



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

64

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"CAMPUS ARAGÓN"

"ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORRE DE  
ENFRIAMIENTO PARA SISTEMA DE  
AUTOCLAVES DE LA PLANTA CRINAMEX"

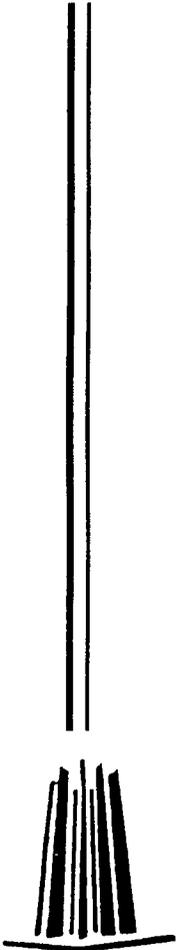
**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
JUAN MANUEL JIMÉNEZ GONZÁLEZ

DIRECTOR: M.L. DAVID FRANCO MARTÍNEZ

MÉXICO

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

JUAN MANUEL JIMÉNEZ GONZÁLEZ  
P R E S E N T E.

En contestación a la solicitud de fecha 7 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. DAVID FRANCO MARTÍNEZ pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado "ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA SISTEMA DE AUTOCLAVES DE LA PLANTA 'CRINAMEX' ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 9 de enero de 2002  
LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR/ia.

X

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



ESCUELA NACIONAL  
DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES  
ARAGÓN

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

OFICIO: ENAR/JAME/0233/2002

ASUNTO: Sinodo

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS  
SECRETARIO ACADÉMICO  
P R E S E N T E

Por este conducto me permito relacionar los nombres de los Profesores que sugiero integren el Sinodo del Examen Profesional del alumno JUAN MANUEL JIMÉNEZ GONZÁLEZ con Número de Cuenta: 9103147-3, con el tema de tesis: "ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA SISTEMA DE AUTOCLAVES DE LA PLANTA "CRINAMEX"".

PRESIDENTE:	ING. CATARINA TAFOLLA RANGEL	SEPTIEMBRE	80
VOCAL:	ING. JORGE ANTONIO RODRÍGUEZ LUNA	MAYO	89
SECRETARIO:	M. en I. DAVID FRANCO MARTÍNEZ	JULIO	98
SUPLENTE:	ING. JULIÁN ALCÁNTARA HERNÁNDEZ	AGOSTO	98
SUPLENTE:	ING. SILVIO JOSÉ VILLAJUANA CERVANTES	ENERO	99

Quiero subrayar que el Director de Tesis es el M. en I. David Franco Martínez, el cual esta incluido basándose en lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Bosques de Aragón, Estado de México, 7 de marzo de 2002.

EL JEFE DE CARRERA

ING. RAÚL BARRÓN VERA



C c d - Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez - Jefa del Depto. de Servicios Escolares.  
C c d - M. en I. David Franco Martínez. - Asesor de Tesis.  
C c p - Alumno  
RBVance



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN  
SECRETARÍA ACADÉMICA

**Ing. RAÚL BARRÓN VERA**  
**Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,**  
**Presente.**

En atención a la solicitud de fecha 7 de marzo del año en curso, por la que se comunica que el alumno JUAN MANUEL JIMÉNEZ GONZÁLEZ, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA SISTEMA DE AUTOCLAVES DE LA PLANTA "CRINAMEX", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
San Juan de Aragón, México, 7 de marzo del 2002  
**EL SECRETARIO**

  
**Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS**

C p Asesor de Tesis.  
C p Interesado.

AIR/RCC/vr



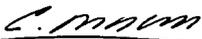
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

JUAN MANUEL JIMÉNEZ GONZÁLEZ  
P R E S E N T E.

En contestación a la solicitud de fecha 7 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. DAVID FRANCO MARTÍNEZ pueda dirigirlle el trabajo de tesis denominado "ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA SISTEMA DE AUTOCLAVES DE LA PLANTA 'CRINAMEX' ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento, me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 9 de enero de 2002  
LA DIRECTORA

  
ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



  
C p Secretaría Académica.  
C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.  
C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR/1a.

X

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



ESCUELA NACIONAL  
DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN – UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

OFICIO: ENAR/JAME/0233/2002

ASUNTO: Sinodo

**LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS**  
**SECRETARIO ACADÉMICO**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto me permito relacionar los nombres de los Profesores que sugiero integren el Sinodo del Examen Profesional del alumno **JUAN MANUEL JIMÉNEZ GONZÁLEZ** con Número de Cuenta. 9103147-3, con el tema de tesis: "ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA SISTEMA DE AUTOCLAVES DE LA PLANTA "CRINAMEX"".

<b>PRESIDENTE:</b>	<b>ING. CATARINA TAFOLLA RANGEL</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>80</b>
<b>VOCAL:</b>	<b>ING. JORGE ANTONIO RODRÍGUEZ LUNA</b>	<b>MAYO</b>	<b>89</b>
<b>SECRETARIO:</b>	<b>M. en I. DAVID FRANCO MARTÍNEZ</b>	<b>JULIO</b>	<b>98</b>
<b>SUPLENTE:</b>	<b>ING. JULIÁN ALCÁNTARA HERNÁNDEZ</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>98</b>
<b>SUPLENTE:</b>	<b>ING. SILVIO JOSÉ VILLAJUANA CERVANTES</b>	<b>ENERO</b>	<b>99</b>

Quiero subrayar que el Director de Tesis es el M. en I. David Franco Martínez, el cual esta incluido basandose en lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

**Atentamente**

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Bosques de Aragón, Estado de México, 7 de marzo de 2002.

**EL JEFE DE CARRERA**

**ING. RAÚL BARRÓN VERA**



Ccp - Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez - Jefa del Depto. de Servicios Escolares.  
Ccp - M. en I. David Franco Martínez - Asesor de Tesis.  
Ccp - Alumno  
RBVance



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN  
SECRETARÍA ACADÉMICA

**Ing. RAÚL BARRÓN VERA**  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,  
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 7 de marzo del año en curso, por la que se comunica que el alumno JUAN MANUEL JIMÉNEZ GONZÁLEZ, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA SISTEMA DE AUTOCLAVES DE LA PLANTA "CRINAMEX", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 7 de marzo del 2002  
EL SECRETARIO

  
LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS

Cp Asesor de Tesis.  
Cp Interesado.

AIR/RCC/vr

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS POR DARMÉ VIDA Y SALUD DURANTE MI PERIODO COMO ESTUDIANTE.

A MIS PADRES POR SABER ORIENTARME ANTE LA VIDA, POR SU APOYO QUE SIEMPRE ME BRINDARON INCONDICIONALMENTE Y POR LA EDUCACIÓN QUE SUPIERON FOMENTAR ALREDEDOR DE NUESTRA FAMILIA.

A MIS TRES HERMANOS QUE CON SUS EJEMPLOS SIEMPRE ME FIJARON UNA META, POR QUE EN CONDICIONES ADVERSAS SIEMPRE ME APOYARON Y ME FACILITARON EL ESPACIO Y TIEMPO ADECUADO PARA PODER SALIR ADELANTE, POR SER COMO SON.

A MIS COMPAÑEROS POR BRINDARME SU AMISTAD Y SU APOYO EN CUALQUIER SITUACIÓN PRESENTADA DURANTE NUESTRO PERIODO UNIVERSITARIO. POR QUE SIEMPRE DEMOSTRARON DEDICACIÓN EN LA CULMINACIÓN DE NUESTRA CARRERA Y POR TODO EL AFECTO QUE SE FORMO ENTRE NOSOTROS.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE SE VIERON INVOLUCRADAS DURANTE ESTE PERIODO DE MI VIDA.

# ÍNDICE

Págs.

		Págs.
	<b>Introducción</b>	
<b>CAPITULO I</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
	1.1 Definición y operaciones de torres de enfriamiento.	3
	1.2 Definición y operación de autoclave.	5
	1.3 Conceptos fundamentales (Termodinámicos y Psicométricos)	6
	1.4 Balance térmicos y de masa torre-autoclave.	6
	1.5 Ecuación fundamental de torre de enfriamiento.	18
	1.6 Cálculo de calentamiento y presión en autoclave.	20
	1.7 Representación gráfica del proceso de la torre de enfriamiento.	21
	1.8 Ciclo representativo de autoclave.	24
<b>CAPITULO II</b>	<b>TIPO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO Y AUTOCLAVE</b>	
	2.1 Torre de enfriamiento atmosférica.	25
	2.2 Torre de enfriamiento de tiro hiperbólico.	27
	2.3 Torre de enfriamiento de tiro forzado.	29
	2.4 Torre de enfriamiento de tiro inducido.	31
	2.5 Autoclave.	33
<b>CAPITULO III</b>	<b>PARTES PRINCIPALES DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO Y AUTOCLAVE</b>	
	3.1 Rellenos.	35
	3.2 Sistema de distribución de agua.	41
	3.3 Eliminadores de humedad.	46
	3.4 Ventiladores.	47
	3.5 Reductor de engranes.	50
	3.6 Estructura, puntos de apoyo y pileta de torre de enfriamiento.	54
	3.7 Autoclave, posición y dimensiones.	60

	<b>Págs.</b>
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>ANÁLISIS DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO MECÁNICO</b>	
4.1 Dimensiones de torre de enfriamiento.	63
4.2 Método de cálculo.	67
<b>CAPITULO V</b>	
<b>SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>	
5.1 Descripción planta CRINAMEX.	83
5.2 Selección de torre de enfriamiento.	91
5.3 Especificación de materiales de la torre seleccionada.	96
5.4 Programa de mantenimiento.	106
5.5 Costo de la torre seleccionada.	109
<b>Conclusiones.</b>	111
<b>Glosario de términos y símbolos.</b>	112
<b>Anexos</b>	
<b>A1 Carta Psicométrica.</b>	119
<b>A2 Entalpías de aire húmedo saturado.</b>	121
<b>Bibliografía</b>	123

## INTRODUCCION

Normalmente, una torre de enfriamiento se compra solo para un punto de garantía, sin embargo resulta adecuado contar con curvas de rendimiento proporcionadas por el fabricante que ilustren la operación para diversas temperaturas del bulbo húmedo y rangos de enfriamientos. En esencia la inversión para una torre de enfriamiento depende del flujo de agua y resulta influenciada por la aproximación, el rango y el bulbo húmedo.

En la evaluación del costo se consideraran la estructura, sistema de bombeo, relleno, ventiladores, motores, deposito de agua, los fletes y la mano de obra. Todo esto con el fin de obtener las mejores condiciones economicas y globales, al seleccionar una torre para una planta industrial, deben coordinarse el estudio y la evaluación del sistema considerado, asi como las necesidades de la planta industrial.

El objeto que se persigue es obtener una torre de enfriamiento adecuada a la planta industrial que satisfaga las necesidades requeridas. 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 enfria 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, se entiende el porque la dificultad para evaluar éstos equipos.

Este caso se presenta en la planta industrial ya que en el predio ubicado no se cuenta con río lago o algo similar por lo que es necesaria la instalación de una torre de enfriamiento para un sistema de autoclaves así como para otras funciones básicas de aire acondicionado que necesitan agua fria, por lo cual nos concentraremos primeramente para selección del sistema de autoclaves y consecuentemente para las necesidades de la planta.

Por lo anterior se considero este trabajo de tesis sobre la selección de la torre de enfriamiento para la planta "Crinamex" el cual esta basado en criterios de diseño desarrollado por **COOLING**

**TOWER INSTITUTE** y distribuidos por **TORRES MARMEX, S.A. DE C.V.** y están fundamentados en casos reales en torres de enfriamiento para plantas similares.

En el capítulo I presentaremos la teoría que esta directamente involucrada con el sistema de la torre de enfriamiento y el sistema de autoclaves, describiremos el proceso de la torre de enfriamiento, también indicaremos sus ecuaciones fundamentales así como la representación grafica de las mismas. El capítulo I se propone entender el proceso de las torres de enfriamiento en base a sus puntos estratégicos teóricos.

El capítulo II indica los tipos de torres de enfriamiento que existen para determinados propósitos industriales y que se pueden seleccionar para nuestro objetivo, así como nos menciona su funcionamiento de cada una y nos proporciona las ventajas y desventajas que pudieran tener cada una de ellas. Este capítulo trata de mostrar la diversidad de torres que son mas utilizadas en la industria.

En nuestro capítulo III se mencionan los componentes principales de las torres de enfriamiento, así como sus dimensiones y una descripción detallada de lo que están conformadas. En esta descripción también se involucra el sistema de autoclaves con dimensiones y componentes que la conforman.

El capítulo IV nos presenta los cálculos, para obtener las dimensiones de las torres de enfriamiento, en este capítulo presenta solo cálculos para una torre de mayor conveniencia para nosotros, con todo esto mostraremos resultados al final del mismo en una tabla de comparaciones.

En el capítulo V se hace una pequeña descripción del proceso en la planta industrial "CRINAMEX" para poder seleccionar mas adelante la torre mas adecuada de acuerdo al proceso y necesidades de la misma planta. También encontramos especificaciones que deben ser aplicadas a ciertas torres de enfriamiento. Con todo esto presentado, se obtiene el costo a partir de la cotización de nuestro distribuidor **TORRES MARMEX S.A. DE C.V.** y se propondrá el mas adecuado de los mantenimientos para estas torres.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 Definición de torres de enfriamiento.

Las torres de enfriamiento son dispositivos de enfriamiento artificiales de agua. Se clasifican como cambiadores de calor entre un volumen en circuito cerrado de agua y aire atmosférico.

Básicamente, las torres de enfriamiento son cambiadores de calor de mezcla, efectuando la transmisión de calor por cambio de sustancia y convección entre los medios.

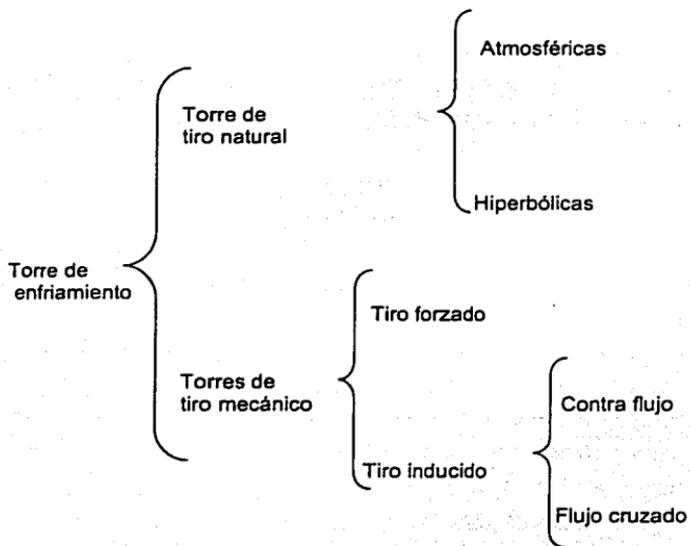
Los principios físicos en los que se basa la operación de una torre de enfriamiento son dos: transferencia de calor sensible y enfriamiento evaporativo.

La transferencia de calor ocurre debido a que el aire a la entrada de la torre de enfriamiento está a menor temperatura que el agua, por ello absorbe calor y el agua se enfría.

El enfriamiento evaporativo involucra intercambio simultáneo de calor y masa. Durante su caída a través del relleno de la torre de enfriamiento, las gotas de agua se evaporan parcialmente en contacto con el aire. El calor que es necesario para este cambio de estado lo proporciona el agua que no se evapora y, como consecuencia, lo que queda de la gota se enfría.

Para que este proceso se lleve a cabo es necesario que el aire posea la capacidad para absorber el vapor de agua que se produce, es decir, que no este saturado de humedad. Afortunadamente aún cuando tengamos condiciones de un día húmedo y lluvioso, la transferencia de calor sensible ocurre apenas ingrese el aire a la torre incrementando su temperatura y con ello su capacidad de absorber mas humedad.

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



## 1.2 Definición de autoclave.

El autoclave es un calentador, el cual trabaja a base de presión y temperatura, con suministro de aire que es calentado en el interior del equipo mediante resistencia eléctricas o bien mediante vapor o fluidos térmicos por medio de intercambiadores. Un potente electro ventilador se encarga de poner en movimiento el aire interior, haciendo que la circulación forzada permita obtener una temperatura uniforme en el interior del equipo, con variaciones mínimas a lo largo de la superficie del material introducido.

La función principal de este equipo, consiste en calentar materia prima para diferentes procesos, por ejemplo, la industria de fabricación de parabrisas utiliza la autoclave como medio de calentamiento de Polivinil - butiral (PVB), introducido entre dos placas de vidrio previamente curvado (este es el parabrisas).

El proceso de enfriamiento se consigue haciendo circular agua fría o refrigerantes a través de intercambiadores de tipo radiador, permitiendo mediante circulación forzada del aire entre sus placas disminuir la temperatura interior del equipo hasta los valores deseados.

- **Condensadores (utilizado en autoclave)**

El condensador se encarga de retirar la carga térmica sobrante del autoclave, y poder enfriar el material que fue calentado en su interior; el agua de enfriamiento proveniente de las torres de refrigeración es la encargada de retirar esta carga de calor. Éste tipo de condensador, utilizado en la autoclave es del tipo radiador; está diseñado como un cambiador de calor enfriado por agua con una superficie de contacto de  $215 \text{ m}^2$ , y con un volumen de 102 litros, con una temperatura de trabajo de  $176^\circ \text{ C}$  para vapor y para el lado agua  $25^\circ \text{ C}$  con una presión de 6 bar máxima y 3 bar mínima, todos sus componentes están hechos de acero al carbón.

### 1.3 Conceptos fundamentales.

- **Composición del aire atmosférico**

El aire es una mezcla de gases que rodea a la tierra, es invisible, sin olor, sin sabor ni color, siendo una mezcla de oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, vapor de agua y gases raros.

El aire que rodea a la tierra se llama atmósfera y se extiende sobre la tierra 400 millas (645 km), y esta dividida en capas. La capa más cercana a la tierra se llama biosfera, se extiende desde el nivel del mar, hasta aproximadamente 9.145 km, la siguiente capa se llaman troposfera y abarca desde 9.145 km hasta 15.250 km . La capa que se extiende desde 9.145 km hasta 322 km, es llamada estratosfera, y la capa que abarca desde 322 km hacia arriba, es llamada ionosfera.

Esta mezcla gaseosa tiene un comportamiento de gas ideal, lo cual simplifica enormemente los cálculos, ya que, su comportamiento se ve regido por la ley general de los estados gaseosos.

Otro constituyente importante del aire, el vapor de agua, que se encuentra generalmente en forma de vapor saturado; cuando el aire se enfría considerablemente, se alcanza el punto de rocío y el vapor de agua contenido en el aire, empieza a condensarse y puede ser visible en forma de neblina o de llovizna.

Es importante mencionar que cada uno de estos gases se comportan como si estuvieran solos en un espacio determinado( la ley de Dalton).

La ley de Dalton establece que la presión total ejercida por una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones de los componentes  $p_i$ , cada una medida individualmente a la temperatura y volumen de la mezcla.

La ley de Dalton se puede escribir así:

$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_k = \sum_{i=1}^k P_i \quad 1.3.1$$

donde  $p_i$  es la presión del componente  $i$ -ésimo. La presión ejercida por un gas ideal en una mezcla gaseosa, a la luz de la regla de Dalton, se puede expresar como:

$$p_i = \frac{N_i R_u T}{V} \quad 1.3.2$$

donde  $T$  y  $V$  son la temperatura absoluta y el volumen de la mezcla, respectivamente. Si las presiones de los componentes de cada especie química se sustituyen en la ecuación 1.3.1 se halla que:

$$\begin{aligned} P &= \frac{N_1 R_u T}{V} + \frac{N_2 R_u T}{V} + \dots + \frac{N_k R_u T}{V} \\ &= (N_1 + N_2 + \dots + N_k) \frac{R_u T}{V} = \frac{N_m R_u T}{V} \end{aligned} \quad 1.3.3$$

Es decir la mezcla de los gases también admite la ecuación de los gases ideales, como era de esperarse. La ecuación 1.3.3 se ha confirmado para presiones relativamente bajas. La regla de Dalton se puede aplicar también a mezclas de gases reales como técnica de aproximación. No obstante, los resultados no necesariamente coincidirán con los experimentos, debido a la influencia de las fuerzas intermoleculares entre las partículas que constituyen los gases reales.

**Tabla 1.1. Composición del aire**

NOMBRE	SÍMBOLO	% EN PESO	% EN VOL.
NITROGENO	N	75.47	78.03
OXIGENO	O	23.19	20.99
BIÓXIDO DE C.	CO	0.04	0.03
HIDROGENO	H	0.00	0.01
AGUA	HO	0.00	0.00
POLVO		0.00	0.00
GASES RAROS		1.30	0.94

- **Humedad atmosférica**

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

- **Humedad específica (ws)**

La humedad específica es el contenido de la humedad en el aire, es el peso del vapor de agua expresada en granos o libras por libras de aire seco, en una libra existen 7000 granos de humedad, los granos de humedad no son parte del aire seco. Por lo que una libra de aire lleva consigo un cierto número de granos de humedad.

La humedad específica también puede llamarse humedad absoluta. Estos términos se refieren en el peso real, no al porcentaje de vapor de agua contenido en el aire y su relación es entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco en la muestra:

$$W = \frac{m_v}{m_a} \qquad 1.3.4$$

- **Humedad relativa (hr)**

Es la diferencia entre el vapor de agua que está presente en el aire y la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener el aire a la misma temperatura, esta expresada en términos de porcentajes (%)

Para una temperatura de bulbo seco dada, una libra de aire puede contener una cantidad definida y determinada de vapor de agua, cuando una libra de aire contiene esa cantidad determinada de vapor de agua se dice que dicho aire esta saturado, en consecuencia ha llegado al punto máximo de humedad relativa.

A medida que desciende la temperatura de bulbo seco, su capacidad de contener vapor de agua también se reduce, por lo que se considera una determinada cantidad de vapor de agua que esta en el aire. La humedad relativa ( punto de saturación), las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y punto de rocío son idénticas.

$$\phi = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad 1.3.5$$

Suele darse en % :  $\phi = 100 P_v / P_{vs}$

- **Volumen específico**

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

$$v = \frac{V}{m_a} (m^3 / kg) \quad 1.3.6$$

- **Temperatura de rocío**

Es la temperatura a la cual empieza la condensación del vapor de agua contenido en el aire; debido a que todos los componentes de una mezcla gaseosa ocupan el mismo volumen y están a la misma temperatura, se deduce que cuando el aire se encuentra a una temperatura superior a la temperatura de saturación correspondiente a la presión parcial del vapor de agua, el vapor de agua del aire está saturado y el aire se dice que está saturado. La temperatura a la cual el vapor de agua en el aire está saturado se le conoce como temperatura del punto de rocío del aire (T<sub>pr</sub>)

## **GENERALIDADES**

---

La presión ejercida por cualquier vapor es directamente proporcional a la densidad del vapor, ya que, la temperatura del punto de rocío del aire depende solo de la masa de vapor de agua contenido en el aire mientras permanece constante, también la Tpr permanecerá constante y se puede expresar en ( $^{\circ}\text{C}$ ) o ( $^{\circ}\text{F}$ ).

