




15
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO U. N. A. M.

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

ANALISIS TERMICO EN UNA TORRE DE
ENFRIAMIENTO DE TIPO MECANICO, TIRO
INDUCIDO A CONTRAFLUJO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A :
GABRIELA GARCIA MANZO

ASESOR: I.O. GILBERTO A. AMAYA VENTURA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2001

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACION DISCONTINUA



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

 "Análisis térmico en una torre de enfriamiento de tipo
 mecánico, tiro inducido a contraluzo"

que presenta la pasante: Gabriela García Manzo
 con número de cuenta: 8710118-0 para obtener el título de :

Ing. niera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Septiembre de 2000.

- | | | |
|------------------|--|--|
| PRESIDENTE | <u>I.C.M. Rafael Sampedro Morales</u> | |
| VOCAL | <u>I.C. Graciela Delgadillo García</u> | |
| SECRETARIO | <u>I.C. Gilberto A. Amaya Manturo</u> | |
| PRIMER SUPLENTE | <u>C. Celestino Silva Escalona</u> | |
| SEGUNDO SUPLENTE | <u>I.A. Ana Ma. Boto Bautista</u> | |

DEDICATORIAS:

A mi papá: Luis García Garibay

A mi mamá: Etelvina Manzo Lépiz

A mis hermanos: Carlos García Manzo

Ma. Elena García Manzo

Luis A. García Manzo

Cuauhtemoc García Manzo

Aarón E. García Manzo

Por su apoyo, cariño y comprensión durante todo este tiempo. Gracias familia

AGRADECIMIENTOS:

A Dios por estar siempre conmigo. Gracias

Por su apoyo y por compartir sus conocimientos e información para la realización de esta tesis:

Ing. Francisco J. Azcoitia M

Ing. Humberto Canales Mena

Ing. J. Hector García Magaña

Ing. Salvador Flores de la Vega

Ing. Enrique Figueroa Suarez

Ing. Jaime Barcena López

Ing. Efraín Pompa Rodríguez

Ing. Martín E. Zavala Gómez

Ing. Manuel Zavala Romero

Ing. David A. Gordillo Santiago

Ing. E. Maximiliano Audelo Méndez

Ing. Arturo Campos Morales

Ing. T. Arturo Mendoza Pérez

...Gracias.

A mis sinodales en especial a mi profesor y amigo Ing. Gilberto A. Amaya Ventura.
Gracias por tu apoyo incondicional

ÍNDICE

PAG.

INTRODUCCIÓN

iv

OBJETIVO

vii

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.

I.1	La termodinámica de las torres de enfriamiento.	1
I.2	Clasificación de las torres de enfriamiento.	3
I.3	Descripción general de las torres de enfriamiento.	10
I.4	Condiciones de diseño.	26

CAPÍTULO II: PSICROMETRÍA

II.1	Concepto de diseño térmico.	27
II.1 a)	La torre de enfriamiento.	
II.1 b)	Energía térmica, entalpía y calor específico.	
II.1 c)	Interrelación de entalpía para la mezcla aire-vapor.	
II.2	la carta psicrométrica.	32

CAPÍTULO III: TEORÍA DE MERKEL

III.1	Importancia del cociente L/G.	36
-------	-------------------------------	----

III.2	Derivación de la ecuación de Merkel.	37
III.3	Ecuación de balance de energía en la torre de enfriamiento.	48
III.4	Cálculo del número de Merkel.	49

CAPITULO IV: ANÁLISIS TÉRMICO EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

IV.1	Curva característica de la torre	54
IV.2	Ecuación característica del comportamiento térmico del relleno.	59
IV.3	Efectos del factor de escala.	60
IV.4	Determinación del punto de diseño en la curva característica.	61
	Ejemplo 1	62
	Ejemplo 2	68
	Ejemplo 3	75
IV.5	Análisis térmico en una torre de enfriamiento de tipo mecánico, tiro inducido a contraflujo	99
	IV.5.1 Cálculos preliminares.	100
	IV.5.2 El valor de L/G requerido.	101
	IV.5.3 Cálculo de las propiedades psicrométricas.	103
	IV.5.4 Cálculo de la presión estática total.	104
	IV.5.5 Cálculo de la potencia.	107
IV.6	Análisis del tiro inducido por el ventilador.	109
	IV.6.1 Importancia de la geometría del ventilador.	
IV.7	Hidráulica en la torre de enfriamiento.	111

CONCLUSIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXOS	
A. Carta psicrométrica.	117
B. Gráfica de la densidad del aire seco.	118
C. Gráfica de la densidad del vapor.	119
D. Propiedades del aire saturado.	120
E. Tabla: Entalpía de la mezcla aire saturado-vapor de agua a 29.921 in Hg.	121
F. Tabla: Entalpía de la mezcla aire saturado-vapor de agua a varias altitudes.	124
G. Tabla: Densidad de la mezcla aire saturado-vapor de agua a 29.921 in Hg.	127
H. Tabla: Densidad de la mezcla aire saturado-vapor agua a varias altitudes.	128
I. Tabla: Volumen específico de la mezcla aire saturado-vapor de agua a 29.921 in Hg.	131
J. Tabla: Volumen específico de la mezcla aire saturado-vapor de agua a varias altitudes.	132
K. Tabla: Vapor de agua contenido en la mezcla aire saturado-vapor de agua al nivel del mar.	135
L. Tabla: Vapor de agua contenido en la mezcla aire saturado-vapor de agua a varias altitudes.	138

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es importante que toda industria en general cuente con sistemas de servicios auxiliares que proporcionen un uso racional y eficiente de un elemento de vital importancia como lo es el agua. En este aspecto, las torres de enfriamiento constituyen un elemento fundamental en la mayoría de los procesos industriales, por esta razón los fabricantes de torres de enfriamiento han desarrollado diferentes diseños y modelos, los cuales representan una baja inversión inicial; además su mínimo mantenimiento, su eficiente funcionamiento y consecuente ahorro de espacio, permite ubicarlas en una pequeña área dentro de sus instalaciones.

Una de las principales necesidades en la industria es la de enfriar cualquier tipo de fluido que así lo requiera en un proceso determinado para lograr que el producto sea obtenido en las condiciones óptimas de manejo, almacenamiento y distribución. Esta operación se realiza normalmente en los intercambiadores de calor, en los cuales se emplea agua como medio de enfriamiento.

Debido a que el agua es un recurso natural cada vez más escaso y la calidad no siempre es la deseada, se hace necesario enfriarla y tratarla para su mejor aprovechamiento y manejo, creando con esto la necesidad de emplear torres de enfriamiento como servicio auxiliar, de acuerdo a las características del proceso.

El servicio que proporciona una torre de enfriamiento es el de suministrar el agua de enfriamiento necesaria en condensadores, cambiadores de calor y otros equipos de proceso.

Invariablemente las torres de enfriamiento se rigen por un mismo mecanismo de operación, el cual consiste en poner en contacto directo una corriente de agua caliente con una de aire frío. El íntimo contacto de estas dos corrientes da lugar a una transferencia de calor y masa en forma simultánea, dando como resultado la disminución en la temperatura del agua.

En el presente trabajo se describe el análisis térmico de las Torres de Enfriamiento, el cual ha sido redactado para los practicantes de ingeniería con el propósito de incrementar su experiencia técnica en el área de análisis y evaluación del funcionamiento térmico de este tipo de equipos industriales.

En la primera parte de este trabajo se repasan los fundamentos y aspectos teóricos del funcionamiento de las torres de enfriamiento. La termodinámica del funcionamiento de dichas torres es un tema aparentemente muy complejo, el bosquejo teórico que se aplica es poco usual, de manera que puede ser controversial y algunas veces mal entendido. Por lo que, para evitar ambigüedades, se presenta este marco teórico conceptual. En dicho marco teórico se desarrollan los balances simultáneos de materia y energía hasta llegar a la ecuación de Merkel, una integral que puede ser resuelta por el método de Tchewicheff o en forma gráfica que es el que se explica más ampliamente en este trabajo. La resolución de dicha ecuación permite evaluar los parámetros del diseño térmico (aproximación, rango, las relaciones L/G y KaV/L).

El resto de este trabajo cubrirá el tema del análisis del comportamiento térmico de las torres de enfriamiento. La atención será enfocada hacia la exposición de los métodos analíticos para el cálculo de los requerimientos de flujo de aire, caídas de presión del lado del aire, dimensiones de las torres de enfriamiento de tiro mecánico y la potencia del motor del ventilador, todos ellos, necesarios para alcanzar una utilidad específica del servicio de enfriamiento.

Los problemas que surgen por un mal diseño térmico de las torres de enfriamiento son demasiado comunes y extremadamente costosos en términos del desperdicio de energía eléctrica (megawatts) y del incremento de los costos de operación. En el transcurso de este trabajo se discutirán algunas de las causas que provocan problemas en el funcionamiento de las torres de enfriamiento, y se verá como pueden evitarse los problemas potenciales tomando decisiones basadas en un buen juicio de ingeniería soportadas por un análisis matemático, preferentemente en lugar de suposiciones o recomendaciones no objetivas.

