NOTA: La salida de 4 a 20 mA seguirá la entrada del parámetro de escala completa (por ejemplo: si el F.S. seleccionado fue 1.5 MPS F.S., la salida de 4 a 20 mA será 20 mA a 1.5 MPS, etc.)

6 0 Ajuste de unidades

Con el medidor de flujo fijo en el modo de "inicialización", para los pasos 1.0 y 2.0, presiona la tecla UNITS La pantalla indicará UNITS
 MPS 1

Si los datos de flujo volumétrico o funciones de totalización no son deseadas, ni otra entrada de "Unidades" es requerida. La pantalla indicará el dato de velocidad de flujo MPS.

6 1 Ajuste en MPS. Metros por segundo

Con la medición de flujo para el paso 2.1 y con entradas previas volumétricas, presiona UNITS. Entonces captura el código MPS presionando 1 en el tablero. La pantalla indicara UNITS
 MPS 1

6 2 Ajuste de LPM. Litros por minuto (con totalizador)

Con el medidor de flujo para los pasos 2 0 o 2.1, presiona UNITS Entonces captura el código de unidades LPM presionando 2 en el tablero Para mostrar las nuevas unidades del parámetro, presiona UNITS por segunda vez. La pantalla deberá indicar

UNITS
LPM 2

6 3 AJUSTE DE CMH. Metros cúbicos por hora (con totalizador)

Con el medidor de flujo para los pasos 2.0 o 2.1, presiona UNITS Entonces captura el código de unidades CHM presionando 3 en el tablero Para mostrar las nuevas unidades del parámetro, presiona UNITS por segunda vez La pantalla deberá indicar

UNITS
CMH 3

7 0 Ajuste VOL /PULSE . Totalizador pantalla multiplicadora

Con el medidor de flujo para los pasos 2 0 o 2 1, y con el ajuste de parámetros para flujo volumétrico, presiona VOL / PULSE La pantalla indicará "inicialización" del multiplicador totalizador

VOLUMEN / MULT
0

Selecciona el código totalizador del multiplicador de volumen, mostrando abajo y selecciona la entrada del multiplicador se muestra en la tabla No.1.

Tabla No.1 Codigos del totalizador.

CÓDIGO	MULTIPLICADOR	NOTACIÓN	PANTALLA MAX	VOLUMEN / MULT	CÓDIGO PANTALLA
0	X 1	$X 10^0$	999999	-	0
1	X 10	$X 10^1$	999999	10E1	1
2	X 100	$X 10^2$	999999	10E2	2
3	X 1,000	$X 10^3$	999999	10E3	3
4	X 10,000	$X 10^4$	429299	10E4	4
5	X 100,000	$X 10^5$	42929	10E5	5
6	X 1,000,000	$X 10^6$	4295	10E6	6

NOTA: El equipo totalizará hasta $4\,295 \times 10^9$ unidades aunque solamente una porción del total puede ser seleccionado para muestreo. Por ejemplo: si el multiplicador totalizador deseado es x 1000, el código de entrada es 3 en el tablero Para ver el parámetro seleccionado simplemente presione VOL / PULSE por segunda vez La pantalla indicará

VOLUMEN / MULT
10E3 3

8 0 ADJUSTE DAMPING (humedad)

Con el medidor de flujo para los pasos 2.0 o 2.1, presiona DAMP. Selecciona el valor del factor de humedad de 0.5 a 20 (ejemplo (factor de humedad) X 2 segundos = duración del tiempo entre los datos superiores mostrados) será suficiente, o ajustado como se necesite. Por ejemplo: con la selección del factor de humedad de 0.5, captura 0.5 en el teclado. La pantalla indicará DAMPING
0.5

NOTA 1 Cuando capturamos números con un valor de menos de UNO, siempre captura CERO, punto decimal y entonces el número, como se mostró

NOTA2. La salida 4 a 20 mA no es afectada por la tecla DAMP. Si es necesario su ajuste vea el puerto DAM R17 en la tarjeta del circuito principal.

9 0 Ajuste de calibración

Con el medidor de flujo para los pasos 2.0 o 2.1, selecciona el porcentaje deseado del flujo de calibración, si desea otro diferente del nominal o "inicialice" la calibración al 100%. Por ejemplo. presiona CAL, Si la pantalla indica 5% mayor, entonces captura 1 0 5 en el tablero. La pantalla indicará:

CALIBRATION
% FLOW 105

NOTA. Las entradas de calibración del tablero no alterarán la salida de 4 a 20 mA pero únicamente aparecerá el dato de flujo.