- **Temperatura de bulbo seco**

La temperatura de bulbo seco (tbs) es la temperatura medida por un termómetro ordinario de bulbo seco. Es la temperatura ambiente como comúnmente se le conoce y puede expresarse en ( $^{\circ}\text{C}$ ) o ( $^{\circ}\text{F}$ ).

- **Temperatura de bulbo húmedo**

La temperatura de bulbo húmedo (tbh) del aire es la temperatura medida en un termómetro de bulbo húmedo, siempre es menor a la de bulbo seco y representa la relación entre la temperatura de bulbo seco y la temperatura del punto de rocío. (tbh) es un índice del calor total del aire y puede expresarse en ( $^{\circ}\text{C}$ ) o ( $^{\circ}\text{F}$ ).

- **Temperatura de saturación adiabática**

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

- **Calor**

En términos simples es una forma de energía, que puede ser transferida en las fronteras de un sistema debido a una diferencia de temperaturas entre dichos sistemas y sus alrededores. Cabe señalar que el flujo de energía se dará de un sistema a alta temperatura hacia otro de baja.

- **Calor sensible (dqs)**

El calor que se puede medir o sentir se llama calor sensible. Es el calor que provoca un cambio de la temperatura de una sustancia, pero no un cambio de su estado.

- **Calor latente (dq<sub>e</sub>)**

En un cambio de estado, la mayor parte de las sustancias tienen un punto de fusión al cual pasan del estado sólido al líquido sin aumentar su temperatura. En este punto, si la sustancia está en estado líquido y se le quita calor, se solidificará sin cambiar su temperatura. El calor que interviene en ambos procesos: pasar de sólido a líquido o de líquido a sólido, sin cambiar la temperatura, se llama calor latente de fusión.

- **Calor específico**

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor en BTU necesaria para cambiar la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit.

- **Carga de calor**

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

- **Entalpía (HG)**

Cantidad de calor contenida en el aire, contada a partir de los 0 ° C. Y esta dada por:

$$HG = maha + mvhv \text{ (kcal)} \quad 1.3.7$$

## GENERALIDADES

---

donde:

H = calor total.

$m_a h_a$  = calor sensible.

$m_v h_v$  = calor latente.

Siendo  $h_a$  la entalpía específica (por unidad de masa) del aire seco, y  $h_v$  la entalpía específica del vapor de agua.

La entalpía específica del aire húmedo se obtiene refiriendo su entalpía a la masa del aire seco  $m_a$  quedando:

$$h = \frac{H}{m_a} = \frac{m_a h_a + m_v h_v}{m_a} = h_a + w \cdot h_v \text{ (kcal/kg)} \quad 1.3.8$$

- **Factor térmico. (FT)**

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

$$FT = R = \frac{m_a h_a}{H} \quad 1.3.9$$

- **Rango de enfriamiento**

Es la diferencia de temperatura de enfriamiento del agua al pasar por la torre y equivale a la diferencia de temperatura entre el agua caliente (que entra a la torre) y el agua fría ( que sale de la torre).

$$R = (T_{ac} - T_{af}) \quad 1.3.10$$

- **Aproximación**

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

$$A = (T_{af} - T_{bh}) \quad 1.3.11$$

- **Temperatura de agua fría**

Es la temperatura del agua fría a la que entra al estanque fría después de salir de la torre.

- **Temperatura de agua caliente**

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

- **Presión**

Se define la presión P como la fuerza normal por unidad de área que actúa sobre las fronteras del sistema. La presión real en un punto determinado del sistema se llama su presión absoluta, debido a que se mide en forma relativa a una presión absoluta de cero. Es necesario utilizar el adjetivo absoluta, debido a que la mayoría de los dispositivos de medición de presión experimental indicando que se conoce como presión manométrica. Una presión manométrica es la diferencia entre la presión absoluta del fluido y la presión atmosférica. Entonces, generalizando

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm} \quad 1.3.12$$

$$P_{abs} = P_{ma} + P_{atm} \quad 1.3.13$$

## GENERALIDADES

---

La lectura de un medidor de presión manométrica puede ser positiva o negativa. A una presión manométrica negativa ( que se presenta cuando la presión atmosférica es mayor que la presión absoluta) se le conoce como vacío. Por ejemplo, una presión de vacío de 30 kpa (0.30 bar) corresponde a una presión manométrica de - 30 kpa. Si la presión atmosférica fuera de 100 kpa, entonces la presión absoluta será igual a 70 kpa.

En la literatura técnica, algunas veces se agregan las letras a o g a las abreviaturas, para indicar que se trata de valores absolutos o manométricos, respectivamente. Por ejemplo, podrían darse presiones absolutas o manométricas en libras fuerza por pulgada cuadrada como unidades de "psia" o "psig". En algunas circunstancias también podrían utilizarse los símbolos "lb/in<sup>2</sup> gage" o "mbar gage". La expresión matemática de la presión se escribe como:

$$P = \frac{F}{A} \quad 1.3.14$$

donde:

P: Es la presión (kg/m<sup>2</sup>,atm, etc)

F: Es la fuerza ejercida (lb,kg,nw)

A: Superficie o área (m<sup>2</sup>,cm<sup>2</sup>,ft<sup>2</sup>)

Algunas equivalencias de presión:

1 atm = 10336 kg/m<sup>2</sup>

=14.7 lb/in<sup>2</sup>

=760 mmhg

=29.92 inhg

=1.013 Bars

=1.013 x 10<sup>-5</sup> N/m<sup>2</sup>

- **Presión parcial**

En una mezcla de gases, se denomina presión parcial de un componente a la presión ejercida por ese componente si ocupase él solo todo el volumen que ocupa la mezcla. Para el aire se tiene:

$$P = p_v + p_a \quad 1.3.15$$

donde  $p$  es la presión atmosférica,  $p_v$  es la presión parcial del vapor de agua y  $p_a$  es la presión parcial del aire seco.

- **Agua de repuesto o de reemplazo**

El agua de reemplazo es el agua requerida para compensar las pérdidas totales por evaporación, acarreo, purga y pequeñas fugas. Las primeras torres atmosféricas tienen, debido a que se basan en la circulación natural del aire, cargas altas de bombeo y pérdidas por rocío, así como reemplazo excesivo, y en gran parte, han sido desplazadas por torres de tres tipos importantes: de tiro forzado, de tiro inducido e hiperbólicas.

- **Pérdidas por evaporación**

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

- **Pérdidas por arrastre o acarreo**

Acarreo es el agua que se pierde como niebla o gotitas arrastradas por el aire que circula y se descargan a la atmósfera; se agrega a la pérdida por evaporación y se minimiza por un buen diseño.



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

$$L1t1 + G1ha1 = G2ha2 + Larrt2 + L2t2 + Leta2 \quad 1.4.2$$

Donde G es la cantidad de aire seco en lb/ (h) (pies<sup>2</sup>), por lo tanto es igual en la entrada y la salida.

ha1 y ha2 son las entalpías totales del aire a la entrada y a la salida.

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

$$L = L2 + Larr + Le + Lf \quad 1.4.3$$

Donde L2 es la cantidad de agua fría que sale del relleno en lb/(h) (pie<sup>2</sup>)

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

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

Se complementa el balance de todo el sistema y se tiene que:

$$L1t1 + G1ha1 + Lrrt = L2t2 + G2ha2 + Larrt2 + Lft0 + Leta2 \quad 1.4.4.$$

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

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

$$Lr = Lf + Larr + Le \quad 1.4.5$$

## GENERALIDADES

Debido a que  $L$ ,  $L_r$ ,  $L_f$  son cantidades muy pequeñas comparadas con  $L$  y la temperatura  $t_0$  más cercana a  $t_2$  las ecuaciones de balance quedaran de la siguiente manera:

$$L t_1 + G h a_1 = L t_2 + G h a_2 \quad 1.4.6$$

Despejando  $L/G$  tenemos la ecuación de balance que es la mas empleada cuando se hacen estudios de torres de enfriamiento.

$$\frac{L}{G} = \frac{h a_1 - h a_2}{t_2 - t_1} \quad 1.4.7$$

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

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

$$\frac{L}{G} = \frac{\frac{WL}{A}}{\frac{WG}{A}} = \frac{h a_1 - h a_2}{t_2 - t_1} \quad 1.4.8$$

### 1.5 Ecuación fundamental de torre de enfriamiento.

La transmisión de calor en una torre de enfriamiento tomando en cuenta el balance térmico citado se deduce que:

$$dq = daK (h_w - h_a) \quad 1.5.1$$

En las torres de enfriamiento la superficie de transmisión esta compuesta por una serie de superficies (relleno) difíciles de evaluar y por lo tanto se prefiere tomar un valor promedio por unidad de relleno, tomando como "a" ese valor ( $\text{pies}^2/\text{pie}^3$ ) la expresión de Merkel se transforma en:

$$dq = KadV (h_w - h_a) \quad 1.5.2$$

En donde:

$dq$  = es la cantidad de calor transmitida en un volumen de relleno  $dV$

$K$  = es el coeficiente de transferencia de masa en lb de agua ( $h \cdot ft^2$ )

$a$  = área de contacto en  $ft^2/ft^3$  de volumen de torre.

$dV$  = volumen de enfriamiento activo en  $ft^3 / ft^2$  de área plana.

$h_w$  = entalpia del aire saturado a la temperatura del agua en BTU/lb.

$h_a$  = entalpia de la corriente de aire en BTU /lb.

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

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

considerando  $C_p = 1$  y sustituyendo

$$Ldt = KadV(h_w - h_a) \quad 1.5.4$$

Despejando  $dt / (h_w - h_a)$

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

Integrando:

$$\frac{KaV}{L} = \int_{h_2}^{h_1} \frac{dt}{h_w - h_a} \quad 1.5.6$$

Este es el resultado de los estudios realizados por Merkel y es el que da la pauta para el calculo de la torre de enfriamiento.

**1.6            Cálculo de calentamiento y presión de autoclave.**

Para el cálculo del calentamiento y presión en el sistema, se utilizó, un ciclo representativo el cual nos guía para determinar estas propiedades en situaciones reales del proceso.

Empezamos con una temperatura que va de 30° C hasta 150° C como máximo utilizando una desviación de  $\pm 5^\circ$  C. La Presión en autoclave es de 0.0 hasta 15.0 Kg / cm<sup>2</sup>. El tiempo es desde 1 hasta 121 minutos.

Entonces conforme la presión aumenta la temperatura aumenta, estas dos variables en el sistema son fundamentales y por ello son estas las que se observan con más detalle para llevar a cabo con la mejor precisión el ciclo del sistema.

• **Calentamiento**

Para el calentamiento se tiene que:

Temperatura final – tiempo transcurrido / tiempo transcurrido  $\pm 5 = ^\circ$  C / min.

Para el enfriamiento se tiene que:

Temperatura final  $\pm 5^\circ$  C a 100° C  $\pm 5$ C en 20 min. 1.6.1

Temp. final  $\pm 5 -$  Temp. deseada  $\pm 5 =$

Temp. descenso / min. por transcurrir  $= ^\circ$ C / min. 1.6.2

• **Presión**

Rampa de presurización de 0 a 14 Kg/cm<sup>2</sup>. En 20 min.

Presión máx. – 0 = Presión máx. / min. = Kg / cm<sup>2</sup> 1.6.3

Sostenido en  $14 \text{ Kg} / \text{cm}^2$  durante 85 minutos

Rampa de despresurización de presión máx. a  $0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$  en 2 min.

$$\text{Presión máx.} - 0 = \text{Presión máx.} / \text{min.} = \text{Kg/cm}^2$$

1.6.4

Los valores del calentamiento, enfriamiento y presión se toman de acuerdo al programa seleccionado del autoclave.

### 1.7 Representación del proceso de la torre de enfriamiento.

En la figura 1.2 se ilustran las relaciones del agua y el aire y el potencial impulsor que existe en una torre de enfriamiento. La comprensión de este diagrama constituye una base importante para entender el proceso de la torre de enfriamiento.

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

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

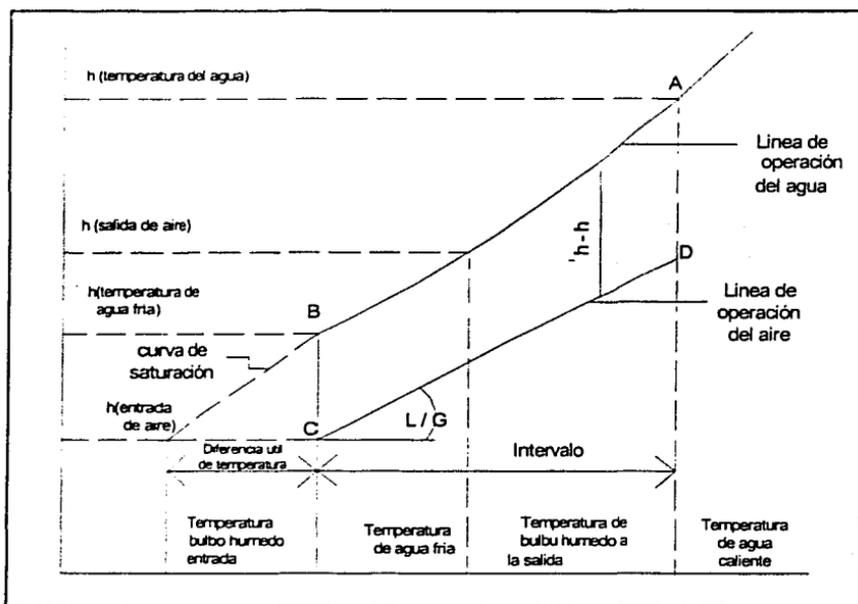


Figura 1.2 Representación grafica del proceso de torres de enfriamiento.

En la figura 1.3 se muestra la representación de los flujos que operan en la torre de enfriamiento, así como la relación agua aire.

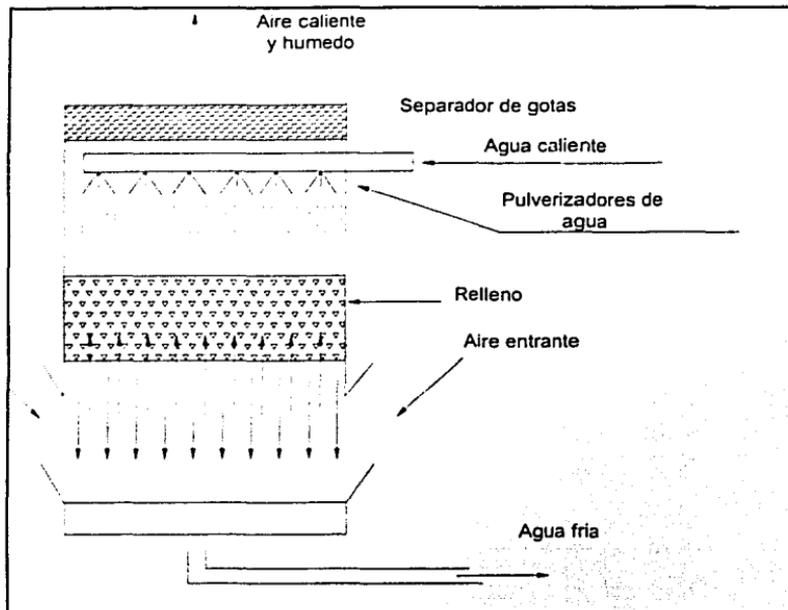


Figura 1.3 Esquemas de flujos en torres de enfriamiento.

## 1.8

## Ciclo representativo de autoclave.

En la figura 1.4 se representa el ciclo de autoclave, el cual es diferente en cada modelo de parabrissas a laminar, sin embargo aquí se representa el ciclo más utilizado por la planta industrial.

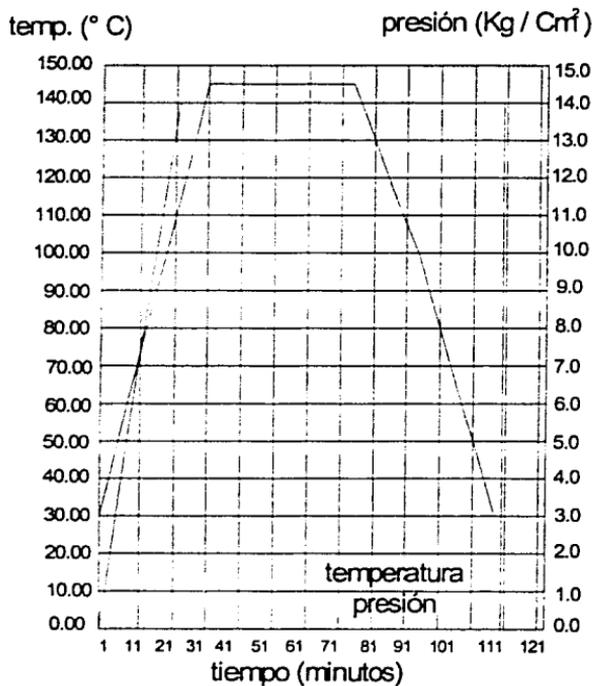


Figura 1.4 Ciclo de autoclave

## CAPITULO II

### Tipos de torres de enfriamiento y Autoclave

A continuación se muestra el funcionamiento de las torres de enfriamiento, así como las ventajas y desventajas que muestran algunas de ellas. Las torres que se presentan en este capítulo son las más utilizadas por la industria. Por parte del autoclave se muestran también sus partes principales, así como su funcionamiento y el material con el cual están conformadas las mismas.

#### 2.1 Torres de enfriamiento atmosféricas.

Cuando el agua de enfriamiento llega a la torre de enfriamiento de tiro natural, se conduce a la parte superior, donde entran a las toberas de automatización.

Esas toberas dispersan el agua en forma de gotas finas e inducen al movimiento de aire debido a la fuerza de aspiración de las toberas. Cuando alcanzan la parte inferior de la torre, las gotas de agua se juntan en una charola y se bombean de regreso al condensador para seguir efectuando su trabajo de enfriamiento.

La torre de tiro atmosférico depende de las toberas de aspiración para dividir el agua y efectuar el movimiento del aire. No tiene relleno ni ventilador, y se vea que su peso, tamaño y necesidades de instalación, en comparación con las de tiro mecánico, se han reducido bastante.

Sin embargo, en el trabajo normal de servicio de refrigeración puede haber veces en las que se llame al técnico para dar servicio o mantenimiento a esas unidades.

En la figura 2.1 presentamos una torre de enfriamiento tipo atmosférica sin relleno dispersor por ser la más utilizada.

• Características principales

- Vida larga con bajos costos de mantenimiento, debido a la inexistencia de partes mecánicas.
- No se produce recirculación del aire utilizado.
- Se precisa localizar la torre en un lugar despejado
- La torre debe ser alta y estrecha y, por tanto, los gastos de bombeo de agua son elevados.
- Debido a su altura es preciso un anclaje seguro contra el viento.
- La torre debe orientarse hacia los vientos dominantes.
- La temperatura del agua varía con la velocidad del viento y su dirección.
- No es posible lograr un acercamiento pequeño.
- El costo es casi tan alto como para una torre con elementos mecánicos.

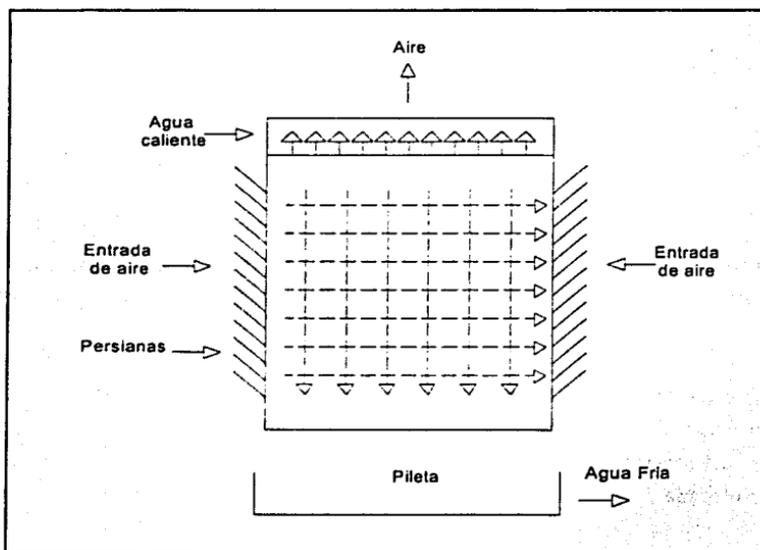


Figura 2.1 Torre de enfriamiento sin relleno dispersor.

Se construyen normalmente de materiales que la humedad no puede deteriorar, tales como madera de secuoya, fibra de vidrio o planchas de metal galvanizado, como sea, este tipo de torres depende también de las corrientes de aire predominantes sobre las mismas, tienen necesidad de estar emplazadas en lugares donde prevalezca el viento.

El agua se esparce en la parte superior de la torre a través de pulverizadores, evaporándose parte del agua en su caída al depósito en la parte inferior. Esta evaporación toma calor del agua restante, y se suma a la capacidad de la torre.

El agua evaporada tiene un sistema de compensación, con un conjunto de flotadores conectado a una entrada de agua de la red de suministro que eleva automáticamente el nivel de agua que se ha evaporado.

## 2.2 Torres de enfriamiento de tiro hiperbólico.

La torre de tiro hiperbólico como se muestra en la figura 2.2 ocupan un volumen mayor a igualdad de capacidad de enfriamiento que las torres de tiro inducido o las torres de tiro forzado; esto se debe a que las velocidades del aire son frecuentemente bajas y a que la dirección del viento es variable.

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

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

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

- Características principales

- Bajos costos de mantenimiento.
- Mucho mejor rendimiento que las torres atmosféricas pero inadecuada para altas temperaturas secas del aire, ya que la temperatura de entrada del agua debe ser mayor que la temperatura seca del aire.
- Raras veces aplicable al aire acondicionado y plantas industriales debido a la fuerte inversión inicial condicionada por la gran altura necesaria. Son muy empleadas en centrales térmicas.
- No es posible un gran acercamiento.
- Es difícil controlar exactamente la temperatura de salida del agua.

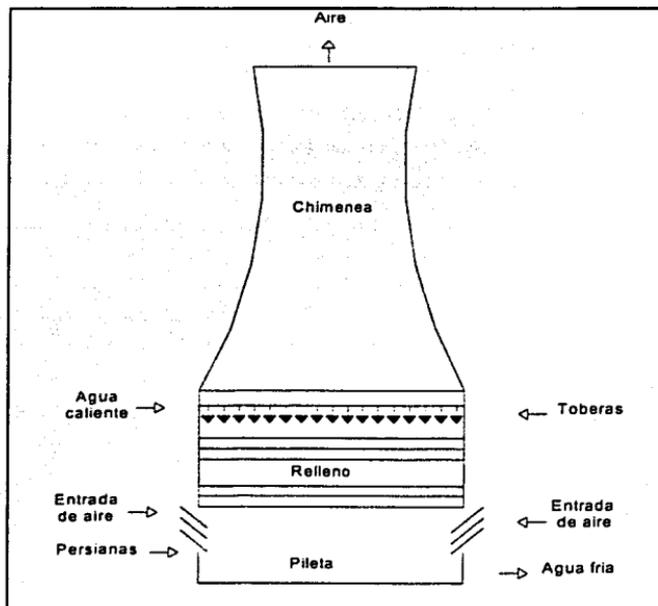


Figura 2.2 Torre de enfriamiento de tiro hiperbólico.