OBJETIVO:

- Analizar el comportamiento térmico en una torre de enfriamiento de tipo mecánico de tiro inducido, mediante la aplicación de un método gráfico de resolución de la integral de Merkel que permite evaluar las condiciones de diseño térmico, la relación líquido-gas (L/G) y la relación característica de la torre (KaV/L); calcular, además, las caídas de presión, dimensiones de la torre y la potencia del motor en el ventilador.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

I.1 LA TERMODINÁMICA DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

El modelo matemático de los procesos de transporte de energía que ocurren en el interior de una torre de enfriamiento es mucho más complicado que la modelación de transferencia de calor en la mayoría de los otros equipos. Esto es debido a que en el análisis de las torres de enfriamiento se debe tomar en cuenta la transferencia simultánea de calor y masa (transferencia de calor sensible y latente), los dos procesos no pueden ser cuantificados independientemente. El efecto de acoplamiento que existe en los procesos simultáneos de transferencia de calor y masa que involucran sistemas de aire vapor, es conocido en la literatura como termo-difusión o efecto Soret. En términos simples la transferencia de energía involucra la transferencia simultánea de calor debido a las diferencias de temperatura entre agua-aire y la transferencia de calor debido a la evaporación del agua que pasa a través de la torre.

Típicamente el 80 % de la transferencia de energía se lleva a cabo por el mecanismo de evaporación. Es tarea difícil del diseñador de torres de enfriamiento predecir y garantizar una carga térmica dada y los niveles de temperatura a los cuales ocurre este proceso. Esto no es muy distinto a modelar los procesos térmicos que ocurren en una tormenta violenta. ¿Cómo estimar, por ejemplo, el valor del área superficial entre el aire y las gotas de agua que debe utilizarse en el cálculo de las velocidades de transferencia de calor en las torres de enfriamiento?

Las torres de enfriamiento son físicamente muy simples. todas las torres de enfriamiento evaporativas convencionales incluyen: ⁽¹⁾

- a) Tubería que transporta agua hasta cierta elevación donde es distribuida sobre una área plana fija.
- b) Boquillas que esprean el agua en forma de gotas
- c) Material de relleno que incrementa el área interfacial y los tiempos de contacto entre las cascadas de agua y la corriente de aire de enfriamiento.
- d) Un medio para hacer fluir aire ambiental a través de la torre (un ventilador o un sistema de tiro natural)
- e) Eliminadores de rocío que limitan la cantidad de agua que se pierde a través del punto de descarga del aire en la torre de enfriamiento.
- f) Un colector de agua fría
- g) Una estructura que soporta todo lo anterior.

Todos los componentes anteriores son fundamentales en una torre de enfriamiento, consecuentemente una persona con experiencia que conozca como construir una estructura de madera o concreto puede construir esencialmente una torre de enfriamiento.

Pero para diseñar una pequeña torre o una mediana que alcance la versatilidad del diseño térmico, el diseñador debe poseer una enorme cantidad de información acerca de la energía térmica y la caída de presión que solamente puede ser generada por medición en campo de los

parámetros térmicos y barométricos después de muchos años de operación de las torres de enfriamiento.

Un diseñador de torres de enfriamiento inexperto por lo tanto deberá ser conservativo en sus primeros diseños "a ciegas" de torres de enfriamiento.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

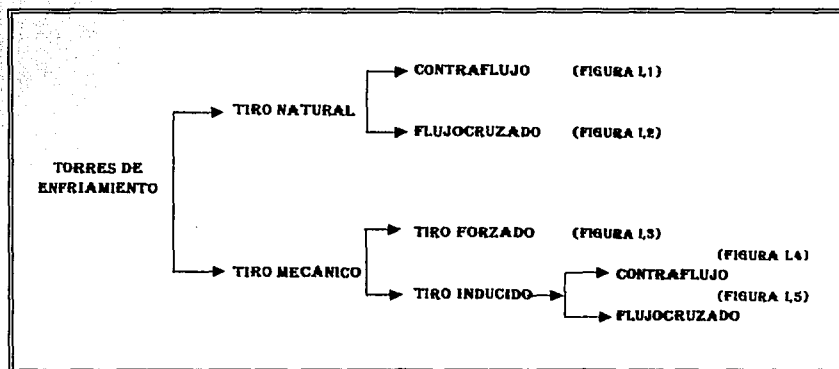
Las torres de enfriamiento son normalmente clasificadas de acuerdo al cuadro 1.1. Tenemos de tipo mecánico o natural, contraflujo o flujo cruzado. Los diseños de torres de enfriamiento que emplean ventiladores para hacer fluir aire son denominados diseños de " tiro mecánico", mientras que las torres que se basan en el efecto chimenea para el movimiento del aire se conocen como torres de enfriamiento de tiro natural, figura 1.1: Los diseños de tiro mecánico y natural pueden emplearse para arreglos de empaque a contraflujo o flujo cruzado. En las torres de contraflujo el aire fluye a contra corriente, es decir, el agua cae hacia abajo y el aire fluye hacia arriba mientras que en las torres de flujo cruzado el agua fluye hacia abajo mientras que el aire frío atraviesa una trayectoria horizontal a través de relleno.

Una torre de tipo mecánico de tiro forzado es aquella donde los ventiladores están localizados en la entrada del aire de la torre, empujando aire ambiental a través del material de relleno, figura 1.4. Una torre de tipo mecánico " de tiro inducido" es aquella donde los

ventiladores están localizados en la salida de aire succionando aire saturado a través de la torre de enfriamiento, figura I.5 y I.6. (4)

El tipo de torres de enfriamiento para una planta de potencia que requiere la menor cantidad de energía eléctrica para su operación normal es el diseño de tiro natural a contraflujo. En general cuando el consumo de energía eléctrica de los ventiladores y las bombas es una consideración importante, los diseños a contraflujo normalmente sobresalen frente a los diseños de flujo cruzado. Dicha situación económica da lugar a que la industria de generación de potencia favorezca los diseños de tiro mecánico a contraflujo.

CUADRO I.1, TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO



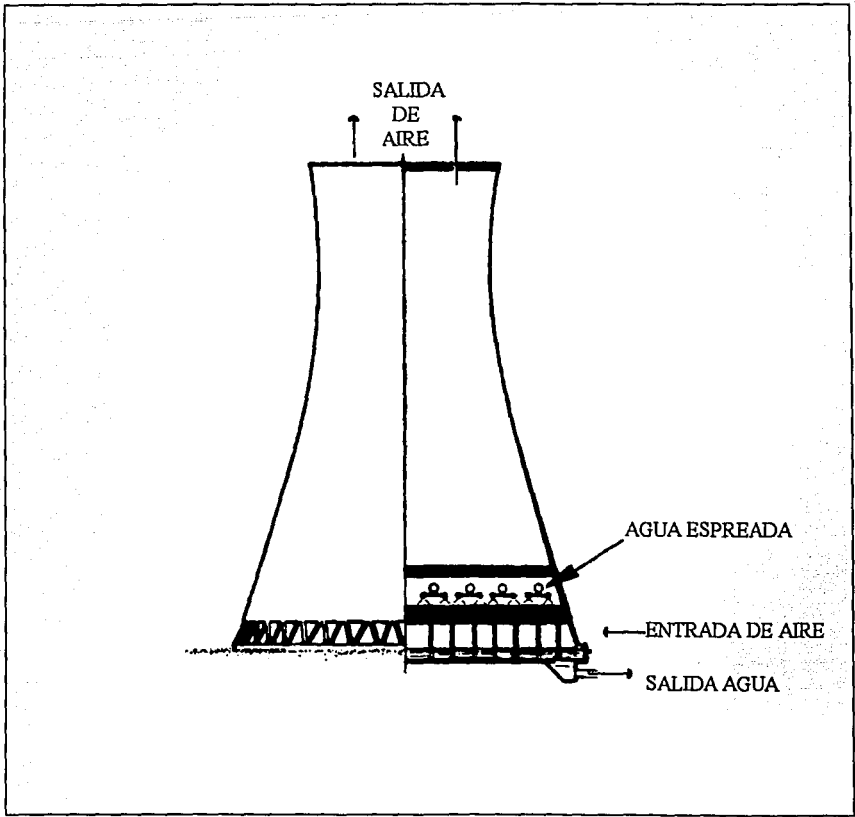


FIGURA 1.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO NATURAL A CONTRAFLUJO