TECLAS TEST (prueba)

Con el medidor de flujo para los pasos 2.0 o 2.1, elija la tecla TEST. Presionando esta tecla aparecerá "OPERAND" y una salida directa de la lectura del "convertidor análogo digital" de 0 a 255, dependiendo de la lectura de entrada del dato de flujo. Presione la tecla TEST dos o tres veces y siempre avanzará el número en la esquina inferior derecha a "escala completa" leyendo "255", con el rango de escala completa ajuste a 0.65 MPS. No es significativo el número "255" excepto cuando se refiere a escala completa.

NOTAS.

- 1 La salida de 4 a 20 mA deberá también estar a "escala completa" en el nivel de 20 mA
- 2 Si otro nivel de salida de prueba es deseada para escala completa, el ajuste del rango de escala completa como sigue para obtener la salida del % F.S., antes presione la tecla TEST. rango = 2 / % F.S.

Ejemplo Si desea que la salida de prueba de 4 a 20 mA sea el 25 % de F.S. (8 mA). *ajuste el rango F.S. a 2 / (10% / 100%) = 8 mps F S.* entonces presione la tecla TEST.

La pantalla indicará 1/25 de "255", etc

11 0 Tecla RESET (reajuste)

Con el medidor de flujo para los pasos 2.0 y 2.1 presionando la tecla RESET una vez Entonces presiona VOL. /PULSE para reajustar el totalizador. La pantalla indicará OFF 10e3 - VOLMUT, con el ajuste de entrada del parámetro multiplicador de volumen a "3". Presionando cualquier otra tecla de parámetros regresará el sistema al modo de entrada.

12 0 Tecla RUN / ENT

Con el medidor de flujo para los pasos 2.0 0 2.1 y con todos los parámetros para valores deseados, elija RUN /ENT. Presionando esta tecla causará que el sistema entre en el modo RUN mostrando lo siguiente, con el multiplicador de volumen código 3.

UNIDADES 1	FLOW MPS	NNNNN	
UNIDADES 2	LTR 10E3	NNNN.NN	para I.D. menores
	FLOW LPM	NNNN.NN	que 104.04 mm
	LTR 10E3	NNNNNN	para I.D mayores
	FLOW LPM	NNNN NN	que 104 04 mm
UNIDADES 3	CM 10E3	N.NNNN	(totalizador) x 1 / 1000
	FLOW LPM	NNNNNN	para I.D. menor que 65 mm
	CM 10E3	N NN	(totalizador) x 1 / 1000
	FLOW CHM	N.N	para I.D desde 66 mm a 512 mm
	CM 10E3	N.NN	(totalizador) x 1 / 1000
	FLOW CHM	N	para I.D. mayores que 512 mm

NOTA 1 Para asegurar la exactitud de la lectura del flujo usar tres o cuatro sobredatos

NOTA 2 Para regresar al modo ENTRY presione RUN / ENTER para el paso 2 1

NOTA 3 Los sobredatos del totalizador en el modo RUN únicamente.

Con los transductores instalados en la tubería y con el medidor de flujo encendido (POWER ON, luces parpadeando) y con los parámetros de entrada hechos para los pasos 2 0 al 12 0 y los sistemas en modo RUN, el instrumento de flujo esta listo para su uso

NOTA Si el instrumento es conectado para 120 V C, mientras este en uso, el indicador de carga de batería estará parpadeando aun con la carga completa en la batería

Para más aplicaciones, el control de SENSITIVIDAD en el panel frontal deberá de ser ajustado a "0" en el indicador. Con el liquido que fluye el indicador de intensidad de señal deberá estar en la barra VERDE, con un mínimo absoluto en la barra AMBAR, pero con alguna perdida de exactitud. Reajuste el control SENS si es necesario, para incrementar la señal CW y reducir la señal CCW a la posición nominal "0".

Con una señal valida por 2 a 3 segundos, READ con luz verde estará parpadeando y el indicador del rango de flujo iniciara la lectura de sobre escala en un liquido fluyente. El indicador de flujo (salida 4 a 20 mA) tomara varios segundos para activar la lectura deseada, debido al circuito electrónico autohumedad (el cual continuamente monitorea los cambios en el flujo y automáticamente ajusta el sistema de humedad acordado) y también depende sobre la entrada del parámetro de la tecla DAMP, con 1 segundo de humedad como mínimo y de 40 segundos como maximo de duración de tiempo entre los sobredatos mostrados.