Todo lo anterior nos lleva a determinar que las condiciones favorables para la instalación de la torre de tiro natural, deben ser las correspondientes a lugares donde la temperatura de bulbo húmedo sea baja y la humedad relativa sea alta, ya que esto da como resultado una diferencia de densidades alta, lo que viene a reducir la altura de la torre y por consecuencia su costo, de manera que la instalación de torres de este tipo, bajo las condiciones climatológicas mencionadas, da como resultado que los efectos de flujo natural estén acordes con la demanda de potencia.

### **2.3 Torre de enfriamiento mecánica de tiro forzado.**

Las torres de enfriamiento de agua por aire forzado son de dimensiones mas reducidas en comparación con las de circulación natural de aire y son bastantes versátiles debido al movimiento forzado de circulación del aire.

Las torres de aire forzado están dotadas de un ventilador con su eje horizontal en el lado de la torre al cual descarga el aire hacia atrás como se ve en la figura 2.3.

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

#### **• Características Principales**

- El equipo mecánico se encuentra situado cerca del suelo en unos niveles mínimos.
- Más eficiente que la corriente inducida ya que la presión de velocidad convertida a presión estática realiza un trabajo útil; además, el ventilador trabaja con aire frío de más densidad que en el caso de tiro inducido
- Los equipos mecánicos se encuentran situados en una corriente de aire relativamente seca y tiene un fácil acceso para el mantenimiento.

- El tamaño del ventilador esta limitado, con lo cual se necesita un gran numero de pequeños ventiladores, o mayores velocidades, comparado con una instalación de tiro inducido. Esto conduce a mayor nivel de ruido, aunque la torre proporcione cierta atenuación.
- Existen tendencias a la formación de hielo en los ventiladores durante épocas frías, con el consiguiente taponamiento de la entrada de aire.
- Algunos tipos presentan problemas de recirculación del aire usado hacia la zona de baja presión creada por el ventilador en la entrada de aire, especialmente cuando la velocidad de salida del aire es baja.

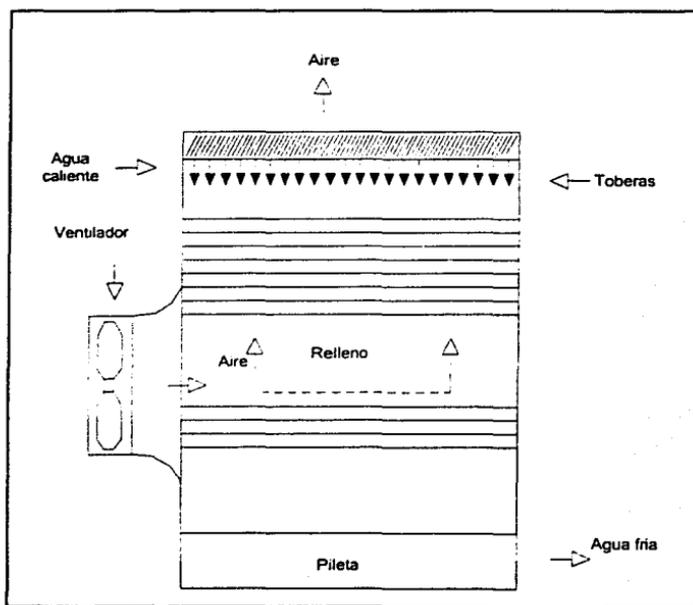


Figura 2.3 Torre mecánica de tiro forzado

Nota: Una torre de aire inducido es similar a otra de aire forzado con la sola diferencia de que en una se extrae el aire y en otra se impulsa a través de la superficie mojada.

## 2.4 Torres de enfriamiento de tiro inducido y flujo cruzado.

En Estados Unidos de América sobresale en la práctica la torre de tiro inducido. El ventilador está montado en la parte superior (descarga) de la celda con la consecuente mejora en la distribución del aire dentro de la celda; los eliminadores de acarreo reducen las necesidades de agua de reemplazo, las boquillas aspersoras, los tubos de bajada y las placas y barras difusoras aseguran una amplia superficie de evaporación para el agua, con coeficientes volumétricos máximos de transferencia de calor.

En la torre de tiro inducido de flujo cruzado el aire penetra por dos de los costados, cuyas persianas abarcan la totalidad de la superficie de este costado, como se muestra en la figura 2.4 de esta manera se logra que el aire penetre a la torre por todo el costado o pared, lográndose así emplear una gran cantidad de aire. Al pasar las persianas, el aire traspasa el relleno en sentido horizontal hasta llegar al centro de la torre. En este punto atraviesa los eliminadores de humedad, los cuales consisten en un conjunto de tabiillas paralelas e inclinadas, que se encuentran colocadas en doble capa. A continuación el aire inicia un movimiento ascendente, atraído por el ventilador, que se halla en la parte superior del hueco que forma en el centro de la torre. El cambio que experimenta la dirección del flujo del aire de 90°, razón por la cual se le da el nombre de flujo cruzado a este sistema.

### Características principales

- Es factible instalar grandes ventiladores, de tal forma que puedan mantenerse velocidades y niveles de ruidos bajos.
- El aire entra a una velocidad considerable, produciendo arrastrar consigo cuerpos extraños. Es posible instalar filtros de aire.
- No suelen presentarse problemas de recirculación debido a las altas velocidades de salida del aire.
- Tendencia a producirse vibraciones debido a que el ventilador se encuentra montado en una superestructura.

- Los elementos mecánicos no son fácilmente accesibles y se encuentran sumergido en una corriente de aire húmedo y caliente.
- Menos superficie ocupada que el sistema forzado, debido a la ausencia de ventiladores en los lados.

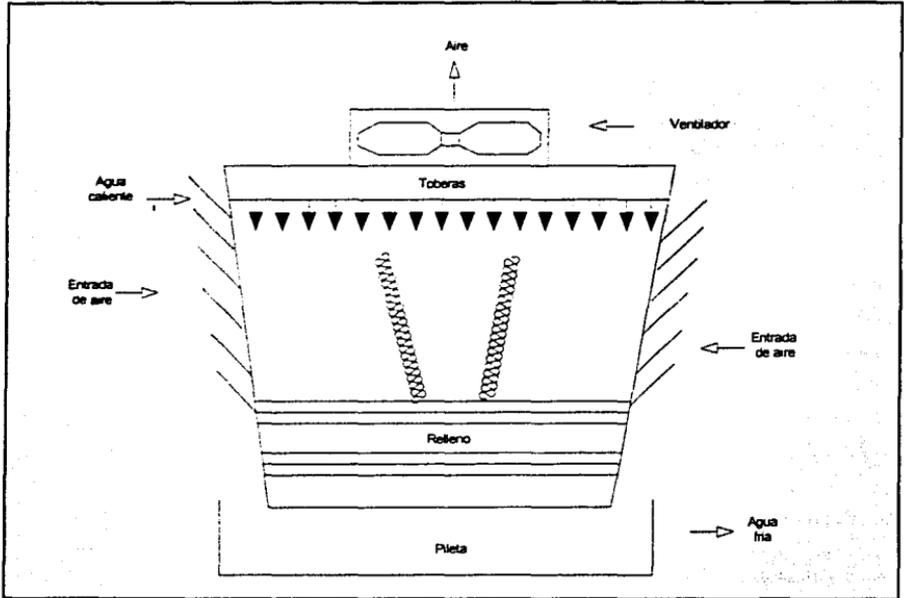


Figura 2.4 Torre de enfriamiento de tiro inducido flujo cruzado.

## 2.5 Autoclave.

Al efecto, materiales como el vidrio, su combinación con polímeros y plásticos especiales, los composites, las fibras de carbono y los materiales cerámicos, han dado un vuelco total en la construcción de equipos y de piezas fundamentales de los mismos. El tratamiento de ellos y su interacción de unos con otros, ha llevado a la necesidad de utilizar equipos con un nivel tecnológico impensable hace unos años. En la figura 2.5 se muestra la estructura de las autoclaves y en la figura 2.6 se representa el trabajo de la misma.

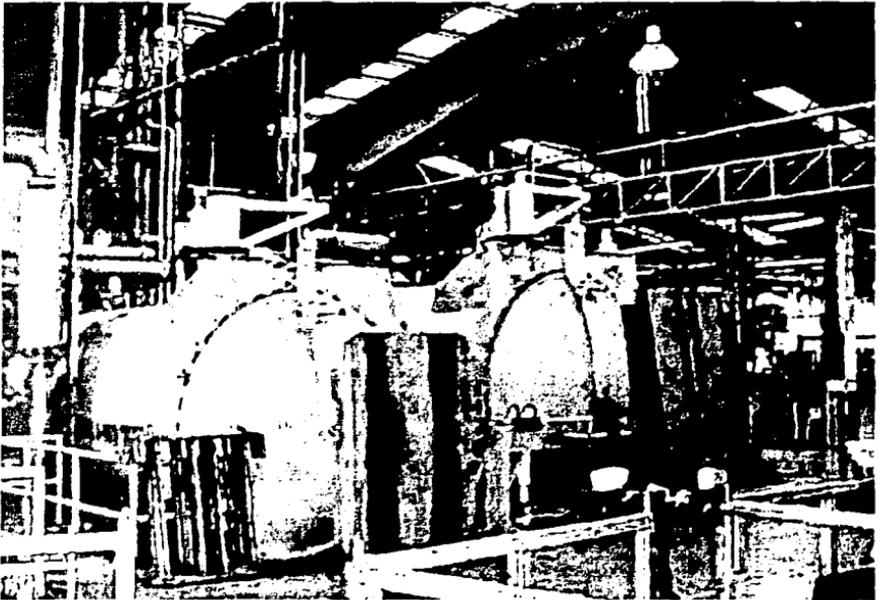


Figura 2.5 Estructura de autoclave en la planta industrial.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La consolidación de los compuestos mencionados, dependiendo de cada caso y cada tipo de industria, se consigue mediante aire que es calentado en el interior del equipo mediante resistencias eléctricas o bien mediante vapor o fluidos térmico a través de intercambiadores. Un potente electro-ventilador se encarga de poner en movimiento el aire interior haciendo que la circulación forzada permita obtener valores de temperatura en el interior del equipo con variaciones mínimas entre unos puntos y otros.

El proceso de enfriamiento se consigue haciendo circular agua fría o refrigerantes a través de intercambiadores que diseñados al efecto permiten mediante circulación forzada del aire entre sus placas, disminuir la temperatura interior del equipo hasta los valores deseados.

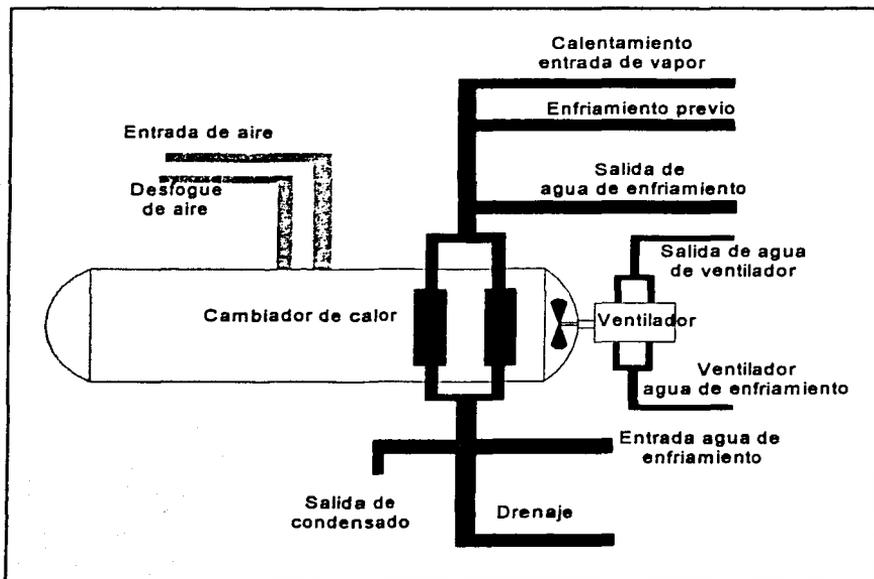


Figura 2.6 Representación del funcionamiento de autoclave.

## CAPITULO III

COMPONENTES PRINCIPALES EN TORRES DE ENFRIAMIENTO y  
AUTOCLAVES

En el capítulo dos se conocieron las partes principales que componen a la torre de enfriamiento, en el presente capítulo se describen y se indican, cual es el funcionamiento y propósito de cada uno de estos componentes.

**3.1 Tipos de rellenos.**

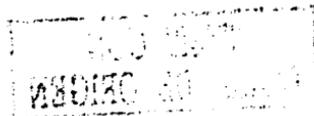
Dentro de la torre de enfriamiento existe un elemento llamado empaque o relleno, el cual es una estructura que se encuentra en el interior de la torre y puede ser metálica, plástica o de madera. Su función es obligar a que el agua que cae en forma de gotas permanezca la mayor cantidad de tiempo dentro del cuerpo de la torre, a fin de garantizar una buena transferencia de calor. También ayuda a que el flujo de aire se distribuya uniformemente en el interior del cuerpo.

Las torres pueden venir de una, dos, o tres celdas, según sea la necesidad de disipar calor del cliente, o para la programación del mantenimiento de las mismas, ya que, cada celda cuenta con un equipo motor-ventilador, cada una de ellas puede operar en forma independiente.

En la figura 3 1 que es un corte transversal de una torre de tiro inducido en ella se muestran sus partes principales.

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

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



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

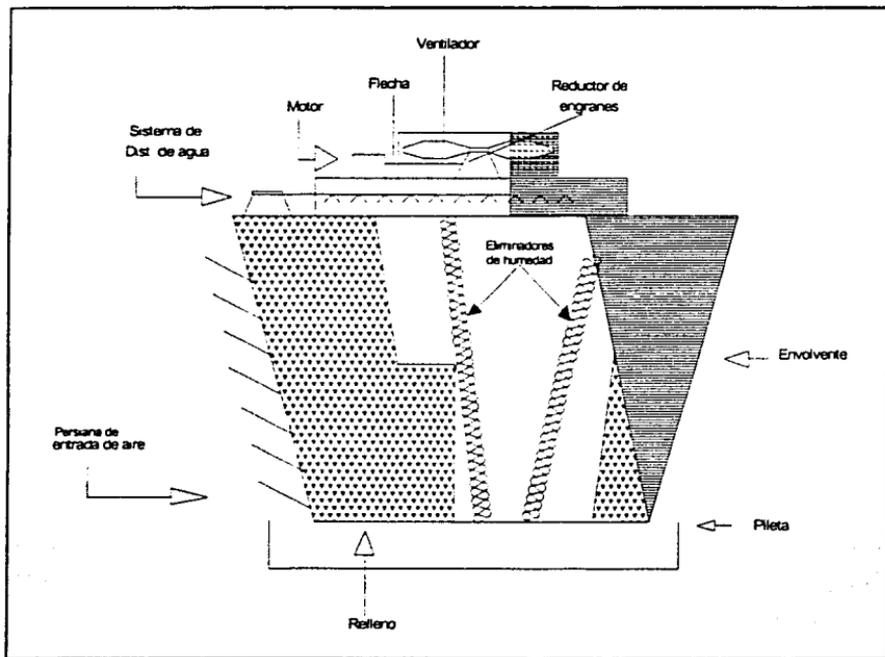


Figura 3.1 Corte transversal de torre de enfriamiento de tiro inducido.

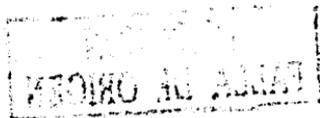
Las características citadas son opuestas, ya que en general puede decirse que para tener un coeficiente de transferencia de calor elevado, la resistencia también es elevada, por lo que hay que hacer balances entre estas dos características para hacer que el relleno sea el más adecuado.

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

- Tener la suficiente resistencia mecánica para soportar las cargas a que están sujetos. Estas cargas son:
  - Carga de impacto en los rellenos de salpicadura, debido al golpe continuo de las gotas de agua que caen en los elementos.
  - Peso del agua que permanece continua y momentáneamente en los elementos.
  - El peso propio de los elementos.
  - Ser resistentes a las acciones erosivas del agua y aire.
  - No deformarse o deformarse lo menos posible, para las condiciones de operación a que están sujetas, como alta temperatura y humedecimiento.
  - Deben resistir el ataque químico o biológico del aire y agua que circulan en la torre.

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

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



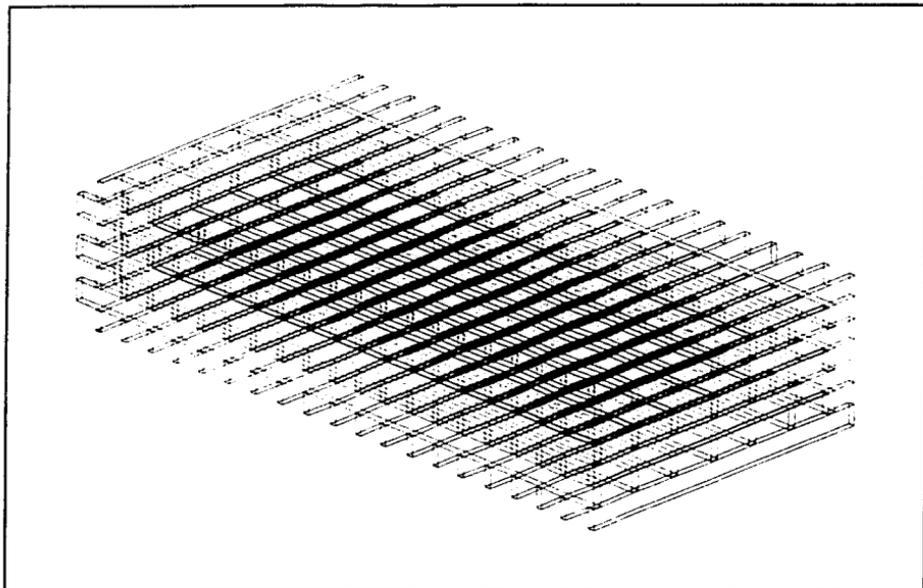


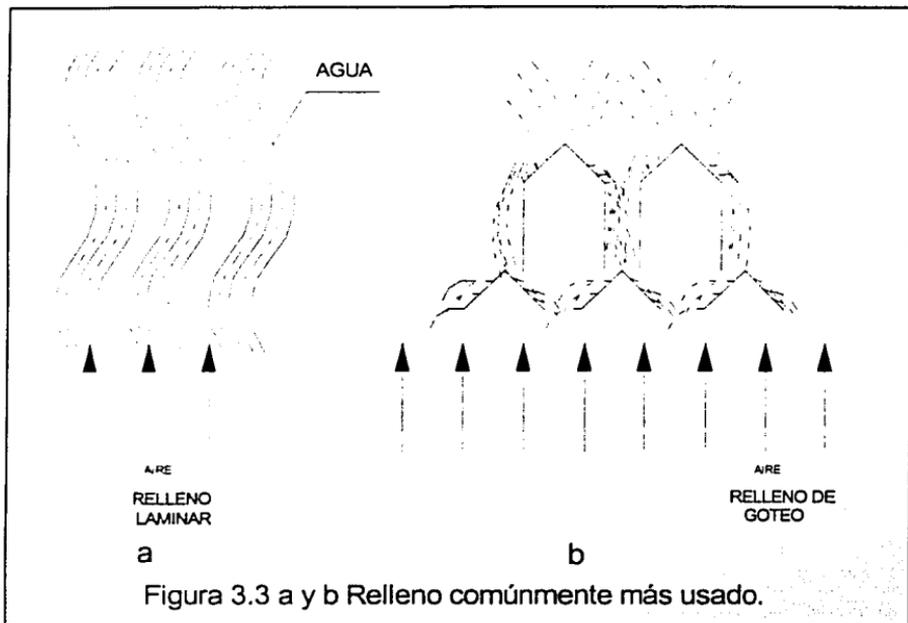
Figura 3.2 Relleno tipo salpicadura

- **Relleno tipo película o laminar**

Este tipo de relleno proporciona una mayor capacidad de enfriamiento, para un mismo espacio ocupado, que el de goteo, por lo que se ha impuesto progresivamente.

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

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



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

Su principal ventaja es que, al no existir gotas, las pérdidas por arrastre se reducen en gran proporción, por lo cual pueden darse velocidades altas de aire, disminuyendo paralelamente la altura del relleno y con ello, la de bombeo. Esto conduce a menores costo de operación.

El principal inconveniente de los rellenos laminares es su tendencia a acumular depósitos y suciedad entre las placas paralelas y a las muy próximas que lo constituyen. Este fenómeno conduce a obstrucciones parciales y a la formación de canales preferenciales por los que discurre el agua, rompiendo la homogeneidad de la película. Para evitar estos riesgos se recurre generalmente a la disposición de los paquetes en pisos superpuestos, con diferente orientación de las ondas en cada uno.

- **Separadores de gotas**

La misión principal de este componente consiste en retener las pequeñas gotas arrastradas por el aire que abandonan la torre. Básicamente todos los eliminadores actúan provocando bruscos cambios de dirección en la corriente de aire. La fuerza centrífuga resultante separa las gotas, depositándolas en la superficie del eliminador, para caer posteriormente sobre el relleno. Esta actuación proporciona tres efectos positivos: disminuye las pérdidas de agua, evita posibles daños a equipos adyacentes a la torre y limita la formación de niebla.

Un efecto secundario es la formación del flujo de aire a través del relleno, como resultado de la presión creada en el espacio que hay entre los eliminadores y los ventiladores debido a la oposición que representa al libre paso del aire.

Los rellenos pueden ser con separadores y sin separadores

**Con separador de gotas:** Especialmente diseñado para torres de corriente cruzada, su ventaja principal es la incorporación en una sola pieza del separador de gotas y el panel de relleno que facilita su instalación en las torres a las cuales se les cambia el tipo de relleno.

**Sin separador de gotas:** Es el complemento de la figura 3.4 para las torres, que por sus dimensiones no les alcanza con un solo panel para cubrir el ancho del relleno.

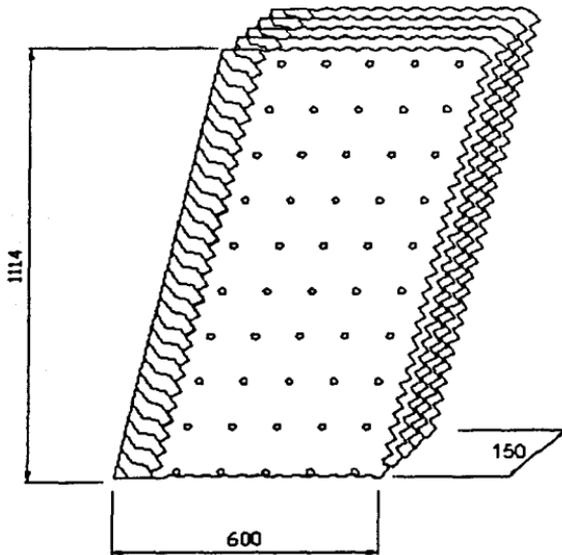


Figura 3.4 Relleno con separador de gotas y dimensiones de  $113 \text{ m}^2 / \text{m}^3$  utilizados mas para torres de flujo cruzado.