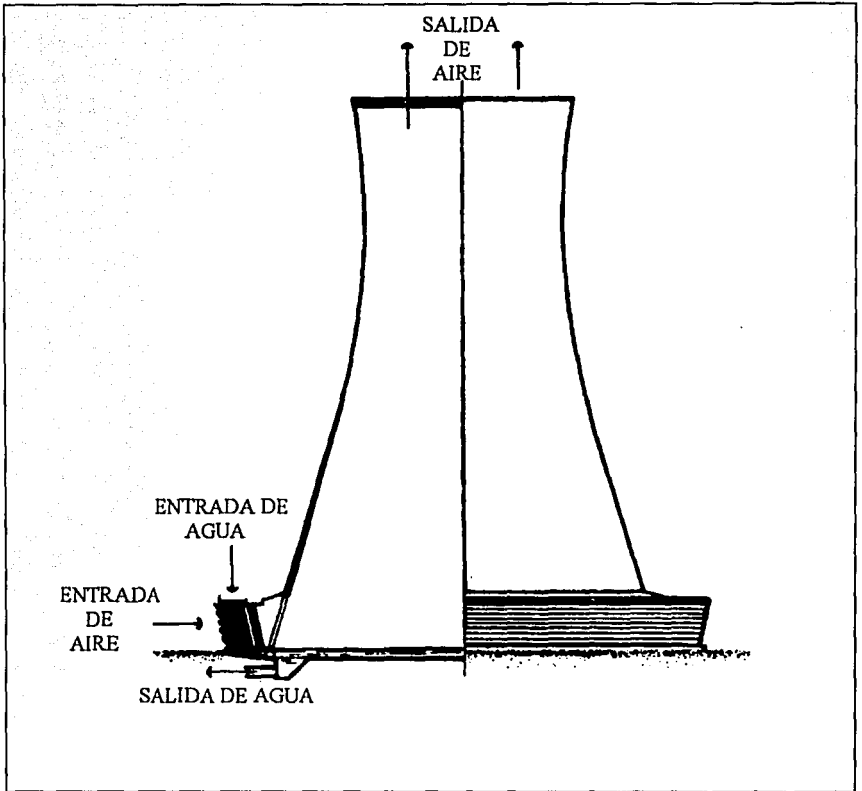


FIGURA I.2 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO NATURAL FLUJO CRUZADO

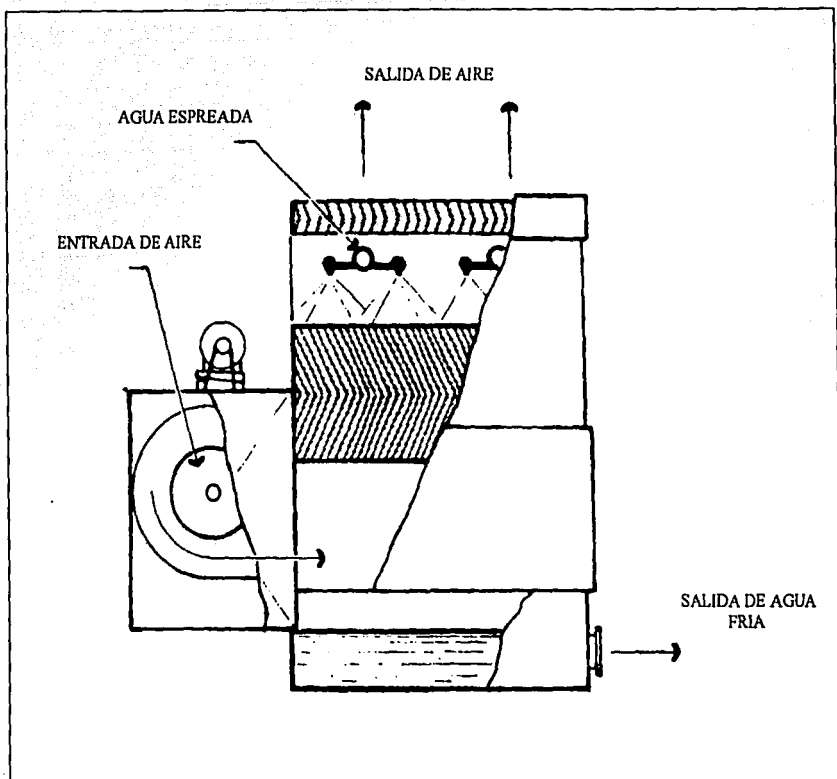


FIGURA I.3 TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO MECÁNICO DE TIRO FORZADO A CONTRAFLUJO

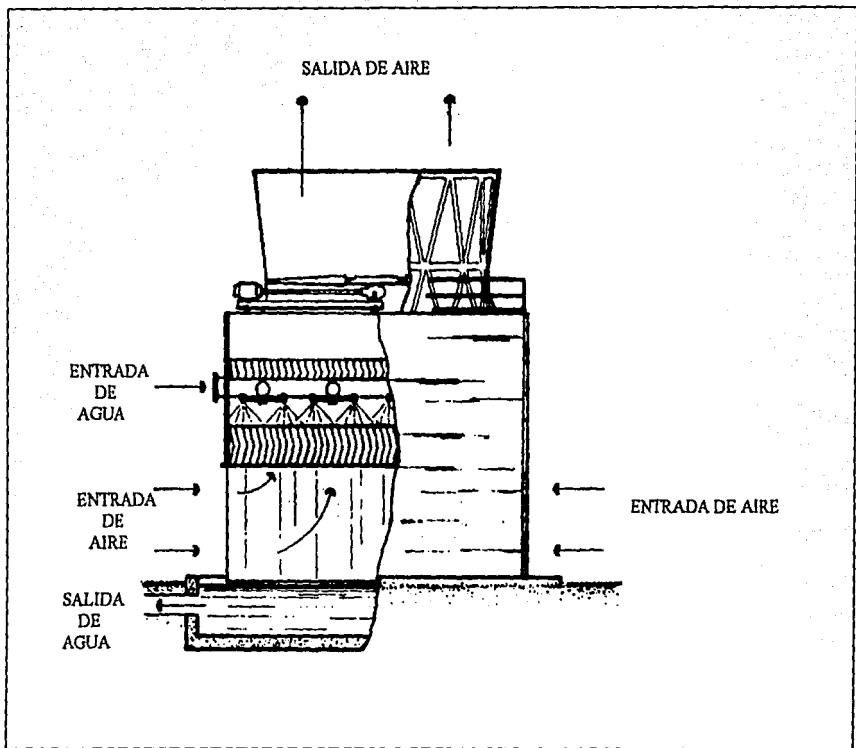
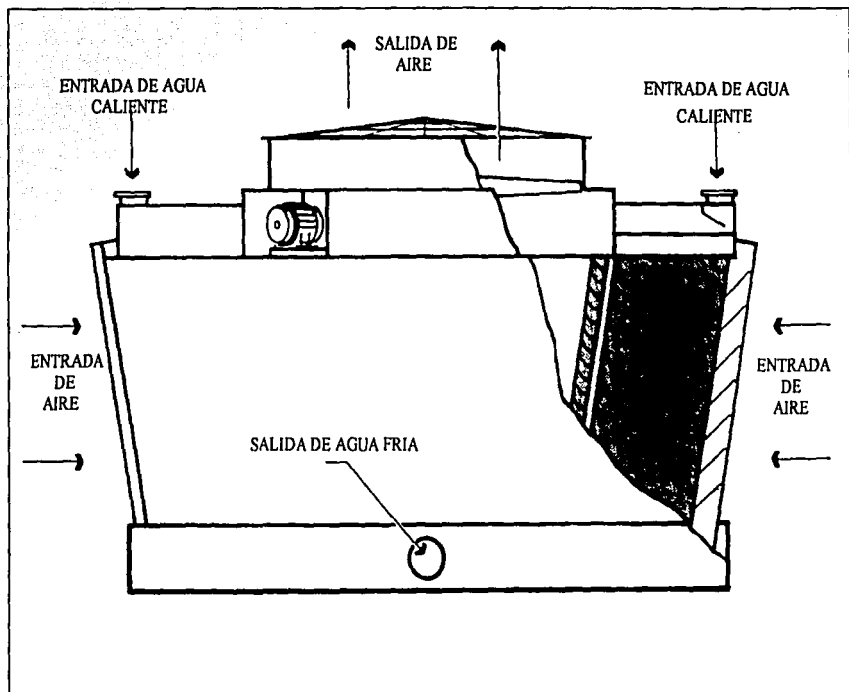


FIGURA 1.4 TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO MECÁNICO DE TIRO INDUCIDO A CONTRAFLUJO



**FIGURA 1.5 TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO MECÁNICO DE TIRO INDUCIDO
FLUJO CRUZADO**

I.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento se basan en la transferencia de calor y masa por medio de evaporación de agua en el aire para enfriarla. Su forma de operar puede ser a contracorriente o a flujo cruzado, con el aire entrando a un lado de la columna y fluyendo en forma horizontal. El agua caliente cae en cascada a través del empaque donde entra en contacto con el aire.

Se ha mencionado que las torres de enfriamiento convencionales incluyen un sistema de distribución, un material de relleno, eliminadores de rocío, etc. Aquí describiremos estos componentes en más detalle, figura. I.6 y I.7⁽⁴⁾

- **Estructura:**

Generalmente la estructura de las torres de enfriamiento se construyen con materiales de madera tratada o perfiles de fibra de vidrio y concreto, utilizando para su ensamble tornillería de acero galvanizado o acero inoxidable.

- **Sistema de distribución de agua:**

El sistema de distribución de agua es la parte de la torre donde se distribuye el agua sobre la superficie del relleno e incluye:

- Tubería del cabezal de entrada: corresponde a la tubería en el nivel más bajo de elevación que interconecta con las tuberías de ascenso.
- Tuberías de ascenso: estas tuberías transportan el flujo de agua hacia arriba rumbo al sistema de distribución.