En el caso de que la lectura del flujo no pueda ser obtenida (FAULT luz parpadeante) o una lectura del flujo es obtenida con constantes luces cortadas en FAULT, reajuste el control SENS como sea necesario para eliminar o mejorar. Si no es posible corregir, revisar lo siguiente y/o mueve la localización del transductor:

- A Los transductores montados inadecuadamente.
- B El flujo es menor de 0.3 MPS o en exceso de 8 MPS.
- C Ruido en el sistema por vibración de la tubería, válvulas parcialmente abiertas, rotores, etc.
- D Cantidad excesiva de porcentaje de sólidos o burbujas de aire en el sistema
- E. Cantidad excesiva de turbulencia.

NOTA Si durante el periodo normal de mediciones de flujo, las condiciones cambian a medida que uno de los anteriores con la luz de FAULT continuamente parpadea por 2 a 3 segundos, el flujo normal mostrado se congelará en la última condición de flujo valida con todas las salidas regresando a cero.

Calibración en campo

Despues que el instrumento esta apropiadamente instalado y operando puede ser necesario calibrar en campo el medidor de flujo Esto puede ser causa de las siguientes razones

- 1 Utilización en tuberías diferentes a las especificaciones en el totalizador
- 2 Utilización en tuberías con revestimiento

-
- 3 Utilización en tuberías de hierro fundido o fibra de vidrio, con alto grado de no-uniformidad
 - 4 Excesivo por ciento de sólidos o burbujas de aire.
Operando con una cantidad excesiva de turbulencia o sólidos suspendidos no lineales

Procedimiento de calibración en campo

A Calibrar el indicador de rango del flujo contra un flujo conocido.

- a) Con un flujo establecido y con la entrada del rango a escala completa para cambiar el flujo deseado.

Entrada de parámetros de calibración para lecturas deseadas, ver paso 9.

NOTA. La salida de 4 a 20 mA no será afectada por el procedimiento de calibración anterior; únicamente la pantalla mostrará los datos de flujo

B) Si la salida de 4 a 20 mA puede ser alterada para corresponder con la medición del flujo verificado, cambie el rango de "FULL SCALE" para la salida deseada de 4 A 20 mA

NOTA: Cambie la entrada del parámetro CAL para la lectura deseada como sea necesario para nuevos rangos de F.S.

Calibración electrónica

El medidor de flujo es calibrado electrónicamente en la fabrica por inyección de una frecuencia de 1400 Hz en una señal procesada para producir la lectura de escala completa de 6 08 MPS. Afuera del ajuste SENS en el panel frontal, no hay que use un ajuste igual.

Sobrerango

Cuando la entrada del indicador de flujo es incrementada por 2% arriba de la escala completa el indicador luminoso de OVERRANGE empezara a parpadear y todas las otras salidas serán "afianzadas" abajo del 2% sobre la escala completa, sin hacer caso de la cantidad del sobrerango del flujo. Cambiar al rango de escala completa por medio del sector de RANGE en la parte frontal del panel (12 mps f.s. MAX.)

Indicador de batería baja

Bajo condiciones normales de operación, una batería cargada completamente proveerá de 10 a 20 horas de operación continua. Cuando una batería se descarga el indicador luminoso low batt parpadea por causa del uso y cuanto antes debe ser recargada.

Para recargar conecte la unidad a una línea de 120 V AC durante 12 a 16 horas.

NOTA Durante la carga del instrumento apague el interruptor de encendido.

PRECAUCIÓN: Debido a las características propias de descarga de la batería, es imperativo que esta sea cargada al menos una vez cada 3 a 6 meses cuando este almacenada, para prevenir pérdidas permanentes de capacidad de carga. También es adecuado no operar la unidad después del punto del indicador de batería baja. Si el instrumento debe ser operado mientras la batería esta descargada, conecte a esta, una línea de 120 V AC bajo tal uso se tomará más de 16 horas la recarga de la batería.

Revisión del Sistema General de funcionamiento

Conecte la terminal del conector transductor en el receptáculo del cuerpo del instrumento. Pruebe el sistema, enciéndalo y tome los transductores cara a cara separados de 3 a 6 pulgadas. Mantenga las caras paralelas, mueva un transductor alrededor del otro a 1 pulgada de distancia durante 2 ciclos / segundo. Con la luz READ encendida el indicador de flujo deberá indicar de 0.3 a 5 MPS de flujo.

C) MEDIDORES DE TUBOS PITOT

Aplicación

Se usan generalmente en líneas mayores de 15 24 cm y para una amplia variedad de fluidos.