### 3.2 Sistema de distribución de agua.

Existen dos tipos de sistema de distribución de agua el sistema tipo gravedad y sistema a presión. El sistema de gravedad se utiliza casi siempre con torres de flujo cruzado, mientras que en flujo a contracorriente se recurre generalmente a la distribución mediante presión.

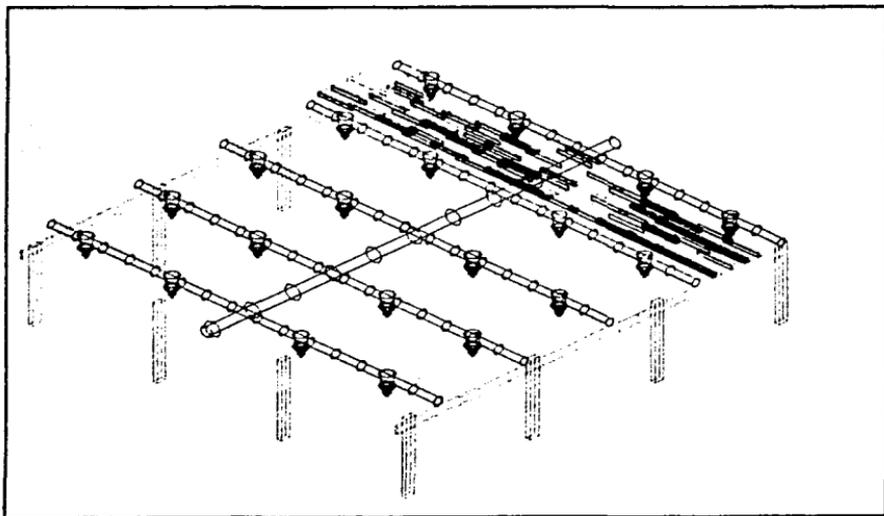
- Sistema de presión

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

El sistema de presión consiste en uno o varios cabezales, a los cuales están conectados ramales que se distribuyen en todo el relleno; en la parte inferior de los ramales que se distribuyen en todo el relleno; se encuentran boquillas por donde sale el agua a presión, en la figura 3.5 se indica una parte del sistema de este tipo. En algunas torres de tipo natural, las boquillas se colocan en la parte superior para hacer que el agua salga hacia arriba y recorra cierta distancia y de esta manera se realice ahí parte del enfriamiento.

El sistema de presión se emplea normalmente en torres de tiro mecánico las presiones a las que se encuentra el agua en el primer sistema, son del orden de  $0.07 \text{ kg/cm}^2$  (1psia). Y en el segundo orden  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  (7psia).

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



**Figura 3.5 Sistema de distribución de agua para torre de tiro mecánico.**

La distribución de agua es, mediante toberas construidas en polipropileno, resistente a la corrosión; de alta velocidad de pasaje, lo que las hace inobturables y autolimpiantes, de fácil desmontaje.

Estas **toberas** están montadas en los caños portatoberas, que se construyen con caño de hierro negro, Sch 40, galvanizado por inmersión en caliente, en diámetro 4".

Estas toberas están especialmente diseñadas para torres de corriente cruzada, están construidas en polipropileno figura 3.6. Distribuyen el agua a través de sucesivas salpicaduras en los platillos de la misma, vienen en distintos diámetros según el tamaño y la capacidad en  $m^3$ .



Figura 3.6 Tobera para distribución de agua.

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

- **Sistema de gravedad**

Los sistemas de gravedad consisten en una serie de canales distribuidos sobre el relleno o es un verdadero recipiente que ocupa toda la parte superior del relleno de la celda, que cuenta con orificios en el fondo por donde el agua sale y golpea contra los elementos de rellenos superiores. En la figura 3.7 se muestran sistemas de este tipo.

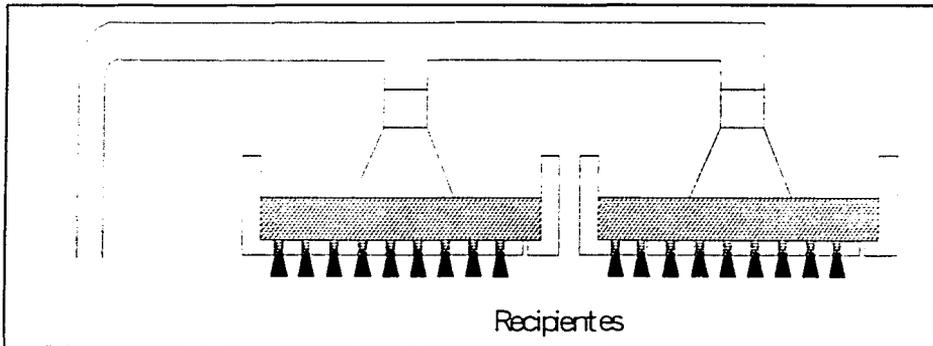


Figura 3.7 Sistema de distribución de agua a gravedad.

Para los rellenos del tipo de película, se emplea un sistema de distribución de canales como el de la figura 3.7. Como se puede observar en este caso, el agua escurre por ranuras hechas sobre el relleno.

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

- **Las ventajas de este tipo de sistemas son:**

- a) El agua se puede distribuir en una forma mas uniforme que el caso anterior.
- b) Los orificios pueden ser reparados fácilmente.

c) En el caso del tipo de recipiente, pueden repararse o limpiarse aun en operación, aislando únicamente la parte en donde se tenga el defecto.

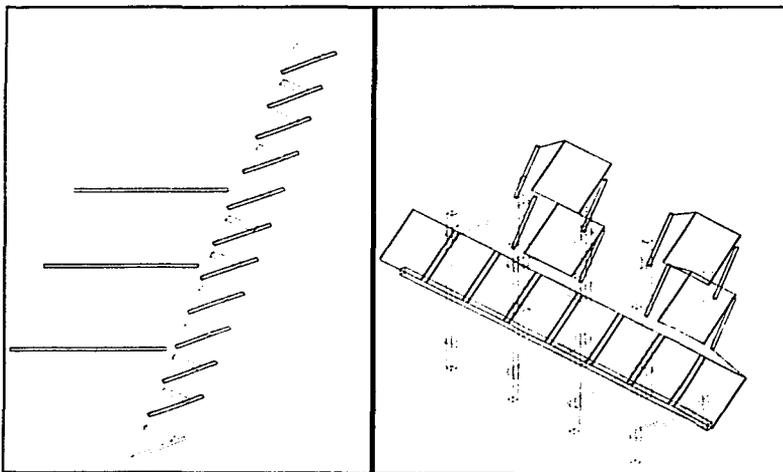
- **Las desventajas que presenta**

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

- **Persianas de entrada**

Las persianas de entrada o louvers, tiene por objetivo evitar las fugas de agua por las entradas y guiar de una manera eficiente y adecuada al flujo de aire que entra a la torre.

En la figura 3.8 se representan algunos ejemplos. La figura a) se tiene con una perspectiva lateral, mientras que la figura b) se ve por dentro de la torre.



a)

b)

Figura 3.8 a) y b) persianas o louvers para torre de flujo cruzado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

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

### 3.3. Eliminadores de humedad.

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

Los eliminadores se clasifican como eliminadores de uno, dos o tres pasos, dependiendo del número de cambios de dirección, que sufra el aire. En la figura 3.9 se muestran algunos tipos de eliminadores; con los eliminadores se logra que el arrastre llegue a valores inferiores del 1% del agua enfriada.

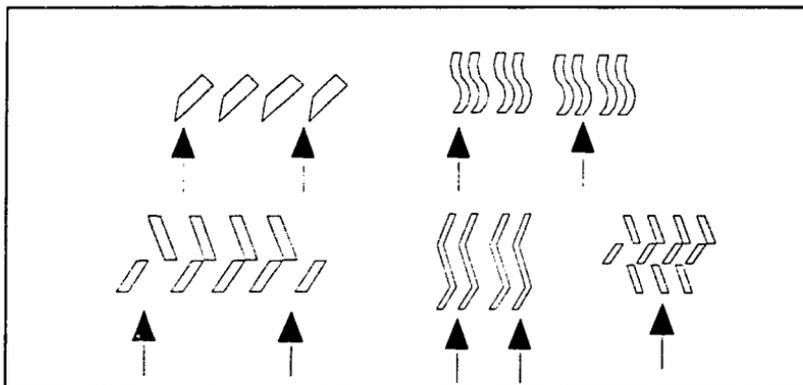


Figura 3.9 Eliminadores de humedad

Puesto que los eliminadores están sujetos a una atmósfera altamente corrosiva y erosiva, los materiales de los elementos deben soportar estas condiciones. Los materiales mas utilizables para esos elementos son la madera tratada y laminas de asbesto.

### 3.4 Ventiladores.

Existen dos tipos fundamentales de ventiladores: axiales, en los que el aire mantiene la dirección del eje antes y después de su paso por el ventilador, y centrífugos, donde el aire descarga en dirección normal a la entrada.

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

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

Generalmente se procura tener el menor numero de celdas, por lo que se tiende a utilizar ventiladores de gran tamaño, pero los ventiladores que son utilizados en la mayor parte de la industria son de 96 plg a 120 plg (2.43 m a 3.00 m).

Las aspas del ventilador son de paso variable, fácilmente regulables a motor parado. El perfil de la pala, responde a una concepción de ultima generación en el empleo de perfiles supercríticos, obteniéndose un producto altamente confiable, que brinda la mejor relación eficiencia-consumo.

El numero de aspas varia de a cuerdo con el fabricante y con las condiciones que se encuentren. Los materiales mas comúnmente son los ya mencionados anteriormente como las aleaciones de aluminio fundido, de resina termoplástica por que son los que han dado mejores resultados.



En la figura 3.10 se muestran unas palas de tipo axial; palas de paso variable, fácilmente regulables a motor parado. El perfil de la pala, responde a una concepción de última generación en el empleo de perfiles supercríticos, obteniéndose un producto altamente confiable, que brinda la mejor relación eficiencia-consumo.



Figura 3.10 Palas de ventilador regulables.

Construidas en aluminio extrudado (ASYM 6063 T 6), confiriendo una gran homogeneidad estructural, baja masa inercial y muy alta resistencia a la rotura y fatiga, como así también a la corrosión y erosión en los mas variados ambientes. El centro de palas es de acero laminado y galvanizado. Bulonería grado 8.8 bicromatizada - construcción bajo normas UAPI 661 std. Los ventiladores se entregan balanceados estática y dinámicamente

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

Para calcular la potencia absorbida por el ventilador, se tiene que tomar lectura del amperaje, voltaje y los Hp en la placa del motor, así como las lecturas en operación normal. Substituyendo los valores de placa y las lecturas de las mediciones en la siguiente ecuación se obtendrá el valor BHP (potencial absorbido por el ventilador).

$$BHP = \frac{\text{lectura voltaje} \times \text{Lectura Amp}}{\text{Voltaje Placa} \times \text{Amp. Placa}} \times \text{HP Placa} \quad 3.4.1$$

Una vez obtenida la potencia absorbida por el ventilador se hace la comparación y si esta tiene una diferencia de mas de 5% es que las aspas este mal graduadas, para esto se tendrá que ajustar cada una de ellas, guiándonos con la tabla 3.1 con la cual se podrán ajustar las aspas correctamente siguiendo los siguientes pasos.

Tabla 3.1

Tabla guía para graduación de palas de ventilador

Diámetro del ventilador		Relación	
Pulg.	Cm	Variación de paso	Variación de la BHP
60	153	2.5	2.5
72	183	2.5	2.5
84	214	1.4	1.4
96	244	1.3	1.3
120	305	0.56	0.56
144	366	0.45	0.45
168	427	0.33	0.33

- 1.- Entrar en la tabla con el diámetro del ventilador correspondiente.
- 2.- Leer la correspondiente relación de la variación del paso a la de la B HP.
- 3.- Determinar la diferencia entre la BHP y la potencia (HP) contratada.
- 4.- Multiplicar la diferencia por la lectura de la relación.
- 5.- El resultado es el número de grados que será necesario cambiar al ángulo de paso de las aspas del ventilador.

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

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

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

### **3.5 Reductor de engranes.**

El arreglo del conjunto motor – flecha – ventilador como lo muestra la figura 3.10 es el arreglo típico de las torres de tiro inducido. Los motores eléctricos utilizados para mover los ventiladores en las torres de tiro mecánico deben operar en unas condiciones muy duras, ya que se encuentran expuestos a las inclemencias del tiempo, la atmósfera contaminada y la alta humedad, consecuencia del funcionamiento de la torre.

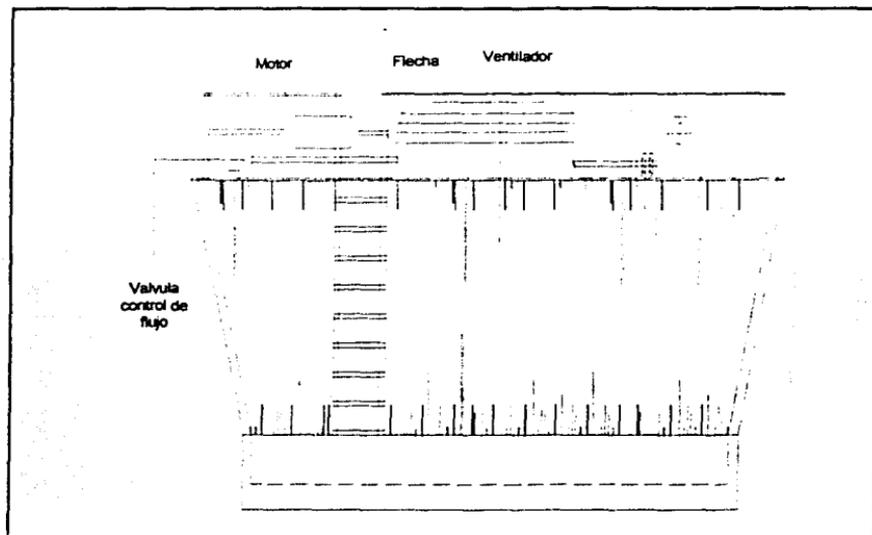


Figura 3.10 Arreglo de torre de tiro inducido flujo cruzado.

Los reductores de engranes de eje a  $90^\circ$  son los más comunes, estos reductores pueden ser de un paso, con corona y sin fin o engranes cónicos (piñón y corona) de dos pasos, con una combinación de engranes cónicos helicoidales. En la figura 3.11 se muestra un corte de un reductor de engranes de ventilador de una torre de mediana capacidad. La cubierta de los engranes son de alguna aleación de acero, como acero al cromo níquel molibdeno. La eficiencia obtenida con estos reductores es del orden de 90 a 95 %.

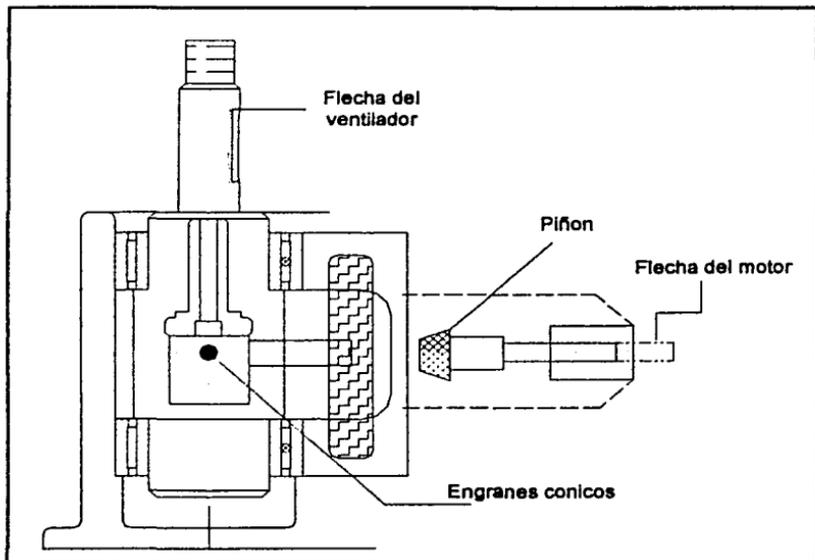


Figura 3.11 Reductor de engranes.

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

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

En la figura 3.12 se muestra un interruptor limite de vibraciones típico. Cuando las vibraciones son excesivas, la bola se cae de su soporte, desbalanceando la placa y por tanto operando el interruptor de presión, el cual esta conectado al circuito de disparo.

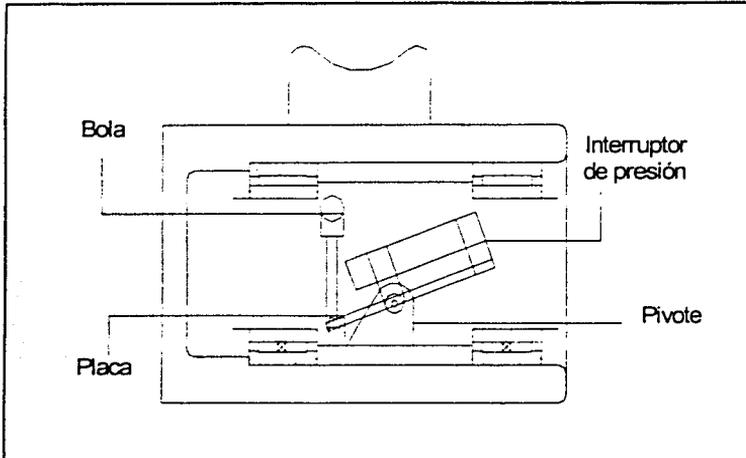


Figura3.12 Interruptor limite de torre de enfriamiento.

La colocación del motor fuera de la chimenea de la torre evita que el aire de refrigeración de la carcasa tenga un elevado contenido de humedad y además facilita el mantenimiento.

Los motores de dos velocidades son especialmente convenientes en el caso de que el periodo de operación se extienda a lo largo de todo el año o, en el caso de aire acondicionado, cuando existen problemas de niveles de ruido. Con este tipo de motores se puede reducir considerablemente la potencia consumida en periodos fríos o durante la noche.

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

### 3.6 Estructura, puntos de apoyo y pileta de torre de enfriamiento.

Las torres de madera están formadas por una serie de marcos con contravientos en ambas direcciones que le permiten tener un comportamiento satisfactorio ante cualquier tipo de acción.

Los marcos, a su vez, están formados por una serie de vigas y columnas de sección transversal relativamente pequeñas, por lo que en la mayor parte de los casos es necesario considerar el posible efecto de pandeo. Las uniones se hacen por medio de pernos, y se usan conectores y placas para cortante donde se considera necesario.

La estructura debe ser capaz de soportar el peso de los componentes básicos que gravitan sobre ella, tales como el equipo mecánico, el material de relleno y la cubierta, así como el peso del agua circulante y las cargas de viento o sismo que puedan presentarse.

En torres de tiro mecánico los materiales utilizados para las estructuras son, por orden de importancia: madera, concreto y acero estructural galvanizado. Las estructuras de madera como lo muestra la figura 3.13 deberán cumplir, condiciones señaladas en los códigos de CTI (Cooling Tower Institute), los herrajes para las conexiones deberán presentar características anticorrosivas, dependiendo de las propiedades físico – químicas del agua a enfriar.

Los elementos estructurales de madera de las torres de enfriamiento cumplirán con los requisitos establecidos en las **Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de construcción para el Distrito federal "Diseño y Construcción de Estructuras de Madera"** Su diseño se basará en la condición verde, es decir, con un contenido de humedad arriba del 18 % y se considerarán como esfuerzos permisibles los anotados en la tabla 3.2 que se presenta mas adelante.

Estas recomendaciones suponen el uso de pinus silvestris. Se pueden considerar otras especies de madera para la construcción de las torres de enfriamiento, pero es probable que se encuentren, la mayor parte de los casos, dificultades en el suministro, en el tratamiento con aditivos, o en el costo.

Toda la madera para las torres de enfriamiento será tratada usando sales de cobre / cromo / arsenico o alquitran de hulla creosotada, de acuerdo con los requisitos establecidos en los parrafos siguientes (a) y (b).

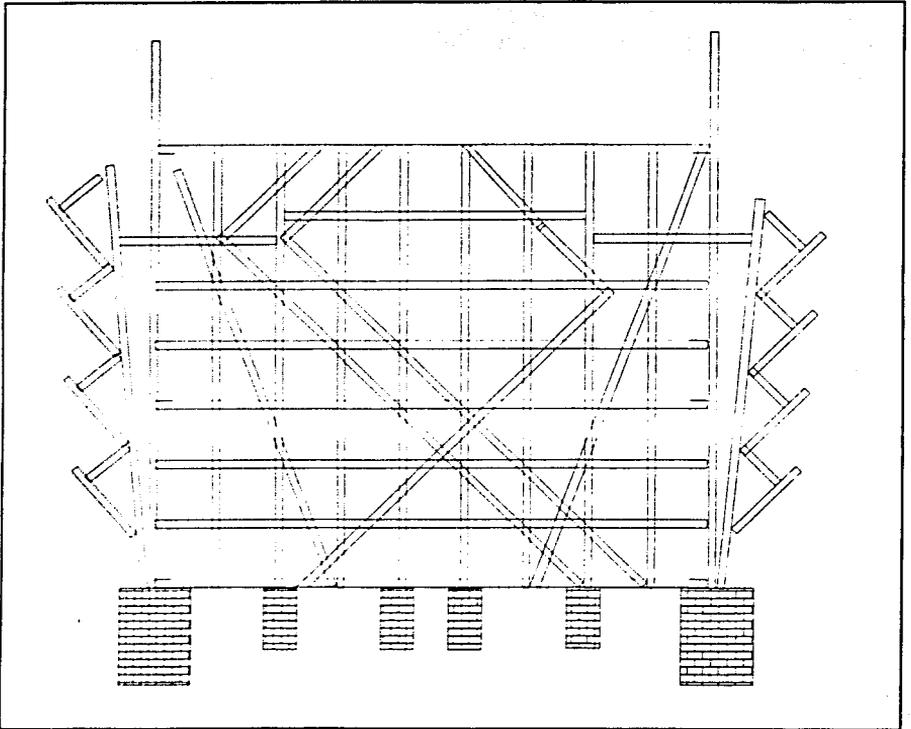


Figura 3.13 Estructura de torre de enfriamiento.

a) Preparación de la madera

El contenido de humedad de la madera, inmediatamente antes de la impregnación con el material de tratamiento, no excederá de 25% del peso seco. Será estivada de tal forma que pueda manejarse fácilmente y de manera que permita la impregnación de todas las caras planas.

Toda la madera deberá ser maquinada completamente y cortada al tamaño definitivo desde antes del tratamiento. Después de completado el tratamiento no se permitirá ningún aserrado o conformado.

b) Composición y propiedades de los preservativos.