- **Cabezal de distribución:** estos conductos forman las arterias principales del sistema de circulación del agua, llevando el agua hasta las tuberías de ascenso horizontalmente a través de la área plana de la torre. Los cabezales de distribución pueden ser tuberías cerradas o canales abiertos.
- **Tubería lateral:** estas tuberías alimentan los cabezales de distribución y distribuyen agua a todas las partes del área plana de la torre de enfriamiento. Las torres de enfriamiento de flujo cruzado utilizan vasijas de distribución de agua caliente en lugar de tuberías laterales para repartir el agua en el relleno.
- **Boquillas:** las boquillas actúan como el punto de descarga del agua proveniente del sistema de distribución. Algunos diseños de boquillas inyectan agua en la forma de un fino espray o pequeñas gotas a alta presión. Las torres de enfriamiento modernas emplean grandes orificios, típicamente de 1" de diámetro o más; o conos de descarga de baja presión sobre los que se encuentran adheridas placas de rocío con algún diseño geométrico para la formación de gotas.

- **Eliminadores de rocío.-**

Una gran cantidad de agua se descarga desde los puertos de salida del aire. la mayor parte de esta agua se libera en forma de partículas de vapor con diámetros de 20 micrones o menos. El número de las partículas más grandes descargados desde la torre se puede minimizar por el uso de eliminadores de rocío.

El propósito de los eliminadores de rocío es proporcionar una barrera mecánica para evitar que las gotas de agua escapen de la torre. Esto se lleva a cabo forzando a la corriente de aire a

cambiar de dirección dos o más veces en rápida sucesión. En el curso de los cambios súbitos del flujo de aire, el momentum de las gotas de agua más grande provoca que las gotas se impregnen sobre la superficie sinoidal del eliminador de rocío, donde el agua es llevada por gravedad de regreso a la zona de espreeo. Hay dos tipos de emisiones en una torre de enfriamiento:

- Humedad visible o invisible que es producto de la evaporación, el principal principio de enfriamiento.
- Gotas de agua.

Hay muchos tipos y formas de eliminadores de rocío, dependiendo de la ingeniosidad y conocimiento del diseñador.

El tipo de eliminadores de rocío de tableta de madera mostrado en la figura I.8 fue desarrollado hace mas de 70 años y todavía se utilizan. Funciona por el cambio direccional en el vapor de agua, habiendo una pérdida de energía cinética cada vez que se cambia la dirección. ⁽³⁾

Este tipo de eliminadores de rocío desarrolla pérdidas de presión estática, ocasionando un comportamiento de casi 0.5 °F de mas respecto a la temperatura de salida del agua, lo cual no es recomendable.

El eliminador de tipo celular mostrado en la figura I.9 es un ejemplo de un estado del arte de diseñar suavemente, el diseño del eliminador cambia la dirección del aire 6 veces con una distancia de recorrido de 6", su aplicación es para torres de enfriamiento de contraflujo y flujo cruzado.

La baja caída de presión estática de diseño mejorará el comportamiento de la torre ahorrando 0.5 °F cuando se instala en forma profesional y reducirá la emisión de rocío por goteo, haciéndola casi nula.

Con los eliminadores de rocío se previenen excesivas pérdidas por arrastre a la atmósfera, su función es de recoger o retener las gotas de agua arrastradas por la corriente de aire de salida.

La selección del eliminador de rocío está basada en:

1. La velocidad del aire en pies por minuto.
2. Las curvas de comportamiento certificadas por el fabricante.

Para calcular la velocidad del aire se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{velocidad} \left(\frac{ft}{min} \right) = \frac{\text{volumen de aire} \left(\frac{ft}{min} \right)}{\text{area de plenum} \left(ft^2 \right)}$$

Checando, por supuesto que la selección sea mayor que la velocidad calculada.

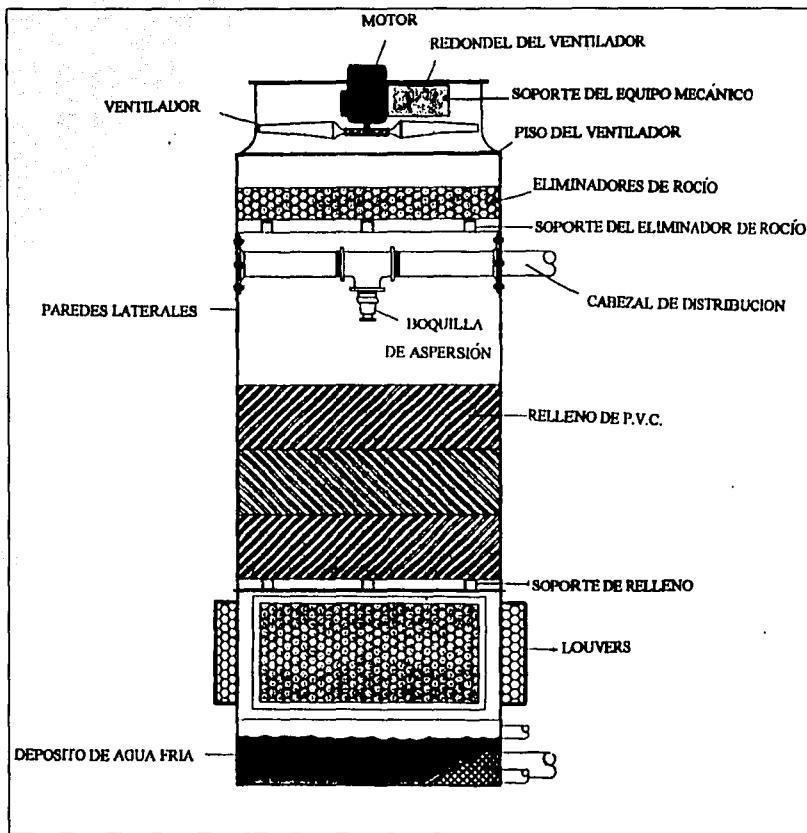


FIGURA I.6 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO MECÁNICO DE TIRO INDUCIDO A CONTRAFLUJO

**TESIS CON
FALSA DE ORIGEN**

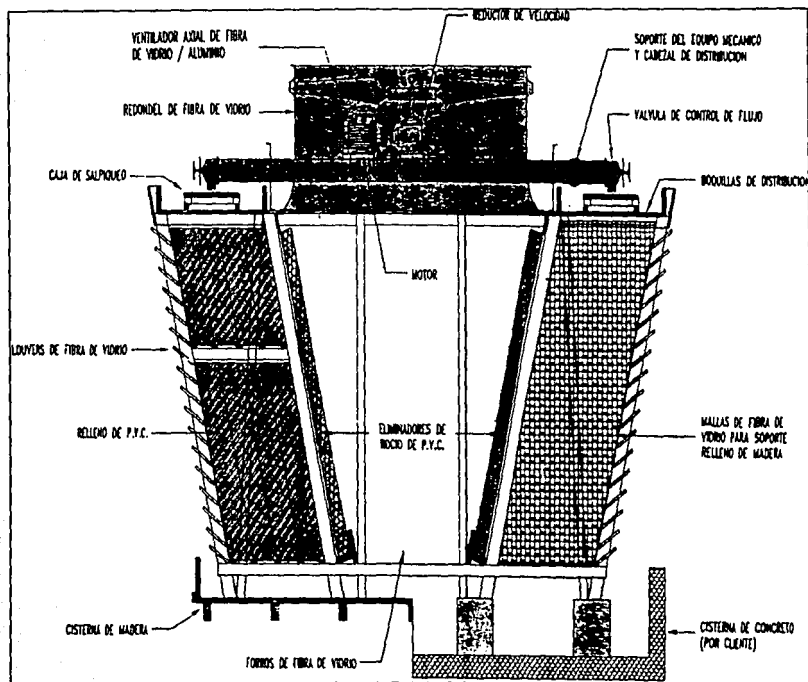


FIGURA 1.7 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO MECÁNICO DE TIRO INDUCIDO FLUJO CRUZADO

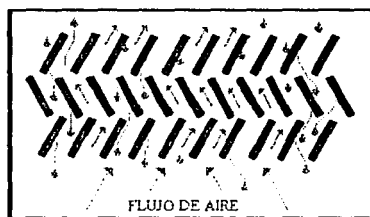


FIGURA I.8. ELIMINADOR DE ROCÍO TIPO TABLETA.

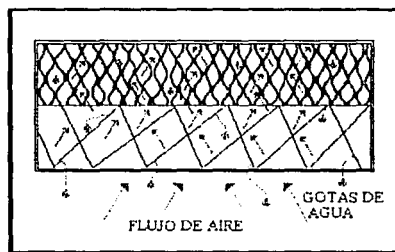


FIGURA I.9. ELIMINADOR DE ROCÍO TIPO CELULAR.

- **Relleno**

El propósito del relleno es extender el tiempo de contacto entre el agua caliente y el aire frío para maximizar el intercambio de calor sensible y el enfriamiento evaporativo dentro de la torre de enfriamiento. En este accesorio es donde se efectúa el intercambio térmico entre la mezcla aire-agua.

La primera torre de enfriamiento rellena que se puso en servicio no tenía más que tres ramales aleatoriamente apilados en una torre de enfriamiento de tiro natural de madera rectangular.