Principios de operación

El tubo Pitot consiste en un tubo de diámetro pequeño (63 5 mm o menor) con una abertura hacia la corriente del fluido. La presión desarrollada en este punto es la presión al impacto causada al detener el movimiento del fluido y se compara contra la presión estática existente en la línea.

Un segundo dispositivo, colocado a 90° con respecto a la dirección del fluido, mide únicamente la presión estática.

Midiendo la presión diferencial entre los dos dispositivos, se tendrá una indicación de la velocidad del fluido en la línea

Consideraciones

Los tubos pitot son instrumentos de medición de velocidad y a causa de su pequeña área, la velocidad medida es la de ese punto específico y no la velocidad promedio en la sección transversal del tubo.

Se deben tener ciertas precauciones si es que se desean efectuar mediciones con una precisión mayor del +/- 2%.

Estas consideraciones deben de ser:

1. Tener un diámetro mínimo en el ducto de 10.2 cm
2. Efectuar varias mediciones a través del ducto y promediar las lecturas
3. Asegurarse de un flujo recto, teniendo por lo menos 10 diámetros de tubo recto antes y después del tubo pitot o instalar mamparas directrices corriente arriba del tubo

Si las condiciones no permiten la instalación, entonces instálese el tubo pitot en el centro del ducto y multiplíquese la velocidad obtenida por 0.9.

Este método da lecturas con +/- 5% de error.

En ductos o tuberías muy grandes, la deflexión de la guía de soporte del tubo pitot puede causar serios errores

El precio de los tubos pitot varía ampliamente

D) ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE AGUA DE ENTRADA A UNA CELDA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA.

Para estimar el flujo del agua de entrada a una celda de la torre de enfriamiento se sigue el siguiente procedimiento:

Se determina la cabeza de la bomba de agua (H expresada en pies, ft), tomando la presión de descarga (P_d) y la presión de succión (P_s), en lb / in^2

$$H = P_d - P_s \quad (\text{lb} / \text{in}^2)$$

Ahora convertimos las lb / in^2 a ft de agua, mediante la siguiente conversión.

$$H \text{ (ft)} = H \text{ (lb} / \text{in}^2) / (\text{densidad del agua (lb} / \text{ft}^3) * (1\text{ft}^2 / 144 \text{in}^2))$$

Con la cabeza de la bomba de agua en ft y conociendo el diámetro del impulsor de está, se lee en la curva de comportamiento de la bomba el flujo de agua correspondiente.

NOTA Esta determinación del flujo es sólo de manera preliminar

BIBLIOGRAFÍA

Treybal, Robert E. Operaciones de transferencia de masa. 2ª ed. Ed. McGraw – Hill. México 1995. Pag. 289.

McCabe, Warren L ; Smith, Julian C. ; Harriot, Peter. Operaciones básicas de ingeniería química. 4ª ed. Ed. McGraw – Hill. México 1996. 1112 pp.

Benkley, George J. Fit Cooling systems to the job. Hydrocarbon process. Nov 1970.

Campbell, John C Tower prove – out. Ind. Water Eng. May 1970.

Crutchfield, Hugh y Willa, Jim. Cooling towers: Specifying, purchasing and proving. Combustión. Aug. 1967

CTI. Acceptance Test Code for industrial water cooling tower ATC – 105. Cooling Tower Institute. Houston, Tex. 1982.

De Monbrum, J. R. Factors to consider in selecting a cooling tower. Chem. Eng. Sept 1968

Gazzi, L. y Pasero, R. Process cooling systems selección. Hydroc. Process. Oct. 1970.

Kern, Donal Q. Procesos de transferencia de calor. Ed. CECSA México 1981.

Ludwing, Ernest E. Applied process desing for chemical and petrochemical plants. Gulf Publishing Company. Houston, Texas 1964.

Maze, Roy W. Practical tips on cooling tower sizing. Hydroc. Process Feb. 1967.

Marley Co. Cooling tower fundamentals and application principles. The Marley Company. Kansas City.

Puckorius, Paul R. Tower as part of cooling system Ind. Water Eng. May 1970.

Rase, Howard ; Barrow, M. H. Project engineering of process plants. John Wiley & Sons Inc. New York. 1967.

Thompson, A. R. Cooling towers. Chem Eng. Oct. 1968.

Weis, Edwar Tower selection. Ind. Water Eng. May 1970.

Wigham, lam. Designing optimum cooling system. Chem. Eng Aug. 1971.

Willa, James L. The necessity of testing cooling towers. Ind. Water Eng. May 1970.

Woodson, Riley D. Cooling towers. Scientific American May 1971.

Perry, John H. Chemical Engineer's Handbook McGraw – Hill. New York. 1963.