Cuando se usan preservativos a base de cobre / cromo / arsénico, éstos deberán cumplir con los requisitos de la norma ASTM D 1625 "Standard specification for chromated copper arsenate" , u otra de prestigio reconocido.

Cuando se usan preservativos a base de alquitrán de hulla creosotada, éstos cumplirán con los requisitos de la norma ASTM D 139 "Standard specification for creosote – coal tar solution" , u otra de prestigio reconocido.

El anclaje al piso se hace normalmente en las columnas de la periferia exterior. La conexión entre los diferentes miembros se hace por medio de pernos y anillos de corte y algunas veces se utilizan placas. En la figura 3.14 se muestra detalles de conexiones de estructuras de madera típica de una torre.

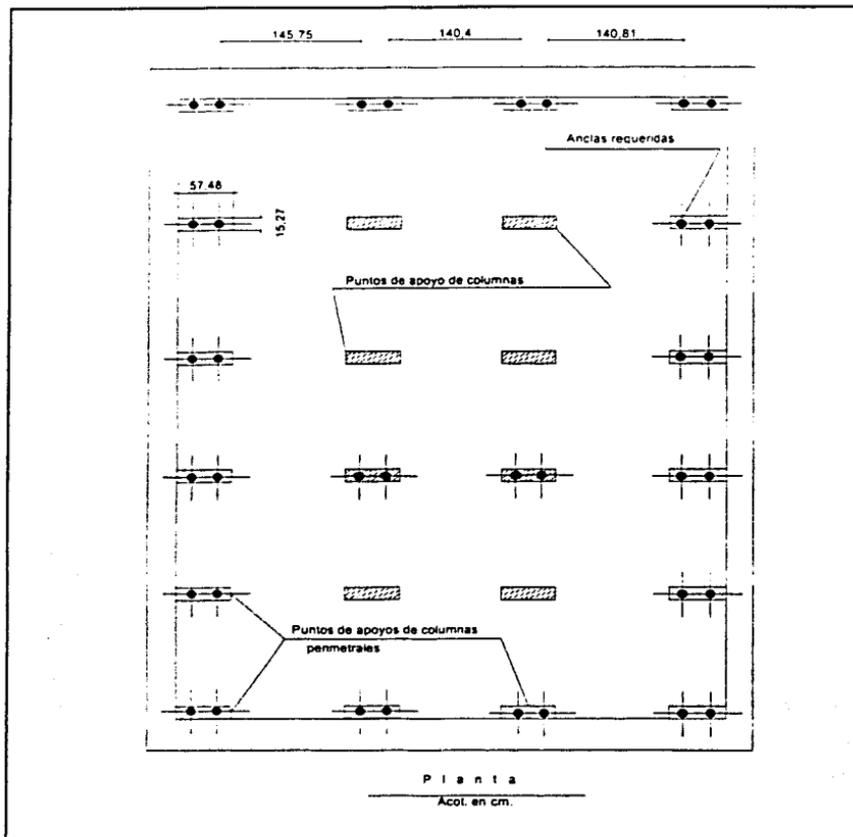


Figura 3.14 Conexiones y puntos de apoyo de torres de enfriamiento.

En la tabla 3.2 se muestra el esfuerzo permisible de algunos tipos de madera.

Tabla 3.2

**Esfuerzos permisibles en kg/cm<sup>2</sup>, condición verde.**

Solicitud	Clasificación de la madera			
	V-75	V-65	V-50	V-40
Flexión y tensión	80	70	50	40
Compresión paralela a la fibra	60	50	40	30
Compresión perpendicular a la fibra	12	12	11	11
Modulo de elasticidad (x10 <sup>3</sup> )Medi/mini	70/40	70/40	70/40	70/40

### PILETA O ESTANQUE

La pileta o estanque es donde se recolecta el agua enfriada por la torre figura 3.15, pero normalmente sirve también de cimienta para la estructura de toda la torre o cimienta de la estructura del relleno en torres de tiro natural, los cárcamos de succión de las bombas son una prolongación de la pileta, pero existe entre ellos, rejillas que impiden el paso de objetos extraños a las bombas.

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

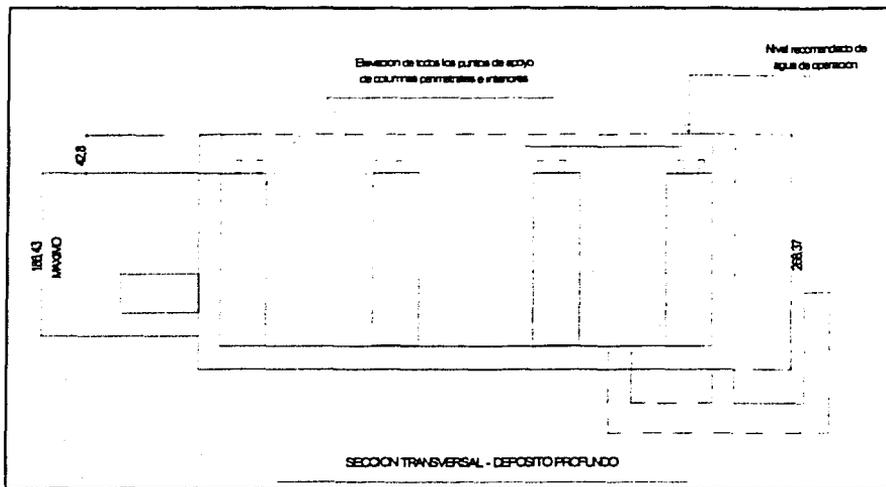


Figura 3.15

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

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

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.7 Autoclaves composición y dimensiones

Las autoclaves son calentadores que han venido evolucionando con el paso del tiempo hasta ser cada vez mas sofisticados y tener componentes de gran complejidad así como materiales los cuales son los mas adecuados para su alto rendimiento y obtener las condiciones de operación que se necesiten. Sus principales componentes del autoclave se muestran en la figura 3.16, y en la figura 3.17, se muestran sus dimensiones.

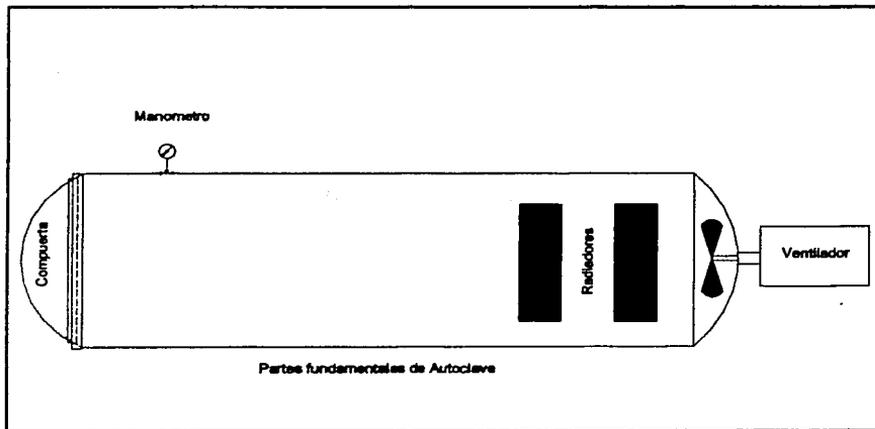


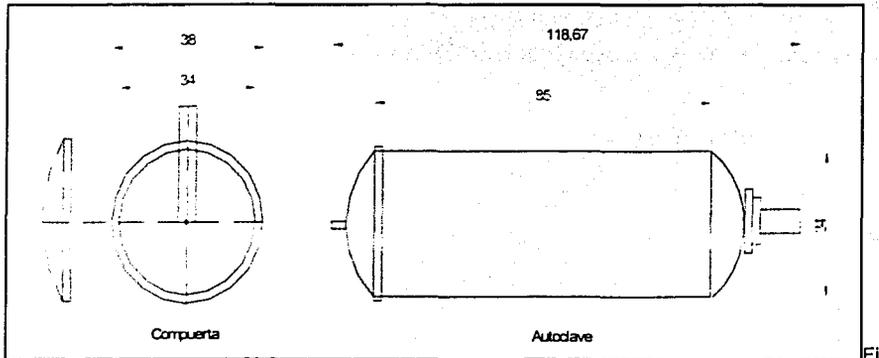
Figura 3.16 componentes de autoclave.

- Dimensiones

Las dimensiones del autoclave son de 3400 mm de diámetro x 8500mm de longitud útil, longitud total 11867 mm.

Presión de trabajo de 15.5 bar, temperatura de trabajo 155° C.

Marca SCHOLZ acero al carbón.



gura 3.17 Dimensiones de autoclave (acotación en cm).

- Ventilador

Ventilador axial directamente acoplado a motor.

El impulsor cuenta con un diámetro de 763 mm. Tipo 44940/54-6.

- Cambiador de calor

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## COMPONENTES PRINCIPALES DE T.E. Y AUTOCLAVE

Se cuenta con dos calentadores con una superficie de contacto de 215 m<sup>2</sup>, y maneja un volumen de 102 litros, con una presión de trabajo de 8 bar, la temperatura de trabajo es de 176° C para el lado vapor; y para el lado agua la presión máxima es de 6 bar, y la mínima es 3 bar, su temperatura de trabajo es de 25° C, contando con todos los componentes de acero al carbón.

- **Compuerta autoclave**

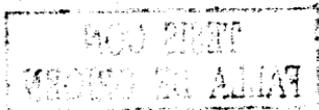
Acero al carbón con mecanismo de apertura y cierre hermético.

- **Motor P/ movimiento abatible**

Motor C.A. de 54 kw, marca SIEMENS, vertical 440 VCA, 3 fases , 60 HZ.

- **Motor cierre Hermético**

Motor de C.A. de kw marca SIEMENS , vertical 440 VCA, 3 fases 60 HZ.



## CAPITULO IV

## ANÁLISIS DE TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO MECÁNICO

## 4.1 Dimensiones de torre de enfriamiento.

Las torres de enfriamiento de tiro mecánico, como ya se mencionó antes, son torres que dependen de un ventilador ya sea a forma inducida o forma forzada. Estos ventiladores se pueden colocar a la salida o a la entrada respectivamente. Los ventiladores forman parte integral de la torre, así como, la parte fundamental del enfriamiento es el relleno ya antes mencionado.

Este capítulo tiene el propósito de analizar la torre de enfriamiento de tiro mecánico, sus dimensiones y capacidades, así como sus ventajas y desventajas para el sistema de autoclaves de la planta industrial. En este capítulo solo se estimaran los cálculos de la torre de flujo cruzado, los cálculos de la torre de contra flujo se harán con el mismo procedimiento, los resultados de estas torres se mostrarán al final de este capítulo haciendo una comparación de las mismas en tablas. Este diseño será planteado como lo indican las normas de Marley Corporation (Normas CTI 1981 y códigos ASME) bajo su propio criterio para este propósito ya que son experiencias reales con torres de este tipo.

• Forma y dimensiones de la torre de enfriamiento de tiro mecánico

En la figura 4.1 se muestran las dimensiones de la torre que están dadas por:

Ht = Altura total de la torre.

Hr = Altura del relleno.

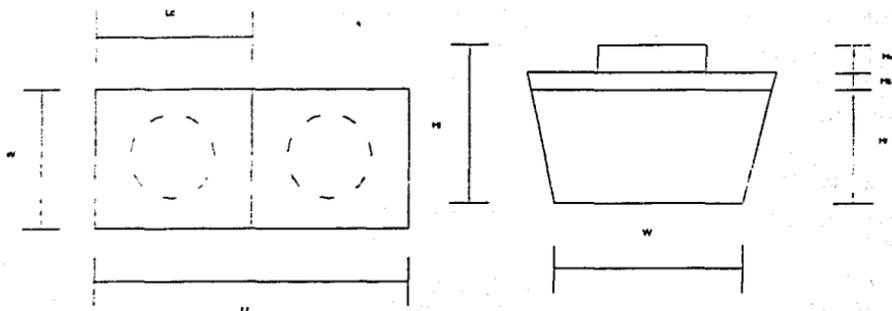


Figura 4.1 Dimensiones Torres a flujo cruzado

Hs = Altura del sistema de distribución de agua.

Hv = Altura del cubo del ventilador.

Lt = Longitud de la torre.

Lc = Longitud de la celda.

W = Ancho de torre.

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

4.2.1

En la tabla 4.1 muestra algunas de las características de las torres de tiro mecánico en partes de mayor importancia para su selección.

Tabla 4.1 Comparaciones de torres de tiro mecánico.

Ref: Pagina [www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx).

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 pre tratada	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		Se instalan verticalmente pueden ser de dos pasos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Ventajas y desventajas de torres de tiro mecánico**

- **Ventajas**

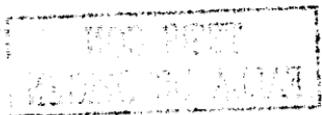
Las ventajas que se citan a continuación nos proporciona una mirada a lo que será la torre de enfriamiento en su operación.

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

- **Desventajas**

Las desventajas que se señalan a continuación se basan en la operación de las torres como se vio en las ventajas ya antes mencionadas, pero haciendo énfasis en al costo de operación.

1. Gran consumo de potencia para la operación de los ventiladores.
2. Sujeta a desperfectos mecánicos.
3. Presenta problemas de recirculación del aire.
4. Alto costo de mantenimiento.
5. Alto costo de operación.



## 4.2 Método de calculo.

- Rango y Aproximación de enfriamiento

Para empezar con los métodos de calculo inicia por determinar las variables de la torre de enfriamiento que son de mayor importancia en su selección, nuestras variables son: Tbh, Tbs, Rango y Aproximación así como sus respectivas temperaturas de entrada y salida de condensado en la autoclave. Los datos para definir estas variables fueron indicados por el estudio climatológico llevado a cabo en la zona industrial, tomando en cuenta que estos datos se toman de otros proyectos para quedar de la siguiente manera:

Donde: Ts = Temp. de saturación en condensador a una presión de 1.75 plg HG.

Considerando nuestra aproximación de 10° F definida en otros proyectos.

$$T2 = \text{Aprox} + Tbh1 = 63 + 10 = 73 \text{ } ^\circ\text{F} \quad 4.2.2$$

$$T1 = Ts - \text{Aprox} = 105 - 10 = 95 \text{ } ^\circ\text{F} \quad 4.2.3$$

Tabla 4.2 Estudio Climatológico  
(Resultado estudio climatológico proyectos anteriores)

Edo. de México	Tbh	Tbs
Temp en °F	63	86

Entonces nuestro rango y aproximación tomando datos de otros proyectos será:

$$\text{Rango} = (T_{ac} - T_{af})$$

$$\text{Aprox} = (T_{af} - T_{bh})$$

$$\text{Rango} = (95 - 77) = 18 \text{ } ^\circ F = 10 \text{ } ^\circ C \quad 4.2.4$$

$$\text{Aprox} = (77 - 63) = 14 \text{ } ^\circ F = 8 \text{ } ^\circ C \quad 4.2.5$$

Estos resultados se aplican mas adelante.

• Flujo de agua (WL)

Ahora calcularemos los GPM que utiliza el sistema de autoclaves. El sistema de autoclaves trabaja en dos ciclos, entre lo ciclos no hay una diferencia notable de tiempo. La temperatura de trabajo es de 150 ° C (302 ° F), la disminución de esta temperatura hasta los 25 +/- 5° C es en un tiempo total de 40 minutos, para el primer ciclo se disminuirá de 150 a 95 ° C y para el segundo ciclo de 105 a 25 ° C , en el primer ciclo reduce la temperatura 2° C/ min. y en el segundo 4° C/ min. Con esto podemos determinar el flujo de agua que se requiere en el sistema por parte de la torre, y tomando en cuenta datos de otros proyectos anteriores para este sistema, las operaciones resultan:

$$\begin{aligned} 75 \text{ gpm} & \dots\dots\dots 36 \text{ } ^\circ F \\ WL & \dots\dots\dots 131 \text{ } ^\circ F \end{aligned} \quad 4.2.6$$

$$WL_1 = \frac{(75)(131)}{36} = 272.91 \text{ gpm}$$

$$WL_2 = \frac{(75)(176)}{40} = 330 \text{ gpm}$$

$$WL_1 + WL_2 = 272 + 330 = 603 \text{ gpm}$$

Realizando conversión a  $lb/hr$  y  $lb/min$

$$(603 \frac{\text{gal}}{\text{min}})(8.33 \frac{\text{lb}}{\text{gal}})(60 \frac{\text{min}}{\text{hrs}}) = 301379.4 \frac{\text{lb}}{\text{hrs}} \quad 4.2.7$$

$$WL = 301379.4 \frac{\text{lb}}{\text{hrs}}$$

$$WL = 5022.99 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

- **Calor rechazado**

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

$$qr = LCp\Delta T$$

de la formula 14.1  $qr = LCp\Delta T$  y multiplicando ambos lados por el área nos queda:

$$QR = WLCp \cdot \Delta T$$

teniendo en cuenta que el valor de  $Cp = (0.998 \text{ BTU/lb} \cdot ^\circ \text{F})$  redondeando queda

$$CP = (1 \text{ BTU/lb} \cdot ^\circ \text{F})$$

$$QR = (30139 \cdot 4 \frac{lb}{hrs}) (1 \frac{BTU}{lb \text{ } ^\circ F}) (18 \text{ } ^\circ F)$$

$$QR = 5424829 \cdot 2 \frac{BTU}{hrs}$$

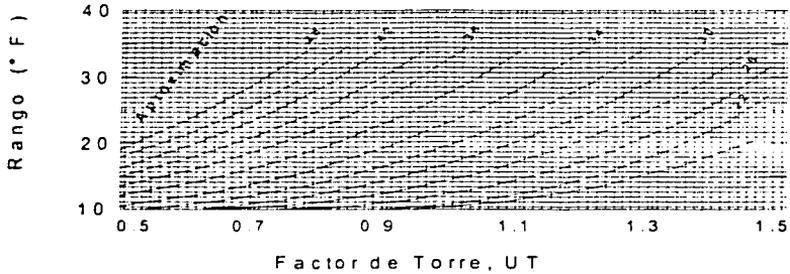
4.2.8

- **Factor de torre**

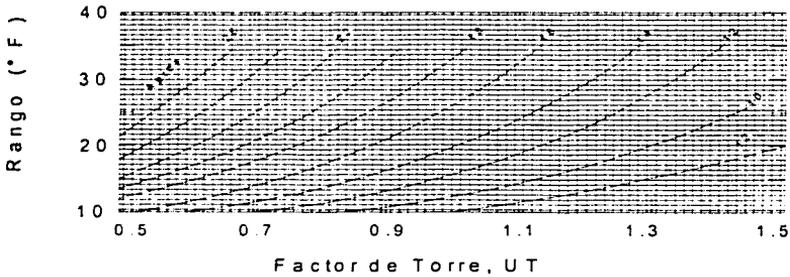
El factor de torre nos proporciona el número de unidades que necesitan ser disipadas del agua en circulación, el mismo estudio realizado por Merkel nos proporciona dicho número de unidades, con las gráficas propuestas, la ecuación de Merkel puede ser transformada en su forma abreviada quedando de la siguiente manera:

$$UT = (FT) (GMP)$$

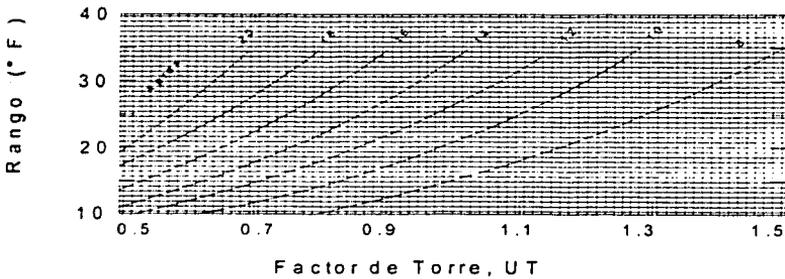
Donde **UT** representa el número de unidades de torre; **FT** es el factor de torre y corresponde al valor de la integral, y **GMP** es el flujo de agua en galones por minuto. Para obtener el factor de torre se manejan las gráficas de la figura 4.2 tomando en cuenta los valores del Rango, la aproximación y una determinada temperatura de bulbo húmedo. El factor de torre también puede ser determinado por medio de programas computacionales y proporcionarnos el número de unidades que se necesitan disipar, como también nos proporcionan el desarrollo de la torre mecánica y su eficiencia, sin embargo, en condiciones poco prácticas, son de mucha utilidad las gráficas que aquí se presentan.



(a) Temperatura de Bulbo humedo = 35 ° F



(b) Temperatura de Bulbo humedo = 70 ° F



(c) Temperatura de Bulbo humedo = 80 ° F

Figura 4.2 (a), (b) y (c) Factor de torre (UT)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Con graficas tenemos que el numero de unidades de torre es :

$$UT = 1.44 \times 603 = 868 \text{ ft}^2 \quad 4.2.9$$

- **Volumen de torre de flujo cruzado**

Para obtener el volumen de la torre de flujo cruzado se multiplica el UT por el numero de celdas que en este caso es 1 y se dividirá entre 0.7 porque la torre de flujo cruzado ocupa un 30% mas de volumen para conducir el aire, lo siguiente queda :

$$V = \frac{868}{0.7} = 1240 \text{ ft}^3 \quad 4.2.10$$

Para calcular la sección o área de la torre se presenta una grafica en la que se relaciona la torre de  $\text{ft}^2$  por cada gpm de circulación, con el rango, la aproximación y a temperatura de bulbo húmedo. En este tipo de torres se sabe que se tiene cargas hidráulicas pequeñas, no obstante las graficas son de gran ayuda como la que se muestra en la figura 4.3 que nos indica la sección de la torre.

Las curvas de carga o altura hidráulica media son para torres mecánicas de tiro inducido a flujo cruzado entre 25 y 28 ft de altura (líneas punteadas) y las curvas de altura hidráulica pequeña son para torres entre 21 y 24 ft de alto ( líneas continuas).

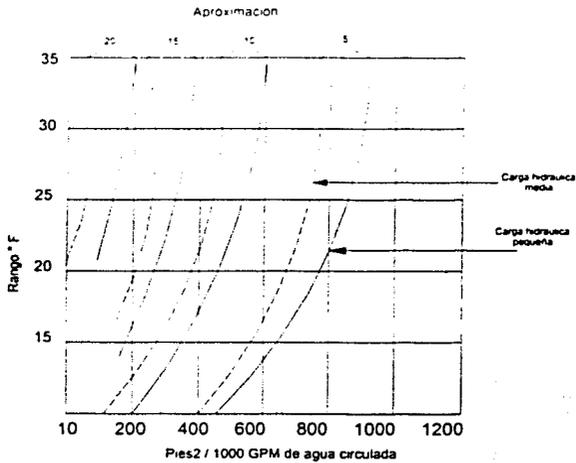


Figura 4.3 Sección de torre

se obtiene el valor de carga hidráulica pequeña de 200 ft<sup>2</sup>/1000 GPM.