Hay diferentes tipos y formas de relleno, dependiendo de la ingeniosidad y conocimiento del diseñador, los más comunes son:

- Salpiqueo (Splash filling). - son placas de dimensiones y formas diferentes, en las cuales las gotas de agua se irán rompiendo en forma descendente, para que en su caída cedan su calor al aire con el cual se cruzan.

La figura 1.10 muestra el diseño de una barra de madera de salpiqueo, la cual fue introducida por primera vez hace más de 70 años. ⁽³⁾

No obstante que el sistema de barras de salpiqueo de madera todavía es usado en la actualidad, el diseño está limitado en efectividad por el hecho que las gotas de agua solamente son enfriadas en la superficie exterior, dejando calor residual en su interior.

Si las gotas caen lo bastante lejos y la acción del ventilador para enfriarlas es suficiente, el enfriamiento alcanzado es el adecuado.

Entre los rellenos de tipo salpiqueo, el más conocido es la barra " V " (conocida técnicamente como V-bar), instalada en forma paralela al flujo del aire. Figura 1.11

El diseño de la barra "V" provee una mejora en el comportamiento por dos razones:

- 1.-Las perforaciones en forma romboidal generan un considerable número de gotas, las cuales son enfriadas por salpiqueo.
- 2.-La orientación paralela al flujo del aire crea eficiencia tipo película. Cuando una gota golpea el vértice de la barra invertida " V " se forma una película la cual es enfriada rápidamente por la corriente de aire.

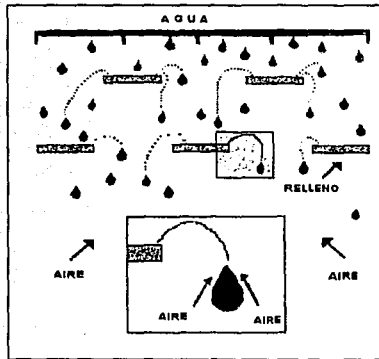


FIGURA I.10 RELLENO TIPO SALPIQUEO EN BARRA



FIGURA I.11 RELLENO TIPO SALPIQUEO DE BARRA V.

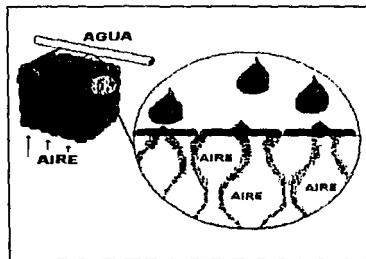


FIGURA I.12 RELLENO TIPO CELULAR.

- Película (film filling). - También conocido como relleno de PVC (policloruro de vinilo) tipo panal o celular de película, es una de las alternativas contemporáneas al relleno tradicional de barra de salpiqueo de madera.

Este relleno fue desarrollado en Suecia y popularizado en los Estados Unidos de Norte América en los años 60's. El relleno celular de película alcanza una máxima eficiencia debido al cambio del sistema de goteo por la formación de película que se efectúa dentro del mismo. Las corrientes de aire en ascenso enfrían la delgada película tan rápidamente como se forman las gotas de agua. Figura I.12 ⁽³⁾

Cuando se considera relleno celular para alguna aplicación, los siguientes factores deben de ser tomados en cuenta:

1. Tratamiento químico del agua.
2. Investigar las temperaturas de deformación del PVC.
3. Evitar posible deterioro químico.
4. Considerar la calidad del agua.

El relleno tipo celular se caracteriza por presentar canalización del aire, tener ángulos opuestos en su configuración la que provee un contacto máximo entre el agua y el aire con una máxima eficiencia térmica, debido a esto tiene un Δp (caída de presión) mayor.

En torres de enfriamiento con mas de 20 ft de altura no es económicamente viable instalar relleno celular.

También, la carga de agua por pie cuadrado de relleno en una área plana es mayor y las celdas deben tener una buena inundación.

□ **Soporte del relleno.**

Su única función es soportar en forma fija el relleno. Los tipos de soporte están en función del empaque o relleno que se va a emplear, en el relleno de salpiqueo es común emplear mallas de acero inoxidable y grapas del mismo material para fijar las tabletas de relleno a la malla, estas también pueden ser de acero inoxidable y fibra de vidrio. El soporte de tipo película es mucho más sencillo que el anterior.

Los rellenos tipo película generalmente son más eficientes que los del tipo rocío, requieren menor potencia de ventilación para un servicio de enfriamiento dado. Sin embargo, en aplicaciones donde hay alta posibilidad de incrustación debido a la formación de cristales o asentamientos de despojos del agua circulante, se prefiere normalmente los rellenos de tipo rocío.

• **Equipo Mecánico**

- **Motor eléctrico.-** Dispositivo que proporciona la fuerza para hacer girar el ventilador.
- **Ventilador.-** Dispositivo utilizado para inducir el flujo de aire a través de la torre de enfriamiento.

Los ventiladores son identificados como máquinas con relativa baja presión de descarga, los cuales mueven gases o vapores por medio de hojas rotatorias o impulsores y cambian la energía rotatoria mecánica en presión de trabajo sobre los gases o vapores. El resultado de este

trabajo en el fluido será en forma de energía de presión o energía de velocidad o alguna combinación de ambas.

La presión máxima de elevación desde la succión hasta la descarga a través de un ventilador es de una PSI. También hay ventiladores de servicio pesado disponible para 2 y hasta 3 PSI de elevación.

Los ventiladores y sopladores industriales son clasificados por la NAFM (NATIONAL ASSOCIATION FAN MANUFACTURES) de acuerdo a su presión de descarga.

Para los ventiladores de flujo axial utilizados en las torres de enfriamiento, se tienen tres tipos de arreglos:

1. Acoplamiento directo entre rodete y motor.
2. Acoplamiento entre rodete y motor por medio de poleas y bandas.
3. Acoplamiento directo entre rodete, reductor y motor.

Este tipo de ventiladores se fabrican en aluminio fundido y en fibra de vidrio

□ **Reductor.-** Un reductor de velocidad es una caja con engranes con cortes especiales el cual reduce la velocidad del sistema motriz del equipo, sin pérdida apreciable de potencia.

La AGMA (AMERICAN GEAR MANUFACTURES ASSOCIATION) clasifica los reductores de velocidad de acuerdo a la posición de la flecha, los podemos tener horizontales o verticales. Se emplean con mayor frecuencia los de ángulo recto debido a que tienen un diseño

especial para servicio en torres de enfriamiento. La relación máxima de reducción que deben tener los reductores de velocidad debe ser de 7:1, en caso de que la relación de reducción sea mayor se podrán usar reductores de velocidad de doble relación de reducción. Su factor de servicio debe ser 2. La caja del reductor de velocidad debe estar construida para trabajo pesado.

- **Louvers**

Por necesidad las torres de enfriamiento de flujo cruzado deben tener toma de aire o louvers. Su propósito principal es evitar el salpiqueo fuera de la torre, ya que las gotas de agua golpean al caer las tabletas de relleno y brincan hacia fuera.

Las torres a contraflujo fueron construidas con louvers debido a que los diseñadores pensaron que era necesario polarizar el aire de entrada y también evitar el salpiqueo.

Hoy en día, las torres de contraflujo modernas han eliminado los louvers para mejor flujo de aire, y con una placa de salpiqueo debidamente situada a 45° no hay salpiqueo.

La figura 1.13 muestra los cambios radicales bruscos de la dirección del aire, las cuales crean una caída de presión estática que baja el comportamiento térmico. ⁽³⁾

- **Pileta De Recolección:**

Receptáculo debajo de la torre de enfriamiento para recoger el agua enfriada por la torre de enfriamiento.

- **Chimenea:**

Es la parte superior de la torre de enfriamiento, además de contener al ventilador permite descargar el aire a alta velocidad.

Generalmente se diseñan en dos tipos:

- Tipo cónico: tiene la característica de que el aire de salida pierde su velocidad de descarga, esta podría en un momento dado ocasionar una recirculación.
- Tipo venturi: se recomienda para alturas mayores de 8 ft (2.44 m) y en torres de capacidad mayor de 5,000 GPM (18,925 LPM), estas también son llamadas recuperadores de velocidad debido a que alcanzan a recuperar hasta un 25 % en la potencia de los motores de los ventiladores, originando por la forma de su construcción similar a un tubo venturi, donde se aumenta la velocidad cuando se varía la presión de descarga del aire. Figura I. 14. (3)

De acuerdo al teorema de Bernoulli, si se incrementa la velocidad de un fluido (aire), disminuye su presión, el diámetro restringido en el plano del ventilador causa que el aire incremente su velocidad, reduciendo la presión abajo e incrementando el volumen de aire efectivo.

También, el diámetro mayor de salida expande el aire extraído y alivia la presión contra la que los ventiladores operan. Los cálculos indican que se pueden obtener aproximadamente un 7% de incremento.

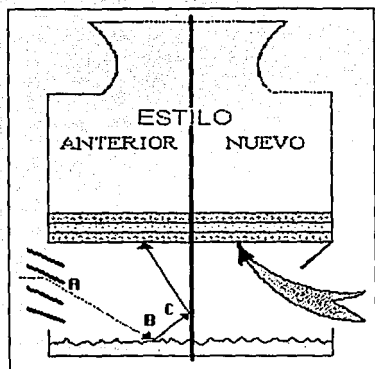


FIGURA I.13 CAMBIOS DE DIRECCIÓN OCASIONADOS POR LOS LOUVERS.

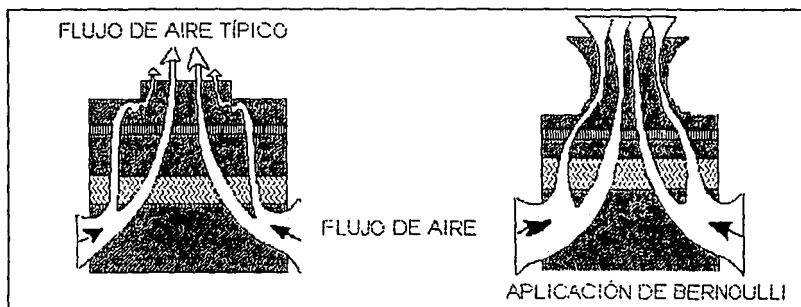


FIGURA I.14 EFECTOS DEL FLUJO DE AIRE EN LA CHIMENEA.

1.4 CONDICIONES DE DISEÑO

Para los propósitos presentes definiremos a la torre de enfriamiento funcionalmente como un dispositivo cuyo único propósito es reducir la temperatura de un gran volumen de flujo de agua. La torre de enfriamiento mas alta en el hemisferio occidental es una de tiro natural de 533 ft (162.5 m) de la planta nuclear Callaway cerca de Fulton Missouri, que está diseñada para enfriar 568,000 GPM (2,149,800 LPM), desde 123 .6 °F a 95 °F (51 °C a 35 °C). Las condiciones de diseño térmico para una torre de enfriamiento pueden establecerse simplemente como:

- Un flujo volumétrico de agua.
- Una temperatura de agua caliente.
- Una temperatura de agua fría.
y un punto de diseño de las propiedades de aire de entrada que incluyen:
 - La temperatura de bulbo húmedo
 - Humedad relativa o temperatura de bulbo seco
 - La presión barométrica.

A la diferencia de temperatura entre agua fría y caliente se le ha denominado rango de enfriamiento. La diferencia de temperatura de enfriamiento y temperatura de bulbo húmedo se le denomina acercamiento de temperatura o simplemente aproximación (approach). Una torre de enfriamiento de agua de tamaño infinito es capaz de producir una temperatura de enfriamiento del agua igual a la temperatura de bulbo húmedo de la corriente de aire de entrada. Sin embargo dichas torres de dimensión física infinita no serían posibles y debe haber un tamaño óptimo económicamente. Es costumbre establecer el punto de diseño de la temperatura del agua fría unos cuantos grados más alta que el punto de diseño de la temperatura de bulbo húmedo. Un acercamiento de 12 °F o 16 °F se considera como nominal para torres de enfriamiento para plantas de potencia. Temperaturas de acercamiento de 5-9 °F se consideran como muy estrechas. Mientras más cerrado es el acercamiento más grande es la torre de enfriamiento. Debemos darnos cuenta que a pesar de que un diseño para un acercamiento de 14 °F es ligeramente más grande que un diseño para un acercamiento de 15 °F, un diseño de 5 °F de acercamiento es mucho más grande que uno de 6 °F.

CAPÍTULO II

PSICROMETRÍA:

II.1 CONCEPTO DE DISEÑO TÉRMICO

II.1 a) LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

La torre de enfriamiento es un dispositivo de remoción de pérdidas de calor. Como se ha establecido previamente el único propósito de las torres de enfriamiento es reducir la temperatura de un gran volumen de una corriente de agua. Generalizaremos esta definición para incluir la aseveración fundamental de que la torre de enfriamiento es un dispositivo en el que se recuperan grandes cantidades de energía térmica de un gran volumen de corriente de agua caliente.⁽¹⁾

II.1 b). ENERGÍA TÉRMICA, ENTALPÍA Y CALOR ESPECÍFICO.

Con el fin de describir el transporte del calor retirado desde la torre de enfriamiento hacia la atmósfera circundante en términos cuantitativos, es importante tener un firme concepto de la energía térmica y saber como determinar el contenido de energía térmica del aire circundante antes de la adición de esta energía retirada.

Empezaremos con un repaso de la psicrometría básica, la termodinámica de los sistemas de mezcla de vapor-aire-agua.

El método mas adecuado que se tiene para medir el contenido de energía térmica (la rapidez del movimiento molecular) es a través del uso de un termómetro de mercurio en vidrio, es decir, la temperatura es una medida directa de la rapidez del movimiento molecular. Consideraremos la definición de la unidad térmica británica (Btu), es decir, la cantidad de energía térmica requerida para elevar la temperatura de una libra de moléculas de agua líquida en 1 °F (17 °C), después tomaremos un punto de referencia que permita medidas comparativas del contenido de energía térmica de un material a una temperatura dada. El contenido de energía térmica de una masa dada, expresada en unidades de Btu/lb, es denominado, en la literatura de la termodinámica, el calor específico de la masa. La palabra específico es usualmente utilizada en la práctica para referirse a propiedades intensivas. Obviamente, la entalpía de una masa es directamente proporcional a la temperatura de la masa. La rapidez de cambio de entalpía de una sustancia dada con la temperatura a presión constante, es denominado " *calor específico* " de la sustancia. Esto se expresa típicamente como sigue:

$$C_p = dh / dt$$

Donde:

h : es el símbolo convencional de la entalpía (contenido energético)

t : es la temperatura en °F.

C_p : es el calor específico en Btu/lb °F.

En virtud de esta definición de los Btu (unidad térmica británica), el calor específico del agua líquida es de 1.0 Btu/lb °F (4.187×10^3 J/Kg °K).⁽¹⁷⁾

II.1 c) INTERRELACIÓN DE ENTALPÍA PARA LA MEZCLA AIRE-VAPOR.

El aire atmosférico que entra a la torre de enfriamiento a través del aire de entrada es realmente una mezcla de aire seco y vapor de agua (excluyendo a partir de esta consideración de todos los contaminantes presentes). Desarrollaremos un gran número de expresiones matemáticas para cuantificar la entalpía (contenido calórico de la mezcla aire-vapor) en función de la temperatura y la relación de mezclado. Con el fin de que asignemos un valor numérico a la entalpía del aire y al vapor de agua, es necesario establecer arbitrariamente puntos de referencia para cada uno de ellos y correlacionar la entalpía con la temperatura. Es costumbre asignar puntos de referencia de la entalpía del aire seco a 0 °F (-17.8 °C), por lo tanto, a una temperatura de 0 °F, la entalpía del aire seco es h_a , y tiene un valor de 0 Btu/lb aire seco. Es costumbre asignar un punto de referencia de entalpía para el agua líquida a 32 °F (0 °C), es decir a una temperatura de 32 °F, la entalpía del agua líquida es 0 Btu/lb agua líquida.

El punto de referencia de la entalpía para el vapor de agua se establece recordando las tablas estándar de las propiedades termodinámicas del agua publicadas por Goff and Gratch, que establecen a 32 °F (0 °C) una cantidad de calor igual a 1,075.8 Btu/lb de agua (2.502×10^6 J/Kg a 0 °C), cantidad requerida para cambiar una libra de agua líquida a una libra de vapor de agua a

32 °F. El punto de referencia de la entalpía para el vapor de agua saturado es de 1,075.8 Btu/lb a 32 °F. Asignaremos este valor de referencia con la siguiente anotación.

$$h_{f,32} = 1,075.8 \text{ Btu/lb vapor}$$

El valor del calor específico para aire seco, C_{pa} , medido por los métodos calorimétricos estándar a 32 °F (0 °C), es 0.24 Btu/lb de aire seco °F ($1.005 \times 10^3 \text{ J/Kg } ^\circ\text{K}$). Recordando que

$$C_p = dh / dt$$

Entonces podemos escribir

$$C_{pa} = 0.24 = (h_a - h_{data}) / (t_a - t_{data}) = h_a / t_a$$

La entalpía del aire seco a cualquier temperatura dada es:

$$h_a = C_{pa} t_a = 0.24 t_a \text{ (Btu/lb aire seco)}$$

El calor específico del vapor de agua, C_{pv} , determinado vía calorimétrica a 32 °F (0 °C), es 0.45 Btu/lb °F ($1.884 \times 10^3 \text{ J/Kg } ^\circ\text{K}$).⁽¹⁷⁾

Entonces podemos escribir:

$$C_{pv} = 0.45 = (h_v - 1,075.8) / (t_v - 32 \text{ } ^\circ\text{F})$$

La entalpía de vapor de agua a cualquier temperatura es:

$$h_v = h_{fg,32} + C_{pv} (t_v - 32^\circ F)$$

$$h_v = 1,075.16 + 0.45 (t_v - 32^\circ F)$$

En unidades de Btu/lb vapor.

Con la finalidad de expresar con sencillez y permitir calcular la entalpía de una mezcla de aire seco y vapor de agua, se define el cociente de humedad, W , como el cociente másico del vapor de agua y aire seco (lb vapor/ lb aire seco) para una mezcla de aire-vapor.