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

$$WL = 603 \text{ GPM}$$

Se tiene:

$$\begin{array}{l} 200 \text{ ft}^2 \dots\dots\dots 1000 \text{ GPM} \\ A \quad \dots\dots\dots 603 \text{ GPM} \end{array}$$

donde :

$$A = \frac{(603)(200)}{1000} = 120.6 \text{ ft}^2$$

4.2.11

- **Altura de la torre**

Para obtener la altura de la torre tenemos de la formula 4.2.1 que:

$$H_t = H_r + H_s + H_v$$

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

$$H_r = \frac{1240 \text{ ft}^3}{120 \text{ ft}^2} = 10.33 \text{ ft} \quad 4.2.12$$

para  $H_t$  total se considera que la altura del sistema de distribución es de 1 ft (.3048 m) y la altura del cubo del ventilador es de 2 ft (.6096 m) y sumando 4.2.12 de 4.2.1 tenemos:

$$H_t = 10.33 \text{ ft} + 1 \text{ ft} + 2 \text{ ft} = 13.3 \text{ ft} \quad 4.2.13$$

- **Ancho y longitud de la torre**

De acuerdo con criterios establecidos por CTI, para torres de enfriamiento rectangulares tenemos que la longitud se puede obtener como:

$$L_t = \frac{\text{Sección de torre}}{5 \text{ ft}} \quad 4.2.14$$

$$L_t = \frac{120 \text{ ft}^2}{5 \text{ ft}}$$

$$L_t = 24 \text{ ft}$$

puesto que la torre se ha considerado de dos celdas la  $L_c$  queda:

$$L_c = \frac{L_t}{\text{No de celda}}$$

$$L_c = \frac{24 \text{ ft}}{2} = 12 \text{ ft}$$

4.2.15

- Flujo de aire

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Con el uso de la carta psicrométrica y las  $T_{bs1}$  y  $T_{bh1}$  tenemos como humedad relativa:

$$\phi = 30 \%$$

Anexo A1

- Temperatura del aire a la salida de la torre

Este valor se calcula considerando que el aire a la salida de la torre tiene una temperatura de:

$$T_{bh \ 2} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad 4.2.16$$

que es una de las suposiciones hechas que coinciden con datos reales. Considerando que el aire a la salida de la torre sale con una humedad del 80% tenemos que  $T_{bs2}$  y  $T_{bh2}$  son iguales y por lo tanto el aire a la salida de la torre será:

$$T_{bs \ 2} = T_{bh} = \frac{73 + 85}{2}$$

$$T_{bs \ 2} = 79 \text{ } ^\circ F$$

4.2.17

- Calor ganado por el aire

Para este calculo podemos decir que el calor que gana el aire es el que pierde el agua por lo que el agua pierde entonces:

$$Q_{\text{agua}} = L \times C_{p_{\text{agua}}} \times (T_{AC} - T_{AF})_{\text{agua}}$$

Donde:

L = flujo del agua

$C_{p_{\text{agua}}}$  = calor especifico del agua

$T_{AC}$  = temperatura de agua caliente del agua a la entrada

$T_{AF}$  = temperatura de agua fría del agua a la salida

$Q_{\text{agua}}$  = el calor que pierde el agua

$$Q_{\text{agua}} = 5022 \times (1) \times (95 - 77) = 90396 \frac{BTU}{\text{min}} \quad 4.2.18$$

Si nosotros mantenemos constante el flujo de aire y de agua, y considerando que los calores especificos del agua y del aire no varían en gran proporción y se pueden considerar constantes, entonces podemos decir que la diferencia de temperaturas del aire y del agua son directamente proporcionales.

Con la presión que existe en el lugar que es de  $11.31 \text{ lb / plg}^2$  y con la formula de la humedad especifica y sustituyendo la presión parcial del vapor de la formula de la humedad relativa tenemos:

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

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

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

$$W_s = \gamma_1 = \frac{(0.622)(\phi P_{sat})}{P - (\phi P_{sat})}$$

Para la entrada del aire tenemos:

$$T_{bs1} = 86^\circ F \quad P_{sat} = 0.910 \text{ lb / pulg}^2$$

$$W_s = \gamma_1 = \frac{(0.622)((.30)(.910))}{(11.31)(.30)(.910)} = 0.015 \text{ Lb } H_2O / \text{Lb aire seco} \quad 4.2.19$$

Para la salida del aire tenemos:

$$T_{bs2} = 95^\circ F \quad P_{sat} = 0.966 \text{ lb / pulg}^2$$

$$W_s = \gamma_2 = \frac{(0.622)(1)(.966)}{(11.31)(1)(.966)} = 0.054 \text{ Lb } H_2O / \text{Lb aire seco} \quad 4.2.20$$

El valor de la entalpía lo obtenemos con la formula:

$$HG = C_p T + \gamma hg$$

Para la entrada del aire tenemos que :

$$T_{bs1} = 86^\circ F \quad hg = 52 \text{ BTU / lb}$$

$$hG1 = (.240)(86) + (0.015)(52)$$

4.2.21

$$hG1 = 21.42 \text{ BTU / Lb}$$

Para la salida de aire :

$$T_{bs2} = 95^\circ F \quad hg = 64 \text{ BTU / lb}$$

$$hG2 = (.240)(95) + (0.054)(64)$$

4.2.22

$$hG2 = 26.25 \text{ BTU / Lb}$$

Una vez obtenidas las entalpías del aire a la entrada y a la salida de la torre se prosigue el calculo de las lb / min de aire que salen de la torre.

El uso de la figura 4.4 muestra prácticamente la entrada y salida del agua, la entrada y salida del aire, despreciando la  $E_c$  y la  $E_p$  de la primera ley de la termodinámica, podremos obtener un balance de masa con las entalpías calculadas.

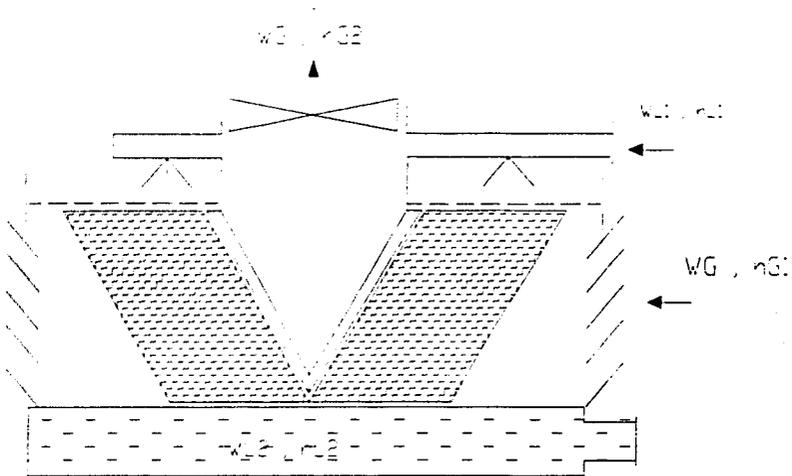


Figura 4.4

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Entonces se tiene que:

$$W_1 G_1 + W_L h_1 L_1 = W_2 G_2 + W_L h_2 L_2$$

Para tener un balance de masa se relaciona  $W_L 1$  y  $W_L 2$  obteniendo lo siguiente:

$$W_L 2 = W_L 1 - W_G (\gamma_2 - \gamma_1)$$

sustituimos en la primera ley de la termodinámica y se tiene:

$$W_1 G_1 + W_L h_1 L_1 = W_2 G_2 + [W_L 1 - W_G (\gamma_2 - \gamma_1)] h_2 L_2$$

sustituyendo  $h_1 = 64 \text{ BTU / lb}$  y  $h_2 = 36 \text{ BTU / lb}$  de acuerdo a las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  y también a los resultados anteriores, se tiene:

$$WG (21.42) + (5022)(64) = WG (26.25) + (5022)(36) - WG [(36)(0.054 - 0.015)]$$

$$21.42 WG + 321408 = 26.25 WG + 180792 - 1.40 WG$$

$$321408 - 180792 = 26.25WG - 21.42 - 1.40WG$$

$$WG = \frac{140616}{3.43}$$

$$WG = 40995.91 \text{ lb / min}$$

de tablas obtenemos nuestro volumen especifico y se tiene:

$$V = 13.60 \text{ ft}^3 / \text{lb aire seco}$$

Anexo A 2

- Flujo de aire a la salida de la torre

$$WG = (WG')(V)$$

4.2.24

$$WG = (40995.91)(13.60) = 557544.376 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

- Potencia en ventiladores

$$P = \frac{557544.376 \text{ ft}^3 / \text{min}}{27000 \text{ ft}^3 / \text{min HP}}$$

4.2.25

$$P = 20.64 \text{ HP}$$

- **Perdidas por evaporación**

Tomando en cuenta que las pérdidas por evaporación son del 2 % de WL tenemos :

$$W_e = (603) (0.02) = 12.06 \text{ GPM} \quad 4.2.26$$

- **Perdidas por arrastre**

Considerando que las pérdidas por arrastre son del 1 % de WL tenemos :

$$W_{arr} = (603) (0.01) = 6.03 \text{ GPM} \quad 4.2.27$$

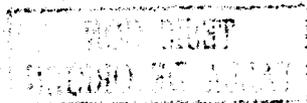
- **Agua de repuesto**

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

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

$$W_r = 12.06 + 6.03 \quad 4.2.28$$

$$W_r = 18.09 \text{ GPM}$$



- Eficiencia de torre

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_2 - T_{bh} - 1}$$

$$\eta = \frac{18}{85 - 63} \times 100$$

4.2.29

$$\eta = 81.81 \%$$

Tabla 4.3

Resultados Planta industrial

Flujo de agua 1500 GPM

T b s 86

T b h 63

Autoclave(Ps condens) 1.75 Pulg HG

Comparación de resultados en torres de tiro mecánico con las variables mas involucradas para la selección de torres de enfriamiento.

Variables	UT ft <sup>2</sup>	Vol. ft <sup>3</sup>	Area ft <sup>2</sup>	Torre Ht ft <sup>2</sup>	Torre Lt ft <sup>2</sup>	Q <sub>agua</sub> Btu/min 10 <sup>3</sup>	Q <sub>r</sub> Btu/hr 10 <sup>4</sup>	WG ft <sup>3</sup> /min 10 <sup>4</sup>	Pot. HP
Torre Flujo cruzado	868	1240	120.6	13.3	24	90.4	542.4	55.75	20
Torre Contra flujo	416	832	90	11.24	18	104.9	629.7	49.4	26

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO V

## SELECCIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

## 5.1 Descripción de la planta "CRINAMEX"

La planta Industrial "CRINAMEX" esta ubicada al noreste de la ciudad de México en el municipio de Ecatepec en el Estado de México con una altura sobre el nivel del mar de 2240 m, con una presión barométrica de 585 mm Hg (11.31 lb/pulg<sup>2</sup>), con una temperatura de bulbo seco de 30 ° C (86 ° F) y una temperatura de bulbo húmedo de 17.2 ° C ( 63 ° F) y una humedad relativa del 30%.

Esta compañía esta asociada al grupo Vitro el cual es uno de los principales proveedores de materia prima como de mano de obra.

En la planta Crinamex se elaboran parabrisas para automóviles. La elaboración de este se da mediante la aplicación de varios procesos representados en al figura 5.1. Los procesos que poseen en cierto modo un mayor grado de dificultad son, **el curvado en hornos, el ensamble y el cocido de PVB en el sistema de autoclaves.**

Las necesidades de agua helada se representan con el diagrama a observar, ya que, esta es una planta de considerables dimensiones y es por eso que el agua que se necesita no es solo para el sistema de autoclaves, sin embargo a este sistema se le otorga la prioridad.

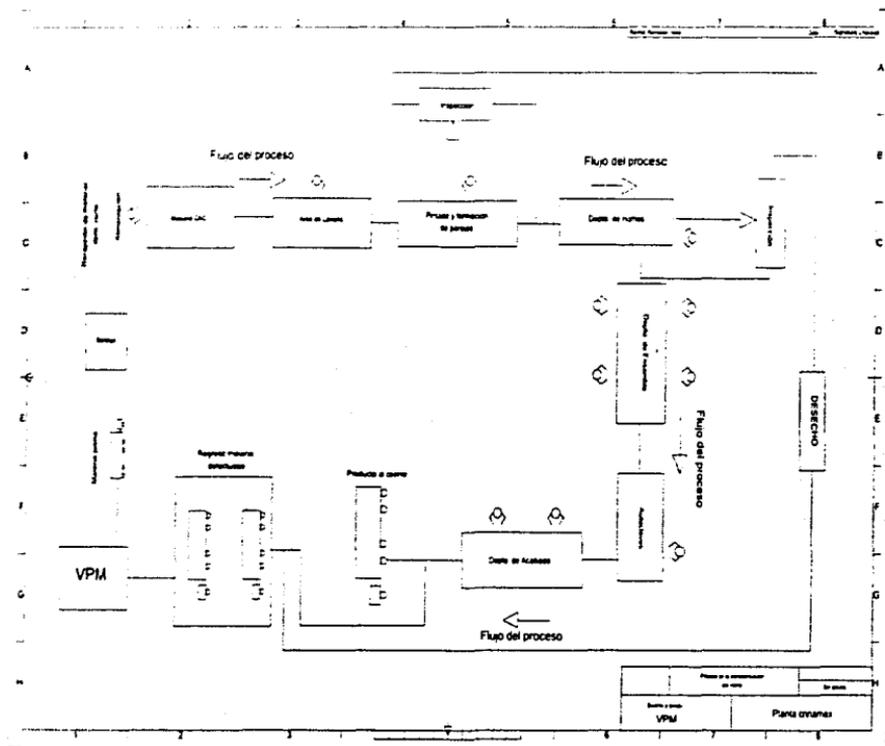


Figura 5.1 Proceso en la transformación del vidrio.

Para poder comprender el proceso de esta planta, iniciaremos con la llegada de la materia prima, la cual, se descarga de camiones en empaques de madera rectangulares provenientes directamente de vitro vidrio plano, el cual esta ubicado al noreste de la ciudad.

La materia prima es trasladada al departamento de corte figura 5.2 el cual lleva acabo el proceso con una maquina de control numérico (CNC) programada dependiendo el programa de producción que se asigne. Una vez programado el control numérico, se alimenta por una o dos personas para iniciar la operación

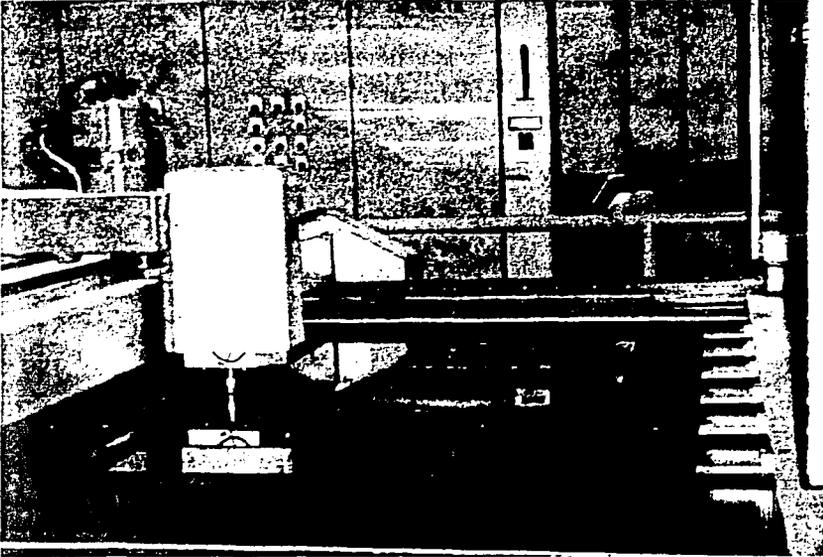


Figura 5.2 Maquina CNC de corte.

Pasando una vez por el departamento de corte, se manda directamente a un lavado normal en el cual se utiliza agua y jabón a temperatura ambiente, esto es, para obtener una hoja de vidrio lo mas limpia posible de cualquier suciedad que posiblemente se adquiriera durante el proceso.

Una vez terminada esta limpieza, se manda al departamento de pintura figura 5.3 donde se utiliza pintura especial hecha a base de las mismas propiedades del vidrio, esto es, para obtener las hojas del vidrio pintadas del contorno, mediante una serigrafía automatizada.



Figura 5.3 Departamento de pintura.

Terminado el proceso de pintura se hacen parejas de hojas de cristal y se manda al departamento de hornos para ser curvados dependiendo el programa del proceso.

Una vez en el departamento de hornos figura 5.4 se forman en racks especiales, la alimentación de los hornos se hace con dos o tres personas, una de ellas prepara el molde donde serán transportadas las hojas de cristal a través del horno, mientras que la otra transporta del rack al horno. las hojas de cristal pasando primero por una inspección en pantalla. La tercer persona hace relevo cada 30 min.



Figura 5.4 Alimentación en hornos continuos de curvado.

A la salida del horno se descargan con una temperatura aproximada de  $250^{\circ}\text{C}$  figura 5.5 en el transcurso de este horno se produce la transformación del vidrio con lo cual las dos hojas de vidrio deben tomar la forma curva del molde y salir estas dos hojas con las mismas curvaturas en toda su superficie.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

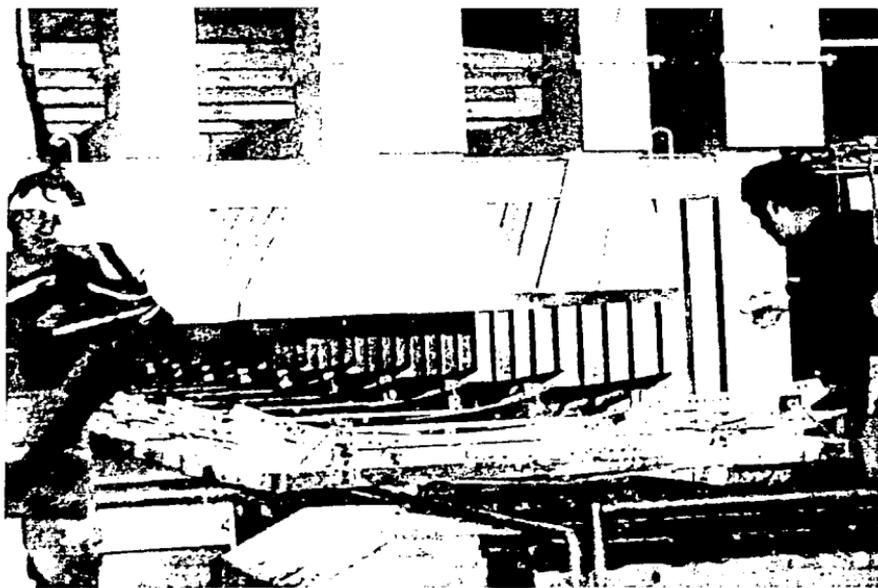


Figura 5.5 Descarga en hornos de curvado

una vez descargadas las hojas de vidrio ya curvadas, se introducen nuevamente en racks para ser transportadas al departamento de ensamble.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Cuando el parabrisas esta en el departamento de ensamble figura 5.6 el parabrisas se lamina con una hoja llamada PVB y se le añade temperatura para que se acople lo mejor posible.

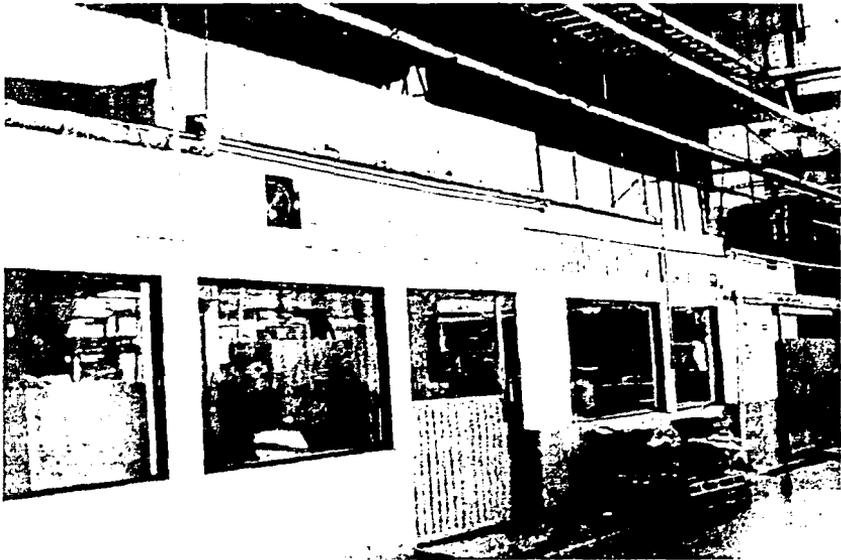


Figura 5.6 Departamento de ensamble y almacenamiento de PVB.

Esta hoja de PVB (polivinilbutiral) se almacena a temperaturas no mayores de 20°C.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Cuando el parabrisas es laminado se manda al sistema de autoclaves figura 5.7 para que el PVB sea cocido y el aire que queda dentro del parabrisas sea expulsado totalmente por la presión que se ejerce y la temperatura que se le añade.

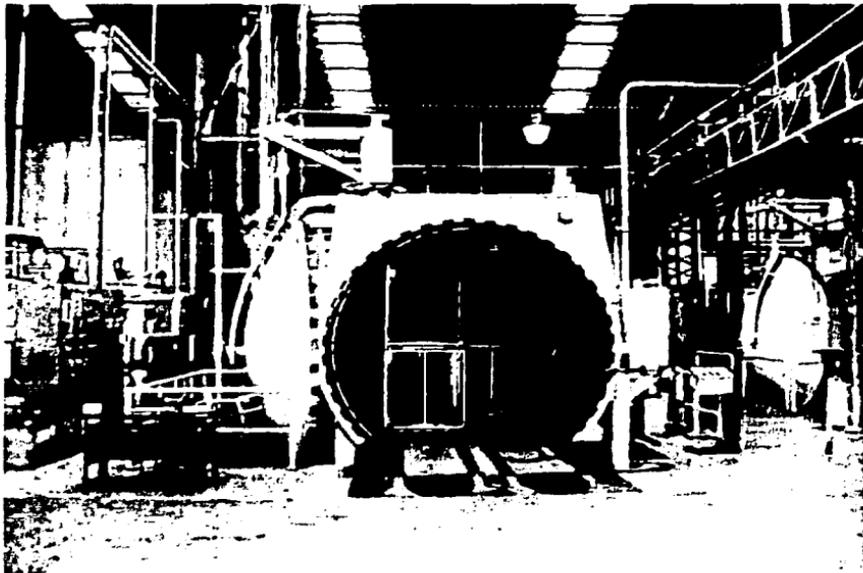


Figura 5.7 Sistema de autoclaves.

Con el termino de este proceso se proporciona una inspección a cada parabrisas y se manda al departamento de acabado en el cual se empaqua y se manda a la carga de camiones para ser llevado ante el cliente.

5.2 Selección de la torre de enfriamiento.

De acuerdo con el proceso industrial visto anteriormente, la capacidad del sistema de autoclaves, las necesidades de agua de enfriamiento de la planta y las condiciones climatológicas del lugar se selecciono una torre de madera de tiro inducido y doble flujo cruzado de acuerdo con el capítulo II, capítulo III y capítulo IV esta será la mas apropiada para poder satisfacer dichas necesidades industriales.