La entalpía de una mezcla de aire-vapor está dada por:

$$h_{av} = C_{pa}t + W [h_{fg,32} + C_{pv}(t-32^\circ)] \quad \text{ec. 1.0}$$

En unidades de Btu/lb aire seco.

Desarrollaremos ahora la expresión matemática de la entalpía que será útil mas tarde en este texto. La interrelación entálpica incluirá un nuevo parámetro denominado, "el calor húmedo de aire seco", C_{pm} , definiéndolo como sigue:

$$C_{pm} = C_{pa} + W C_{pv}$$

En la literatura especializada a la ecuación de entalpía suplementaria, desarrollada a continuación, se le denomina "ecuación de entalpía convolucionada". Esta ecuación nos dará la temperatura de aire-vapor como una función de la mezcla de entalpía y la relación de humedad.

Iniciando con la ecuación 1.0:

$$h_{av} = C_{pa}t + W [h_{fg,32} + C_{pv} (t-32^\circ)]$$

Expandiendo

$$h_{av} = C_{pa}t + Wh_{fg,32} + WC_{pvr} - 32WC_{pv}$$

Rearreglando:

$$h_{av} = (C_{pa} + WC_{pv})t + (h_{fg,32} - 32C_{pv})W$$

Insertando la expresión para calor húmedo:

$$h_{av} = C_{pm}t + (h_{fg,32} - 32C_{pv})W$$

Resolviendo para t, tenemos:

$$t = (1/C_{pm})[h_{av} - (h_{fg,32} - 32C_{pv})W] \quad \text{ec. 2.0}$$

II.2 LA CARTA PSICROMÉTRICA

Las propiedades de las mezclas de aire-vapor de agua se pueden recoger en diagramas como el de la figura II. 1, válida para mezclas de aire-vapor de agua a una atmósfera de presión.⁽¹⁵⁾

La figura II.2, ilustra el uso de los diagramas psicrométricos. El punto <> representa una muestra de aire húmedo a temperatura θ_1 y humedad absoluta H_1 . La humedad absoluta porcentual de este aire, H_{p1} %, viene indicada por la curva de humedad absoluta porcentual constante que pasa por el punto <>. Suele ser preciso interpolar entre dos líneas. La abscisa <<d>> del punto <<c>> en la línea de humedad absoluta 100% es el punto de rocío de la muestra de aire. Los puntos de la línea a-b representan muestras de aire con la misma temperatura de

saturación adiabática. Como la temperatura de saturación adiabática del aire saturado es igual a su temperatura, la abscisa del punto <<a>> (intersección de la línea a-b con la de humedad absoluta 100%) indica el valor, θ_{S1} , de la temperatura de saturación adiabática. La humedad de saturación H_{S1} correspondiente a esta temperatura de saturación adiabática viene dada por la ordenada del punto <<a>>. El calor y el volumen específicos del aire húmedo en la muestra representada por el punto <> se pueden obtener a partir de curvas auxiliares. El calor específico del aire húmedo C_{H1} es la abscisa del punto <<h>> en la línea de calor húmedo en función de la humedad y tiene como ordenada H_1 . Las ordenadas de los puntos <<e>> y <<f>> son, respectivamente, los volúmenes específicos del aire seco y el aire saturado a θ_1 . El volumen específico del aire húmedo es la ordenada del punto <<g>> situado de modo que: ⁽¹⁶⁾

$$eg/ef = H_{p1}/100$$

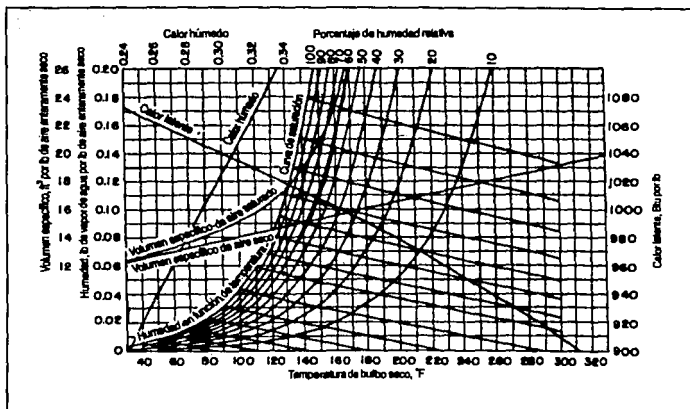


FIGURA H.1 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

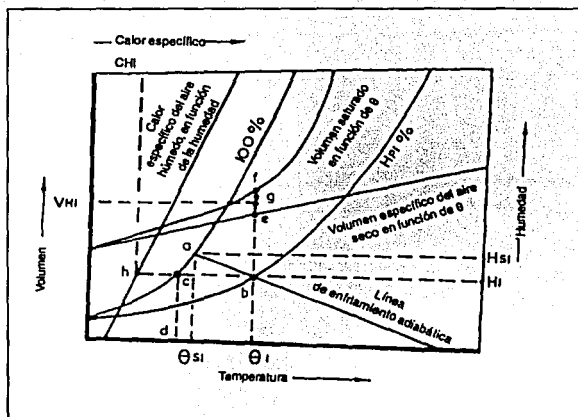


FIGURA II.2 UTILIZACIÓN DE UN DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

Recordando las definiciones de la temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa, temperatura de rocío, temperatura de bulbo seco, volumen específico y con referencia a las siguientes condiciones de diseño térmicas:

Flujo volumétrico del agua = 572,000 GPM (2,165,020 LPM)

HWT = temperatura de agua caliente = 127.4 °F (53 °C)

CWT = temperatura de agua fría 97 °F (36 °C)

WBT = temperatura de bulbo húmedo 79 °F (26 °C)

RH = humedad relativa = 60%

Se pueden determinar los valores para las siguientes propiedades a partir de la carta psicrométrica y las tablas psicrométricas incluidos en los anexos correspondientes.

1. Temperatura de bulbo seco = 90.77 °F (a partir de la carta psicrométrica, anexo A)
2. Volumen específico = 14.285 ft³/lb aire seco (a partir de la carta psicrométrica, anexo A)
3. Densidad de vapor = 0.002183 X 0.60 = 0.00131 lb vapor/ft³ (utilizando la gráfica de densidad del vapor, anexo C)
4. Densidad de la mezcla aire - vapor = (1/14.285) + 0.00131 = 0.077314 lb mezcla/ft³
5. Cociente de humedad = (0.0311833 X 0.6) = 0.01871 lb vapor / lb aire seco (anexo K)
6. Entalpía de la mezcla = 42.62 Btu/lb aire seco (a partir de las tablas de entalpía, anexo E)

Es importante mencionar que la temperatura de bulbo húmedo es un parámetro especialmente importante en el análisis de la torre de enfriamiento evaporativas debido a que:

1. El contenido de energía térmica de la mezcla de aire vapor que entra a la torre de enfriamiento puede ser determinada directamente cuando la temperatura de bulbo húmedo de la mezcla es conocida.
2. La temperatura de bulbo húmedo representa el límite teórico mas bajo para la temperatura de salida del agua fría de la torre de enfriamiento.

CAPÍTULO III

III. TEORÍA DE MERKEL

III.1 IMPORTANCIA DEL COCIENTE L/G.

El aire ambiental arrastrado a través de la corriente de aire de entrada de una torre de enfriamiento absorberá una cantidad considerable de humedad conforme pasa a través de la torre.

Por lo tanto, el flujo másico de la mezcla aire-vapor se incrementa a lo largo de la trayectoria del flujo de aire a través de la torre.

Debemos reconocer que el flujo másico del aire seco a través de la torre de enfriamiento es invariante, es decir, el número de moléculas de aire seco que entra a la torre de enfriamiento, es igual, al número de moléculas del aire seco que abandona la torre de enfriamiento. El flujo másico del aire seco, normalmente asignado por el símbolo " G " y expresado en unidades de lb aire seco por hora, es el parámetro más importante en nuestro análisis en el comportamiento térmico. Es costumbre asignar el símbolo " L " al flujo másico del agua circulante que entra a la torre de enfriamiento (libras de agua líquida por hora).

En la práctica, el flujo másico del agua líquida es calculada como sigue:

$L = \text{flujo del agua en GPM} \times 500 [=] \text{lb/h}$

Donde 500 es un factor de conversión (8.33 lb/gal X 60 min/h)

Veremos mas tarde que las correlaciones empíricas del comportamiento térmico de las torres de enfriamiento son normalmente expresadas en términos del cociente "líquido-gas", conocido como L/G . Obviamente, si uno conoce el flujo volumétrico del agua y L/G en el punto de diseño, entonces el flujo volumétrico del agua requerida en las condiciones de diseño son también conocidas. La forma de calcular el valor de L/G requerido será laborioso. Empezaremos con una discusión profunda de la teoría de Merkel para el proceso de enfriamiento evaporativo en una derivación rigurosa de la ecuación integral de Merkel.

III.2 DERIVACIÓN DE LA ECUACIÓN DE MERKEL.