De acuerdo con lo antes mencionado nuestra torre de doble flujo tiene las siguientes características

1	Temperatura de bulbo seco .....	86° F
2	Temperatura de bulbo Húmedo .....	63 ° F
3	Aproximación .....	14 ° F
4	Rango .....	18 ° F
5	Temperatura de agua caliente (entrada) .....	95 ° F
6	Temperatura de agua fría (salida) .....	77° F
7	Flujo de circulación .....	1500 GPM
8	Calor disipado .....	5424829.2 BTU / hr
9	Volumen de relleno .....	1240 ft <sup>3</sup>
10	Temperatura del aire a la salida .....	79 ° F
11	Flujo total de aire .....	557544.37ft <sup>3</sup> / min
12	Perdidas por evaporación .....	12.06 GPM
13	Perdidas por arrastre .....	6.03 GPM
14	Eficiencia .....	81.81 %

Las dimensiones serán redondeadas para obtener dimensiones similares a las que proporciona el fabricante.

Dimensiones :

1	Ht .....	13.ft
2	Hr .....	10 ft
3	Lt .....	24 ft
4	W .....	13 ft

**SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO**

Tomando estas dimensiones y proporcionando estas al fabricante tenemos el resultado de la siguiente manera.

Dimensiones :

- 1. Ht .....13 ft
- 2. Hr .....12 ft
- 3. Lt .....25 ft
- 4. W .....16 ft

Que es uno de los modelos que el fabricante puede proporcionar de acuerdo a su tabla de especificaciones dimensionales tabla 5.2.1. Con el resultado de la torre de flujo simple se obtuvo el modelo 321 – 101, pero con la evaluación hecha por el fabricante y de acuerdo a las necesidades de la industria se comprendió el modelo 338 – 101 que es de doble flujo, en la figura 5.8, 5.9 y 5.10 se muestran las dimensiones de la torre de enfriamiento proporcionadas por MARLEY COOLIG TOWER CO.

**Dimensiones varios modelos torres de enfriamiento  
Industrial torres "MARMEX"**

DIMENSIONES TORRES DE ENFRIAMIENTO									
Modelo	A	B	C	D	E	F	G	H	J
321-101	11'-1 7/8	21'-5	10'-8 1/2	2	8'-0	8'-0	2'-11 5/8	72	8'-0 1/2
322-101	11'-1 7/8	21'-5	10'-8 1/2	2	8'-0	8'-0	2'-11 5/8	72	8'-0 1/2
323-101	12'-11 5/8	21'-5	10'-8 1/2	2	8'-0	8'-0	2'-11 5/8	72	6'-2 3/4
324-101	12'-11 5/8	21'-5	10'-8 1/2	2	8'-0	8'-0	2'-11 5/8	72	6'-2 3/4
325-101	11'-3 7/8	23'-5	11'-8 1/2	3	12'-0	12'-0	3'-1 5/8	96	8'-0 1/2
326-101	11'-3 7/8	23'-5	11'-8 1/2	3	12'-0	12'-0	3'-1 5/8	96	8'-0 1/2
327-101	13'-1 5/8	23'-5	11'-8 1/2	3	12'-0	12'-0	3'-1 5/8	96	6'-2 3/4
328-101	13'-1 5/8	23'-5	11'-8 1/2	3	12'-0	12'-0	3'-1 5/8	96	6'-2 3/4
329-101	11'-6 7/8	25'-5	12'-8 1/2	4	16'-0	16'-0	3'-4 5/8	120	8'-0 1/2
330-101	11'-6 7/8	25'-5	12'-8 1/2	4	16'-0	16'-0	3'-4 5/8	120	8'-0 1/2
331-101	13'-4 5/8	25'-5	12'-8 1/2	4	16'-0	16'-0	3'-4 5/8	120	6'-2 3/4
332-101	13'-4 5/8	25'-5	12'-8 1/2	4	16'-0	16'-0	3'-4 5/8	120	6'-2 3/4
333-101	11'-8 7/8	25'-5	12'-8 1/2	5	20'-0	20'-0	3'-4 5/8	120	8'-0 1/2
334-101	11'-6 7/8	25'-5	12'-8 1/2	5	20'-0	20'-0	3'-4 5/8	120	8'-0 1/2
335-101	13'-4 5/8	25'-5	12'-8 1/2	5	20'-0	20'-0	3'-4 5/8	120	6'-2 3/4
336-101	13'-4 5/8	25'-5	12'-8 1/2	5	20'-0	20'-0	3'-4 5/8	120	6'-2 3/4
337-101	13'-4 5/8	25'-5	12'-8 1/2	6	24'-0	24'-0	3'-4 5/8	120	6'-2 3/4
338-101	13'-4 5/8	25'-5	12'-8 1/2	6	24'-0	24'-0	3'-4 5/8	120	6'-2 3/4

Tabla 5.2.1 Dimensiones de torres de enfriamiento de acuerdo al fabricante.



Donde :

A = Altura de torre

B = Longitud de torre perimetral

C = Ancho sección

D = Numero de celdas

F = Ancho total

G = Altura cilindro de ventilador

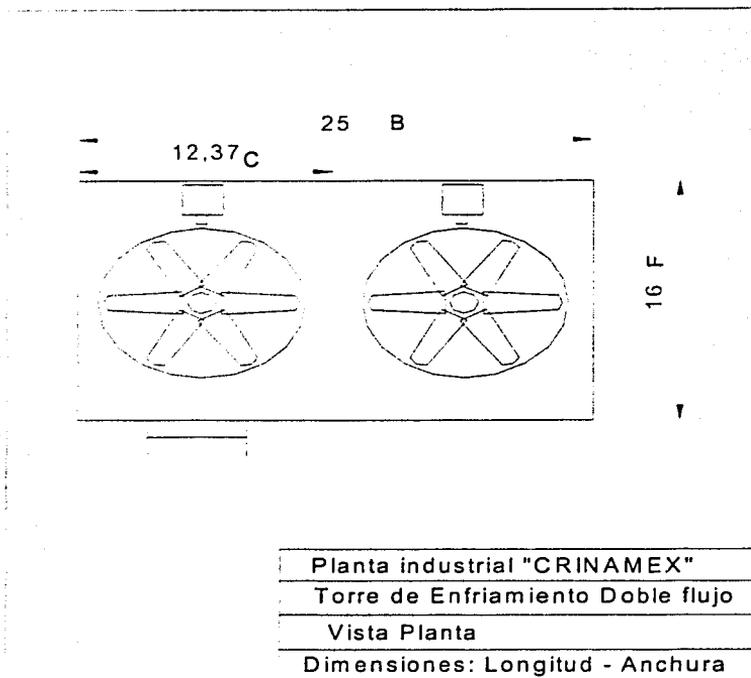


Figura 5.8 Vista planta de torre enfriamiento

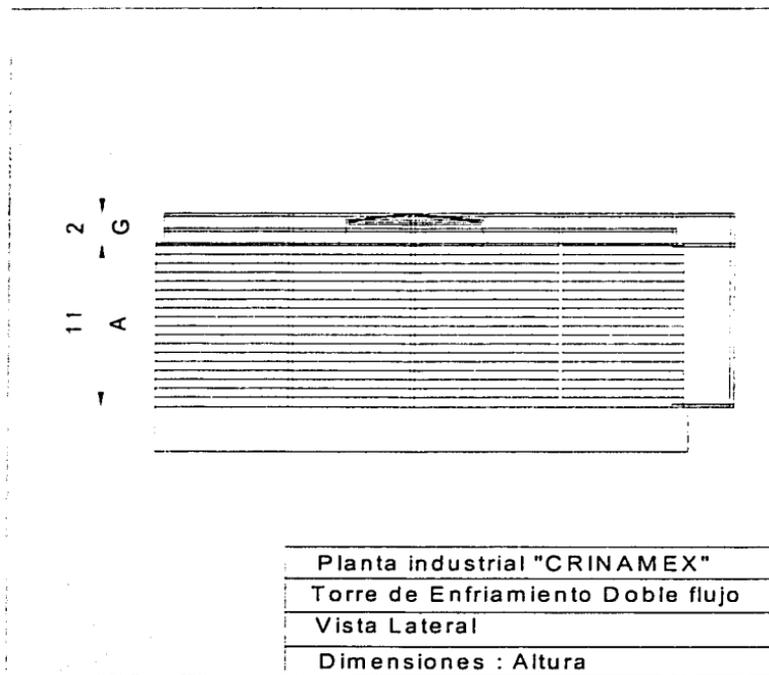
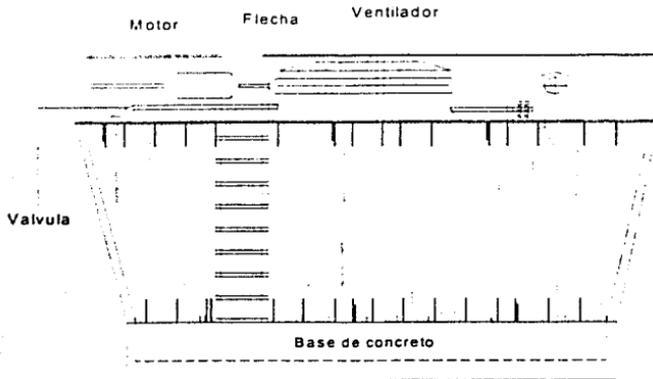


Figura 5.9 Vista lateral de torre de enfriamiento.



Planta industrial "CRINAMEX"  
 Torre de Enfriamiento Doble flujo  
 Vista Elevación  
 Modelo 338 - 101

Figura 5.10 Vista elevación torre de enfriamiento

Una vez observadas las características y dimensiones de la torre a seleccionar, y de acuerdo al fabricante proporcionando el modelo 338 - 101 los materiales de la torre que la comprenden serán los siguientes:

- Estructura : Madera de Pino Ponderosa tratada.
- Relleno : Tipo liminar PVC.
- Caja : Fibra de vidrio.
- Reductores : MARLEY (1) serie 22.2
- Flecha(s) : MARLEY (1) serie 6Q Clase I
- Ventilador(es) : MARLEY (1) H3 - 9 de 120 " de diámetro.
- Motor(es) : (1) de 20 HP T.C.C.V.E.
- Acceso superior: Escalera tipo marino.

## SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO

Considerando entonces las características de la torre, sus dimensiones y materiales, la torre que se muestra en la figura 5.11 es la torre que actualmente opera en la planta industrial "CRINAMEX" la cual se obtuvo gracias al análisis y selección propuesto anteriormente.



Figura 5.11 Torre de Enfriamiento de Doble flujo  
Planta Industrial "CRINAMEX"

### **5.3 Especificaciones de Materiales de la torre seleccionada.**

A continuación daremos las especificaciones de los materiales que conforman la torre de enfriamiento de doble flujo modelo 338 – 101 MARLEY COOLING TOWER CO.

- **Estructura de la torre**

Será diseñada y construida totalmente en madera tratada. La estructura de la torre será de madera tratada Douglas Fir, cumpliendo con todos los requerimientos del código CTI-STD-114 para la madera y del CTI WMS-112 para el tratamiento de la misma, así como lo indicado por la última revisión de la AWPA. La madera Douglas Fir será de clase No. 1 seleccionada de acuerdo al WCLIB. Los valores garantizados para el diseño de la estructura deberán ser los

indicados por el código CTI de referencia y con estos se preparará el diagrama de cargas. Toda la fabricación de la madera se realizará antes del tratamiento de la misma. Solo se permiten ajustes de campo mínimos, por ejemplo el ajuste de la base de las columnas debido a la pendiente del depósito de agua fría y estas partes serán tratadas en el sitio con solución tratadora por medio de una brocha. Las columnas ancladas deberán extenderse hasta el fondo del depósito de agua fría y su espaciamiento máximo será de 6 ft. El espaciamiento máximo de los travesaños ó fajillas en la plataforma de los ventiladores será de 2 ft. Las columnas tendrán una sección mínima de 4" o' 4" y las fajillas ó amarres de 2" o' 4". Todos los miembros estructurales estarán unidos por medio de conectores de fibra de vidrio especialmente diseñados para este servicio ó por conectores dentados de acero inoxidable tipo 304.

- **Plataforma de los ventiladores**

La plataforma de los ventiladores serán de madera machihembrada tratada y serán capaces de soportar una carga viva de 100 lb/ft<sup>2</sup>, arriba de la carga de operación normal. El espesor mínimo de la plataforma será de 1-1/2". Estará provista de barandales de protección con tablero intermedio, rodapié y también contará con un pasillo de operación a todo lo largo de la misma. Estará provista de barandales de protección con tablero intermedio, rodapié.

- **Escaleras**

La torre contará con dos escaleras localizadas en los extremos de la misma, de tipo con descansos, fabricada con madera tratada y también contará con tablero intermedio y rodapié.

Se requiere también escalera marina de acceso a la torre y escaleras para poder operar las válvulas de control de flujo en las cajas de salpiqueo.

- **Pasillos de acceso**

Deberá contar con un pasillo a todo lo largo de la cámara plena con barandales con tablero intermedio, rodapié y con pasillos de acceso al equipo mecánico, fabricados con madera tratada de la especificación ya indicada.

- **Depósito de agua caliente**

Será fabricado en madera tratada machihembrada de 1" de espesor mínimo y contará con orificios espaciados a 1 ft. Para insertar en ellos la boquilla rompedora de chorro del tipo y diámetro adecuados para el flujo manejado, con un tirante mínimo de 4" y si es necesario se deberá aumentar la altura de las paredes del depósito de agua caliente y se deberá rediseñar las cajas de salpiqueo para disminuir la velocidad de salida del agua y obtener en esta forma una distribución homogénea. Si aun fuera necesario se diseñara y construirá una caja de desborde alrededor de las cajas de salpiqueo.

- **Persianas y cubiertas laterales**

La torre estará provista de cubiertas laterales y persianas fabricadas con lamina de fibra de vidrio corrugada con retardador de flama é inhibidor de rayos ultravioleta, perfectamente traslapadas y selladas para evitar escurrimientos de agua hacia el exterior de la torre. El espesor mínimo de las laminas será el equivalente a 12 oz. Asegurando la máxima entrada de aire con la menor caída de presión.

- **Empaque ó Relleno**

El arreglo y tipo de relleno será tal que garantice las condiciones mínimas solicitadas en la sección de GARANTIAS. Se deberá considerar el suministro del sistema completo de relleno incluyendo, pero no limitando:

- El relleno será a base de perfiles de PVC. El arreglo del relleno será el mas adecuado para las condiciones de operación solicitadas.
- El material para extrusión del perfil será PVC rígido 100% virgen con inhibidor de rayos ultravioleta y siguiendo los lineamientos generales de la especificación ASTM D 1784, CLASE 1334 C.
- El material será extruido bajo condiciones de temperatura controlada para garantizar la forma del perfil y prevenir deformaciones.
- El perfil será del tipo "V" invertida, "T" ó "GULL" y será instalado paralelo al flujo del aire. Cualquiera que sea el tipo deberá contar con una costilla longitudinal que proporcione rigidez al perfil.

- El perfil estará soportado por mallas de acero inoxidable separadas cada 60 cm como máximo.
  - Las mallas contarán con separadores convenientemente distribuidos que garanticen la nivelación o separación horizontal indicada en el punto anterior.
  - El perfil tendrá un espesor promedio de 50 milésimas.
  - El material del perfil tendrá un rango de esparcimiento de flama 0-15 según el ASTM E 84 y ser auto extingible según el ASTM D 635.
  - El perfil estará asegurado a la malla por medio de un clip de servicio pesado de polipropileno de alto impacto según la especificación indicada en el punto 2.1.19 (no se aceptan clips tipo omega ó cinturones dentados de plástico).
- 
- **Mallas de soporte de relleno**

Las mallas de soporte de relleno serán de alambre de acero inoxidable tipo 304 de diámetro uniforme.

Las mallas serán fabricadas por electro-soldado en maquinaria automática para asegurar presión uniforme en todos los electrodos y la electro-fusión de los metales.

El calibre mínimo será 14 (0.082").

El alambre para su proceso estará libre de escamas, grasa, pintura, ó algún otro material extraño que puede interferir en el electro-soldado de los alambres.

Los alambres longitudinales y transversales estarán unidos a su intersección por maquinaria automática que asegure la unión por medio del principio de electro-fusión con presión.

El alambre de acero inoxidable tipo 304 tendrá una resistencia a la tensión mínima de 110 000 PSI

La malla ó cuadro será de las dimensiones que marque el arreglo resultante del diseño termodinámico.

## SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO

Tolerancias : Para asegurar la uniformidad en la instalación del relleno, las mallas tendrán las siguientes tolerancias:

8' - 0" ó menos +/- 1/8"

8' - 0" a 12'.0" +/- 1/4"

12' - 0" ó más +/- 3/8"

Transversal: Todos los anchos +/- 1/8" de esquina a esquina no más de 1"

Se deberá suministrar certificados de calidad del material usado en la fabricación de mallas.

Las mallas contarán con separadores convenientemente distribuidos, para garantizar la nivelación horizontal de las mismas.

La unión entre las mallas será por medio de un clip tipo "C" fabricado en fibra de vidrio del tipo "pultruded" ó de acero inoxidable tipo 304. Las mallas podrán soportarse también por secciones separadas, directamente en la estructura de concreto.

- **Separadores de niebla**

La cortina de salida del aire saturado estará completamente sellada por un sistema de eliminadores de niebla formados por:

- Las hojas de los eliminadores de niebla serán de PVC hueco denominado "ala de murciélago" con costillas de refuerzo para asegurar la rigidez de la hoja.
- Las hojas estarán instaladas en un separador lateral de PVC que asegura la separación de las hojas a un valor que no deberá de exceder 2" para garantizar un arrastre máximo de 0.008%.
- Los separadores deberán contar con drenaje que evite la acumulación de agua recolectada.
- Los paneles formados por los separadores y las hojas eliminadoras estarán sujetos a la estructura de concreto por medio de un soporte de acero inoxidable tipo 304, si fuera necesario, en cuando menos 4 puntos para asegurar la rigidez del panel completo.
- Todo el PVC será del tipo rígido con inhibidor de rayos ultravioleta y de acuerdo a los lineamientos generales de la especificación ASTM D 1784, Clase 13334 C.
- El material PVC será extruido bajo condiciones de temperatura controlada para evitar

deformaciones o torceduras del perfil.

- Los eliminadores tendrán un rango de esparcimiento de flama 0 -15 según especificación ASTM E 84 y será auto extingible según la especificación ASTM D 635.
- Los eliminadores estarán diseñados para un máximo de 2 cambios direccionales.
- Los eliminadores deberán proporcionar el máximo arrastre a la máxima velocidad del aire bajo condiciones de operación normales.
- Los sellos de aire estarán formados por eliminadores de niebla del tipo celular de manera que cubran perfectamente la cortina de aire saturado. Estos sellos estarán convenientemente sujetos a la estructura por medio de alambre de polipropileno o acero inoxidable.
- No se admiten eliminadores de hoja sencilla.
- En caso de usarse eliminadores de niebla del tipo celular estos serán de PVC y deberán garantizar un arrastre máximo de 0.002% para lo cual el concursante deberá proporcionar el método de prueba o información fehaciente de las pruebas realizadas que avalen el arrastre propuesto.
- Los paneles celulares están sujetos a la estructura de concreto por medio de soportes de acero inoxidable del tipo 304, en caso de ser necesario y el diseño deberá haber sido probado en otras torres para asegurar su estabilidad y garantizar el arrastre propuesto.
- El material utilizado será PVC rígido con inhibidor de rayos ultravioleta y de acuerdo a los lineamientos de la especificación ASTM D 1784 clase 13334 C.
- Tornillería y herrajería

Toda la tornillería usada en cualquier componente de la torre será de acero inoxidable series 300 para asegurar compatibilidad.

Los clavos serán de acero inoxidable tipo 304 de los llamados de potencia ó con ranurado espiral

Los conectores de las columnas al depósito de agua fría serán de acero inoxidable tipo 304.

- **Equipo mecánico**

### **Ventiladores**

Suministro de ventiladores axiales de alta eficiencia de aspas pre-balanceadas por momento.

- Los ventiladores serán del tipo axial, diseñados para operar en forma continua silenciosa, con paso de aspas ajustable y completo con aspas y maza común.
- El diámetro del ventilador será determinado por el diseñador y el número de aspas será el adecuado de acuerdo al diseño termodinámico de la torre y tomando en cuenta también el diseño estructural de la torre para evitar vibraciones innecesarias al pasar las aspas por los travesaños de la estructura.
- Aspas, fabricadas de poliéster reforzado con fibra de vidrio e individualmente balanceadas por momento con respecto al centro de gravedad para evitar el rebalaceo del ventilador en caso de requerirse el cambio de algún aspa dañada.
- La maza del ventilador estará formada de un centro fabricado en acero galvanizado y contará con un sistema de sujeción de las aspas así como un sello que evite una posible contra-presión disminuyendo la eficiencia del ventilador.
- Toda la tornillería será del tipo inoxidable series 300.
- El ventilador estará, en forma total, prebalanceado de fábrica estáticamente únicamente (No se requiere balanceo dinámico por operar en un solo plano).
- La velocidad tangencial máxima de operación del ventilador será de 3657.4 m/min (12000 Ft/min).
- **Reductores de velocidad**

Para la operación adecuada de los ventiladores y para lograr la velocidad tangencial máxima se requiere el uso de un reductor de velocidad, diseñado como mínimo para cumplir con las especificaciones de la AGMA (American Gear Manufacturers Association) y la norma CTI-STD.111 Rev. 1996, con las siguientes características generales:

- La caja será fabricada a base de hierro gris y debidamente protegida para la corrosión y evitar al máximo la vibración y el ruido.
- Los engranes serán del tipo helicoidal maquinados a precisión de acero de aleación de níquel y terminados de acuerdo a las tolerancias indicadas por la AGMA y también

deberán ser de doble reducción especialmente diseñado para uso en Torres de Enframiento.

- El reductor de velocidad debe cumplir con la norma CTI-STD-111 excepto que la vida de los engranes y cojinetes debe ser clase B-10 garantizados para 10,000 horas de duración.
- El factor de servicio mínimo será de 2.0
- La lubricación será por medio de una bomba adicional de desplazamiento positivo.
- En caso de que se disponga en la planta de un sistema de lubricación por niebla ( Lubri Mist ó similar ) el reductor deberá de poderse integrar a este sistema.
- Se requiere el suministro de líneas de venteo y llenado de aceite desde el exterior de la chimenea. El material de las líneas será acero al carbón galvanizado con tubería cédula 80.
- **Flechas de transmisión de potencia**

La potencia del motor eléctrico ó del accionador será transmitida al reductor de velocidad por medio de una flecha de una sola pieza fabricada en el material denominado "Composite" ó "Fibro-Carbón" con las siguientes características generales:

La longitud y el diámetro del tubo será la adecuada para el ventilador seleccionado y la potencia del motor requerido; el material será fabricado a partir de grafito y filamento de fibra de vidrio embebido en resina epóxica y con inhibidor de rayos ultravioleta.

Los coples y la tornillería serán de acero inoxidable tipo 316.

Las tolerancias serán las indicadas por la AGMA clase 1.

- **Accionador**

El ventilador será accionado por un motor eléctrico de \_\_\_Hp y de acuerdo a las siguientes características generales:

El motor será del tipo totalmente cerrado con ventilación exterior.

La corriente eléctrica disponible será de 3/60/440.

El factor de servicio mínimo del motor será de 1.1.

## SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO

El motor contará con resistencias calefactoras para \_\_\_\_\_ volts.

Para su protección el motor estará tropicalizado de fábrica.

- **Guardacoples.**

Se deberán instalar guardacoples de seguridad entre el acoplamiento motor-flecha, fabricados en acero galvanizado por inmersión en caliente y deberán llegar hasta el paño exterior de la chimenea.

- **Interruptores de vibración**

Para seguridad en la operación el equipo mecánico contará con interruptores de vibración del tipo magnético, adecuadamente localizados en el motor eléctrico y/o en el reductor de velocidad.

- **Soporte de equipo mecánico**

Tanto el reductor de velocidad como el motor eléctrico estarán soportados en una base metálica de acero al carbón con recubrimiento y protección anticorrosiva de una altura que garantice la instalación adecuada del ventilador en la garganta de la chimenea. Esta base estará a su vez anclada a la columna soporte del reductor o a la plataforma de los ventiladores en el caso del motor eléctrico.

- **Claro entre Aspas y Difusor**

Se deberá considerar en el alcance de los trabajos el ajuste del claro entre la punta de las aspas y la pared de la chimenea ó difusor.

- **Accesorios**

Suministro de accesorios para el equipo mecánico formado por:

- Interruptor de Vibraciones.
- Líneas de venteo y llenado para los reductores de velocidad.
- **Sistema de distribución**

El sistema de distribución de agua caliente será del tipo abierto por gravedad y estará formado por:

- Cabezal de entrada: Será del tipo de entrada individual de 24" de diámetro inicial terminando en una brida plana con distribución de espárragos para 150 (ANSI), fabricados en acero al carbón con recubrimiento anticorrosivo.
- Es aceptable también como material de fabricación el poliéster reforzado con fibra de vidrio siguiendo los lineamientos de la especificación CTI-STD-131-86 con retardador de flama e inhibidor de rayos ultra violeta.
- La tubería estará apoyada en soportes especialmente diseñados para el peso de los cabezales llenos de agua y de las dimensiones de los mismos.
- Las válvulas de control de flujo serán del tipo mariposa y también terminarán en bridas con perforaciones ANSI.
- **Cajas de salpiqueo**

Estarán fabricadas en concreto y serán de un diseño tal que ayuden a romper la velocidad de salida del agua proveniente de las válvulas controladoras de flujo.

- **Boquillas rompedoras de chorro**

Las boquillas rompedoras de chorro estarán fabricadas en polipropileno de alta densidad de la especificación abajo indicada. Serán fabricadas por moldeo en una sola pieza y serán del tipo matascable, diseñadas para manejar el flujo de diseño con un tirante mínimo de 4" .

Propiedades	Valor	ASTM
Densidad relativa	0.9	D-792-66T
Resistencia a la compresión	65 rockwell "R"	D-785
Resistencia al impacto	5.5 ft-lb/plg	D-256-56T
Temperatura de deflexión	@ 264 psi 122 °F @ 66 psi 175 °F	D-648-56T
Resistencia a la cedencia	3800 psi	D-638-64T
% de elongación (de rompimiento)	10	D-638-64T

#### **5.4 Programa de mantenimiento.**

A continuación se detallan las recomendaciones sobre mantenimiento, principalmente involucradas en aquellos componentes que inciden directamente en el rendimiento de la torre.

- **Mantenimiento del relleno**

Cada seis meses es preciso asegurarse de que todas las piezas del relleno mantienen su posición y estructura original, corrigiendo cualquier anomalía. Pueden resultar dañadas debido a la formación de hielo y deformaciones consiguientes.

- **Sistema de distribución de agua**

En el sistema de distribución de agua se debe revisar el colector principal, como los ramales y los pulverizadores, estos deben estar limpios y sin obstrucciones pues de otro modo la distribución no sería uniforme, con el consiguiente efecto en la eficiencia de la torre.

- **Ventiladores**

Los ventiladores son quizás, la parte más importante de una torre de refrigeración de tiro mecánico. Son el principal elemento en movimiento y pueden causar importantes problemas. Se deben efectuar inspecciones regularmente, observando la posible existencia de grietas en las uniones de las palas y otros puntos donde pueden producirse síntomas de fatiga.

- **Reductores**

Revisar el nivel de aceite y ver que no este sucio ni contenga agua. Observar si existe algún ruido o vibración normal mientras esta en funcionamiento. Examinar las condiciones de desgaste del eje del piñón de entrada intentando moverlo en dirección radial. Comprobar si el eje de salida tiene un juego excesivo por desgaste, forzando hacia arriba y hacia abajo una pala del ventilador y observando el movimiento del eje. Asegurarse de que el canal de ventilación esta limpio y sin obturar.

- **Motores**

Observar si se calienta demasiado y si el nivel de lubricante de los rodamientos es correcto. Una excesiva cantidad de aceite o grasa aplicada a los rodamientos de bolas puede dañar la unidad debido a que la grasa se introduce en los recovecos causando el deterioro de aislamiento.

• Sistema de transmisión

Examinar visualmente el estado de corrosión, desgaste o falta de piezas de los acoplamientos del eje de transmisión. Inspeccionar las chavetas y los tornillos de sujeción. También deben buscarse visualmente síntomas de corrosión en el exterior del eje del motor. Para revisar su condición interna basta golpear con un martillo y escuchar el sonido, los puntos de baja intensidad sonora pueden indicar zonas con corrosión interna.

• Eliminadores de gotas

Comprobar si algún panel esta roto, deteriorado mal colocado, así como la existencia de huecos o desalineamientos que permitan una pérdida excesiva de agua. Examinar los soportes y comprobar que no haya obstrucciones por depósitos o por crecimiento de algas.

Por lo tanto obtenemos así nuestro programe de mantenimiento de la siguiente manera:

Acción	Sistema de distribución		Relleno		Eliminadores de gotas		Motor		Reductor						
	S	M	T	A	R	S	M	T	A	R	S	M	T	A	R
Inspeccionar posibles atascos	X					X									
Buscar ruidos o vibraciones									X						X
Comprobar el sobrecalentamiento									X						
Comprobar el movimiento lateral									X						X
Inspeccionar chavetas y chaveteros									X						X
Revisar nivel de aceite y suciedad									X						X
Ventilación abierta									X						X
Comprobar el estado de conservación															
Limpiar			X							X					X
Comprobar pernos			X							X					X
Reparar											X				X
Limpiar		X					X								
Reajustar															
Inspección visual															
Comprobar la operación															
Comprobar el alineamiento															
Revisar ángulo de pañas															
Reposición															
Reparación													X		

**SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO**

Acción	Ventilador					Elementos estructurales				
	S	M	T	A	R	S	M	T	A	R
Inspeccionar posibles atascos										
Buscar ruidos o vibraciones										X
Comprobar el sobrecalentamiento										
Comprobar el movimiento lateral										
Inspeccionar chavetas y chaveteros										
Revisar nivel de aceite y suciedad										
Ventilación abierta										X
Comprobar el estado de conservación										
Lubricar										
Comprobar pernos					X					X
Repintar										X
Limpiar					X					
Realinear										
Inspección visual					X					
Comprobar la operación										
Comprobar el alineamiento										
Revisar ángulo de palas									X	
Reposición										
Reparación										

S : Semanal. M : Mensual.

T : Trimestral. A : Anual.

R : Cuando se requiera.

**5.5 Costo de la Torre seleccionada**

El costo de nuestra torre de enfriamiento proporcionado por el fabricante fue de \$281,056.00

Siendo esto de la siguiente manera:

- **Materiales torre de enfriamiento:**

Concepto	Costo
Estructura	\$ 8,520.00
Relleno	\$ 15,111.00
Caja	\$ 13,280.00
Reductores	\$ 42,120.00
Flechas	\$ 30,120.00
Ventiladores	\$ 20,580.00
Motores	\$ 60,660.00
Otros	\$ 36,190.00
<b>Total =</b>	<b>\$ 226,581.00</b>

- **Precio adicional por equipo opcional**

Concepto	Costo
1 Lote barandal perimetral	\$ 5,237.00
1 Pzs. Malla guarda ventiladores de 120" diám.	\$ 4,848.00
2 Pzs. Válvulas de control de flujo de 10" diám.	\$ 9,150.00
1 Pzs. Tee conexión especial	\$ 7,128.00
1 Pzs. Switch limite de vibración	\$ 2,581.00
1 Pzs. Deposito de agua fría de madera	\$ 13,090.00
<b>Total =</b>	<b>\$ 42034.00</b>
 Montaje =	 <b>\$ 12,441.00</b>

**Total = Materiales + Equipo opcional + montaje = 226,581.00 + 42034.00 + 12,441.00**

**Costo torre = 281,056.00**

## **SELECCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO**

---

- **Condiciones de pago**

- a) Materiales 50 % + I.V.A. de anticipo, saldo antes del embarque.
- b) Montaje 50% + I.V.A. de anticipo 8 días antes de iniciar los trabajos, saldo a la terminación de la instalación.

- **Lugar de entrega**

- a) Materiales : L.A.B. en planta industrial TORRES MARMEX, S.A DE C.V en Tlalneplanta Edo. de México.

Los fletes y maniobras de descarga son por su cuenta.

- b) Montaje : L.A.B. en planta del cliente.

- **Tiempo de entrega:**

- a) Materiales : 8 a 10 semanas, después de haber recibido su amable pedido y cheque de anticipo.
- b) Montaje : de 2 a 3 semanas, después de que estén los materiales en su planta.

Para iniciar el montaje los materiales deberán estar a no más de 15 mts. Y al nivel del piso donde se llevará a cabo el montaje, en el precio no se consideran labores de acarreo y / o elevación de material, si se requiere serán por su cuenta del comprador.

## CONCLUSIONES

Como se sabe hoy en día, las necesidades de la industria por adquirir agua helada para sus distintos propósitos, ha tenido un crecimiento considerable en la última década, hay infinidad de empresas dedicadas al diseño de torres de enfriamiento, teniendo consigo, distintos métodos para el análisis y selección de las torres de enfriamiento. La mayoría de estas empresas cuentan con asesoramientos internacionales, lo cual tiene como consecuencia un monto adicional en el precio final de la torre, esto ha venido aumentando progresivamente por la falta de métodos prácticos y analíticos que en muchas ocasiones son ignorados por ser muy complejos.

Todo esto es a consecuencia de que en nuestro país no se cuenta con la suficiente información sobre las torres de enfriamiento como la industria lo demanda. La información que se consultó fue en mayor parte bibliografía internacional, así como, bastos ejemplos de torres de enfriamiento de dimensiones considerables aplicadas la mayor parte en plantas termoeléctricas. Esto hace aun más difícil la tarea de tener diversidad en la información de las torres.

Para seleccionar nuestra torres de enfriamiento de madera, supimos que con los principios técnicos tendríamos las bases para saber la operación de las torres sin complicaciones. La forma, diseño y equipo de la torre se logra partiendo de normas adquiridas con información tanto nacional como internacional dando como resultado la torre de madera de flujo simple satisfaciendo cada necesidad práctica y teórica del sistema de autoclaves propuesto. Como se muestra en el capítulo V la torre que opera actualmente es una torre de madera de doble flujo cruzado con la capacidad de 1500 gpm en cada sección, satisfaciendo las necesidades no solo del sistema de autoclaves si no también las necesidades de la planta en general.

Con el término de este trabajo, se trató de proporcionar los métodos y directrices más sencillos que en procesos determinados, puedan tener un nivel alto de confiabilidad así como las técnicas utilizadas por los fabricantes de torres de enfriamiento, creyendo tener una visión de lo que podría ser la torre de enfriamiento a seleccionar, añadiéndole a esto un predicción de lo que podría ser el costo de la torre así como sus principales aditamentos.

**Glosario de términos y símbolos**

**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.

**Ángulo 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: gpm

**Bahía.** El área entre dos diagonales o líneas de miembros estructurales.

**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

## GLOSARIO

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, m<sup>3</sup>/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:  $GPM \times 500 \times \text{Rango } (^{\circ}F)$ . 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 cárcamo. 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.** Área 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<sup>3</sup>/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.

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

**Persianas (Louvers).** Ensamblés instalados en las entradas de aire de la torre de enfriamiento

para eliminar el salpiqueo de agua.

**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.

**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 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.

### **Símbolos**

**A.** base de la torre. Unidades : ft<sup>2</sup>

**Ht.** Altura de torre. Unidades: ft

**Hr.** Altura del relleno. Unidades: ft

**Hs.** Altura sistema de distribución. Unidades: ft

**φ.** Humedad relativa. Unidades : %

**γ.** Humedad específica. Unidades : Lb H<sub>2</sub>O / Lb aire seco.

UT. Unidades de torre. Unidades: ft

HG. Entalpia. Unidades: BTU / Lb

WG. Flujo de aire a la salida de la torre. Unidades:  $\text{ft}^3 / \text{min}$ .

P. Potencia de ventiladores. Unidades: Hp

$\eta$ . Eficiencia. Unidades: %

Psi. Lb / pulg<sup>2</sup>

Codigos. CTI – STD, CTI – WMS, WCLIB, ASTM, ANSI.

AGMA. American Gear Manufacturers Association.

“R”. Rockwell. Unidades: rockwell

S. Semanal

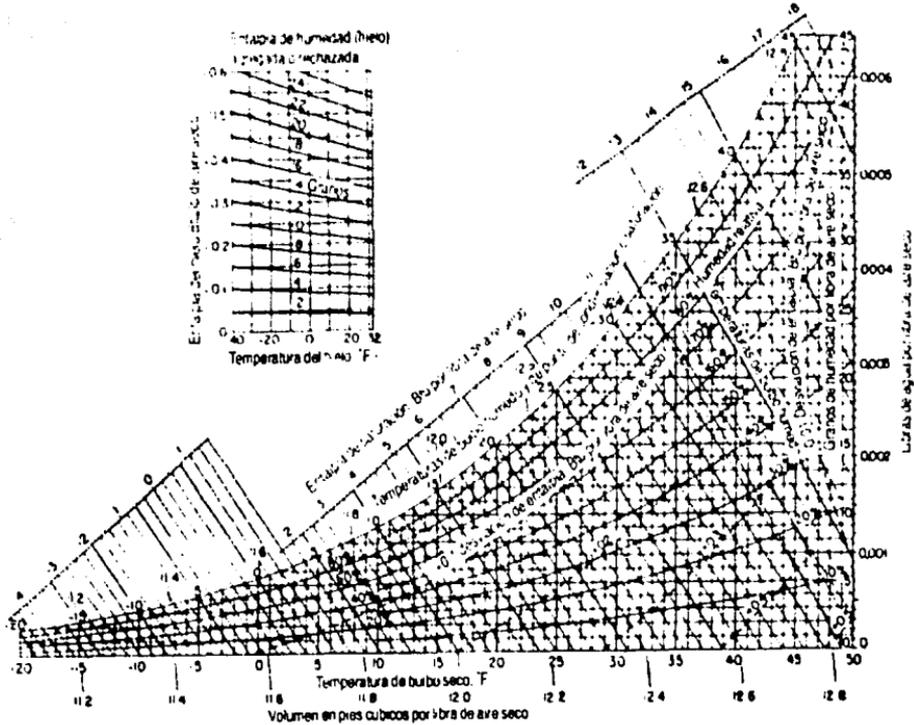
M. Mensual

T. Trimestral

A. Anual

R. Cuando se requiera

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**





**Entalpías y humedades para  
mezclas de aire - agua**

Temp. ° F	Presión de vapor Lb/Pi <sup>2</sup>	lb H <sub>2</sub> O /lb aire	Entalpía, BTU/lb	v aire, pies <sup>3</sup> /lb	v aire + H <sub>2</sub> O pies <sup>3</sup> /lb
40	0.1217	0.0050	15.1	12.59	12.70
45	0.1475	0.0063	17.8	12.72	12.85
50	0.1781	0.0076	20.5	12.84	13.00
55	0.2141	0.0098	23.8	12.97	13.16
60	0.2563	0.0110	26.7	13.10	13.31
65	0.3056	0.0130	30.4	13.23	13.56
70	0.3631	0.0160	34.5	13.35	13.69
75	0.4298	0.0189	39.1	13.48	13.88
80	0.5069	0.0222	44.1	13.61	14.09
85	0.5059	0.0262	50.0	13.73	14.31
90	0.6982	0.0310	56.7	13.86	14.55
95	0.8153	0.0365	64.2	13.99	14.81
100	0.9492	0.0430	72.7	14.11	15.08
105	1.1016	0.0503	82.5	14.24	15.39
110	1.2748	0.0590	93.8	14.37	15.73
115	1.4709	0.0691	106.7	14.50	16.10
120	1.6924	0.0810	121.5	14.62	16.52
125	1.9420	0.0948	138.8	14.75	16.99
130	2.2225	0.1108	158.5	14.88	17.53
135	2.5370	0.1300	181.9	15.00	18.13
140	2.8886	0.1520	208.6	15.13	18.84
145	3.2810	0.1810	243.8	15.26	19.64
150	3.7180	0.2160	286.0	15.38	20.60

Tabla de conversión presión - temperatura

Presión abs, pulg Hg	Temp.sat. ° F						
0.20	34.57	1.35	88.36	2.50	108.71	8.00	152.24
0.25	40.23	1.40	89.51	2.55	109.38	9.00	157.09
0.30	44.96	1.45	90.64	2.60	110.06	10.00	161.49
0.35	49.06	1.50	91.72	2.65	110.72	11.00	165.54
0.40	52.64	1.55	92.77	2.70	111.37	12.00	169.28
0.45	55.89	1.60	93.81	2.75	112.01	13.00	172.78
0.50	58.80	1.65	94.8	2.80	112.63	14.00	176.05
0.55	61.48	1.70	95.78	2.85	113.25	15.00	179.14
0.60	63.96	1.75	96.73	2.90	113.86	16.00	182.05
0.65	66.26	1.80	97.65	2.95	114.25	17.00	184.82
0.70	68.41	1.85	98.56	3.00	115.06	18.00	187.45
0.75	70.43	1.90	99.43	3.20	117.35	19.00	189.96
0.80	72.32	1.95	100.3	3.40	119.51	20.00	192.37
0.85	74.13	2.00	101.14	3.60	121.57	21.00	194.68
0.90	75.84	2.05	101.96	3.80	123.57	22.00	196.90
0.95	77.48	2.10	102.77	4.00	125.43	23.00	199.03
1.00	79.03	2.15	103.56	4.20	127.21	24.00	201.09
1.05	80.53	2.20	104.33	4.40	128.94	25.00	203.05
1.10	81.96	2.25	105.09	4.60	130.61	26.00	205.00
1.15	83.33	2.30	105.89	4.80	133.76	27.00	206.87
1.20	84.64	2.35	106.58	5.00	132.20	28.00	208.67
1.25	85.93	2.40	107.3	6.00	140.78	29.00	210.43
1.30	87.13	2.45	108.01	7.00	140.86	29.921	212.00

## BIBLIOGRAFIA

- ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF DRY-WET COOLING TOWERS.  
CHENG, MOW-SOUNG  
#USA. UNIVERSITY MICROFILMS, INC.
- COOLING TOWERS: DESIGN AND PER FORMANCE.  
NTIS/PS-78/0899  
#USA. NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE.
- COOLING TOWERS. AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING.  
AMERICAN INSTITUTE OFCHEMICAL  
#USA. TECHNICAL INFORMATION SERVICE.
- COOLING TOWERS. SECTION 1.OPERATION AND CONSTRUCTION.SECTION  
2WATER CONDITIONING.  
API ED.  
MICHIGAN. AMERI-CAN PETROLEUM INSTITUTE.
- COOLING TOWER MANUAL CHAPTER 9 MATERIALS OF CONSTRUCTION FOR  
COOLING TOWERS.  
COOLING TOWER INSTITUTE.  
JUNE #USA. COOLING TOWER INSTITUTE.
- COOLING TOWER MANUAL CHAPTER 10 MECHANICAL COMPONENTES FOR  
COOLING TOWERS.  
COOLING TOWER INSTITUTE.  
JANUARY #USA. COOLING TOWER INSTITUTE.

- **COOLING TOWER MANUAL CHAPTER 11 EELCTRICAL COMPOENENTES FOR COOLING TOWERS.**

COOLING TOWER INSTITUTE  
#USA COOLING TOWER INSTITUTE.

- **COOLING TOWER MANUAL CHAPTER 13 INSPECTION OF COOLING TOWERS JANUARY.**

COOLING TOWER INSTITUTE.  
#USA COOLING TOWER INSTITUTE.

- **COOLING TOWERS. SELECTION, DESIGN AND PRACTICE.**

CHEREMISINOFF, N.P., CHERE- MISINOFF,P  
#USA. ANN ARBOR SCIENCE PUBLISHERS, INC.

- **COOLING TOWERS**

SELECTION, DESIGN AND PRACTICE  
CHERIMISINOFF NICHOLAS P.  
SCITECH PUBLISHER INC.

- **CRITERIO DE DISEÑO DE PLANTAS TERMOELÉCTRICAS.**

AGUILAR MARTINIANO R.  
LIMUSA  
1<sup>a</sup> Ed.  
1981

- **DISEÑO Y ANALISIS DE TORRES DE ACUERDO A LAS ULTIMAS EDICIONES DEL CODIGO ASME DIV. 1 SECCION VIII Y MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.**

REYES ARROYO, JORGE

- **MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. ESTRUCTURAS METODOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO C 2.4 TORRES DE ENFRIAMIENTO. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.**

CFE.(COMOSIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD)

- **MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO**

AVALLONE EUGENE A.  
BAUMISTER THEODORE III.  
TOMO I Y II  
Mc GRAW - HILL.  
9<sup>a</sup> Ed.

- **MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO**

PERRY J. H.  
TOMO 3  
Mc GRAW – HILL

- **MANUAL DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO.**

GONZALEZ POZO V.  
TOMO 1 – 4  
2<sup>a</sup> Ed.  
PHH

- **MANUAL TÉCNICO Y DE INSTRUCCIONES  
PARA CONSERVACIÓN DE ENERGÍA**

IDAE  
(INSTITUCIÓN PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA)

- **NORMA NO. 2.445.01 REQUISITOS PARA ADQUISICION DE PLATOS DE TORRES  
DE FRACCIONAMIENTO.**

PEMEX  
2<sup>a</sup> Ed.  
#MEXICO. PETROLEOS MEXICANOS.

- **OPERACION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO**

IMP (CAPACITACION)  
#MEXICO. INSTITUTO MEXICANO DEL PE- TROLEO.

- **SPECIFICATION FOR WATER COOLING TOWERS. PART 4. STRUCTURAL DESIGN OF COOLING TOWERS. #LONDON. BRITISH STANDARDS INSTITUTION.**

BSI BS 4485: PART 4  
#LONDON. BRITISH STANDARDS INSTITUTION.

- **TERMODINÁMICA**

KENNETH WARK, JR.  
Mc GRAW – HILL.  
5ª Ed.