En 1925 el estudiante graduado Alemán Friedrich Merkel, publicó su tesis titulada "enfriamiento evaporativo". El trabajo teórico para los procesos de enfriamiento evaporativo desarrollados por Merkel es muy útil y ha sido criticado desde hace tiempo por varios profesores universitarios y otros teóricos, debido a algunas consideraciones burdas que se hacen en el transcurso del desarrollo de la teoría. Sin embargo la teoría de Merkel continúa siendo la mas ampliamente aceptada y el modelo matemático más usado para los procesos de transferencia de calor y masa en las torres de enfriamiento.

Esto es debido a que la teoría de Merkel da como resultado una metodología analítica simple y lo más importante, que funciona.

Empezaremos nuestra derivación de la ecuación de Merkel considerando un volumen de control de un pie cúbico en el interior de una torre de enfriamiento con gotas de agua que caen hacia abajo a través de nuestro volumen de control y con una mezcla de aire vapor que fluye hacia arriba a través de dicha superficie gaussiana. Debido a que nuestro volumen de control es pequeño comparado con el tamaño de la torre de enfriamiento global, expresaremos los cambios de temperatura, transferencia de calor, las dimensiones, etc., en términos diferenciales. En lugar de describir el volumen en términos del producto $dx dy dz$, simplemente nos referiremos a él como el volumen diferencial dV en unidades de ft^3 . Denominaremos el flujo másico de las gotas de agua que caen a través de nuestro volumen con la letra L , en libras de agua líquida por hora. El flujo másico de la corriente de aire que fluye hacia arriba a través del volumen será denominado con la letra G , en libras de aire seco por hora. La superficie del área interfacial que existe entre las gotas de agua y la corriente de aire será expresada con el parámetro " a ", en unidades de ft^2 de área superficial por ft^3 de volumen. El área superficial total para la transferencia de calor y masa desde el agua hacia el aire estará entonces dada por el producto de adV en unidades de ft^2 .

Si recordamos de nuestra teoría elemental de transferencia de calor, la relación de $dQ = mC_p dt$, describe cuantitativamente la velocidad de transferencia, dQ en Btu/h, desde la superficie interfacial, a , hasta un fluido que fluye a un flujo másico, m , en libras por h, que tiene

una capacidad calorífica, C_p , en Btu/lb °F, y que sobrelleva un cambio de temperatura, dt , en °F, entonces podemos escribir:

$$dq_w = L dt_w \quad \text{ec. 3.0}$$

Donde:

dq_w : es la pérdida de energía térmica, proveniente de las gotas de agua líquida, en Btu/h, que ocurre conforme las gotas pasan a través de nuestro volumen de control dV y en el intervalo de la temperatura.

dt_w : es la reducción de la temperatura de las gotas asociadas con el proceso de enfriamiento. Nótese que no se incluye el calor específico en la ecuación anterior. Es costumbre eliminar el C_p en esta derivación debido a que el calor específico del agua, por definición, es igual a la unidad.

Analizaremos más de cerca lo que está sucediendo en el interior del volumen de control, enfocando nuestra atención a una gota de agua líquida. Asumiremos que la gota de agua bajo estudio se encuentra a una temperatura uniforme, t_w . Dicha gota de agua está rodeada por una capa límite fina de aire saturada a una temperatura, t_f ; la película alrededor de la gota se mantiene en estado de saturación como resultado de la difusión de las moléculas de agua desde la interfase. La corriente de aire que fluye alrededor de la gota de agua está a una temperatura, t_a . Toda la energía térmica que se pierde desde la gota de agua pasa a través de la película saturada. La energía térmica perdida desde la gota puede ser expresada como:

$$Q_{\text{gota}} = K_F A_{\text{gota}} (t_w - t_f).$$

Donde

Q_{gota} = es la energía total perdida desde la gota en Btu/h

K_F : es la conductancia global de la transferencia de calor y masa entre la gota y la película circundante en Btu/h ft² °F

A_{gota} = es el área superficial de la gota de agua en ft².

Recordando que el área superficial total de todas las gotas en el volumen de control está dada por $a dV$, la energía total perdida de todas las gotas en dV está dada por

$$dq_w = K_F a dV (t_w - t_f) = L dt_w \quad \text{ec. 4.0}$$

La expresión anterior es la transferencia total de calor y masa de todas las gotas en nuestro volumen de control, dV , hacia las capas limitantes saturadas alrededor de cada una de las gotas.

La transferencia de energía térmica entre la película alrededor de las gotas y la corriente de aire alrededor de las gotas involucra dos procesos de transporte de energía simultáneos. Debido a que la temperatura de la película, $t_f > t_a$, una porción de la energía térmica transferida es por transferencia de calor "sensible", es decir, el calor debido únicamente a la existencia de un gradiente de temperatura. Este modo de transferencia de calor involucra los mecanismos de convección y conducción. La porción de la energía térmica transferida entre la película y el aire debido al calor sensible puede ser escrita en la forma:

$$dq_s = K_s a dV (t_f - t_a)$$

Donde:

dq_s = es la transferencia de calor sensible total de las películas de todas las gotas en el volumen dV hacia la corriente de aire en unidades de Btu/h.

K_s = conductancia efectiva de transferencia de calor sensible entre la película y la corriente de aire en unidades de Btu/h $\text{ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$.

La mayor parte de la transferencia de calor entre la película y la corriente de aire ocurre vía mecanismo de "evaporación". Esto involucra una emigración de moléculas de vapor de agua en la película, que tiene un contenido de energía térmica, igual a $h_{fg,32} + C_{pv}(t_f - 32^\circ)$ Btu/lb vapor hacia el aire circundante. Esta migración de moléculas de vapor es el resultado de un gradiente de humedad que existe entre la película y la corriente de aire. El flujo másico de las moléculas de vapor desde la película de todas las gotas hacia la corriente de volumen de control dV está dado por:

$$dm_{\text{vapor}} = K_L a \delta V (W_f - W_a) \quad \text{ec. 6.0}$$

Donde:

dm_{vapor} = flujo másico del vapor desde la película del aire en unidades de lb vapor / h.

K_L = proporción de transferencia de masa en unidades de lb vapor / h FT^2 (lb vapor / lb aire seco).

W_f = proporción de humedad de la película saturada a la temperatura t_f , en unidades de lb vapor / lb aire seco.

W_a = proporción de humedad de la corriente de aire en unidades de lb vapor/ lb aire seco.

La cantidad de energía térmica transferida asociada con esta migración de moléculas de vapor está dado por:

$$dq_L = dm_{\text{vapor}} [h_{fg,32} + C_{pv} (t_f - 32^\circ)]$$

La velocidad de transferencia total de calor y masa desde las gotas está dada por:

$$dq_w = dq_s + dq_L = L dt_w$$

Podemos reescribir esta expresión como:

$$dq_w = L dt_w = K_s adV(t_f - t_a) + K_L adV(W_f - W_a)[h_{fg,32} + C_{pv} (t_f - 32^\circ)]$$

Esta expresión da la energía térmica total transferida desde las gotas de agua en el volumen de control dV hacia la corriente de aire.

En 1922, el profesor de ingeniería química del M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), W.K. Lewis, publicó un artículo titulado "EVAPORACIÓN DE UN LÍQUIDO EN UN GAS". En el estudio de la teoría de Lewis, él definió un parámetro adimensional:

$$Le = K_s / K_L C_{pm}$$

Conocido ahora como la relación de Lewis, él determinó que para los sistemas de vapor aire-agua, este cociente de conductancias de transferencia de masa y calor es muy cercanamente igual a la unidad, es decir:

$$K_s = K_L C_{pm}$$

Donde

$$C_{pm} = C_{pa} + W C_{pv}$$

Merkel asumió que esta igualdad era exacta. La expresión para la energía térmica total perdida de las gotas de agua podría ser simplificada como sigue:

$$dq_w = L dt_w = K_L C_{pm} a dV (t_f - t_a) + K_L a dV (W_f - W_a) [h_{fg,32} + C_{pv}(t_f - 32^\circ)]$$

Conectando términos:

$$\partial q_w = L \partial t_w = K_L a \partial V \{ C_{pm} (t_f - t_a) + (W_f - W_a) [h_{fg,32} + C_{pv}(t_f - 32^\circ)] \}$$

En unidades de Btu/h.

El siguiente paso en la derivación de la ecuación de Merkel involucra la ecuación de entalpía convulsionada que fue derivada anteriormente en nuestra discusión en la relación de entalpía para la mezcla aire-vapor.

Utilizando la ecuación de entalpía convulsionada, podemos expresar la temperatura de la película saturada alrededor de las gotas del líquido, t_f , en la siguiente forma:

$$t_f = (1 / C_{pm}) [h_f - (h_{fg,32} - 32 C_{pv}) W_f]$$

Donde:

h_f y W_f son la entalpía y el valor del cociente proporción de humedad, respectivamente, para la película de aire saturado alrededor de las gotas.

De manera similar se puede escribir la temperatura de la corriente de aire, t_a , como sigue:

$$t_a = (1 / C_{pm}) [h_a - (h_{fg,32} - 32 C_{pv}) W_a]$$

Podemos también escribir:

$$t_f - t_a = (1 / C_{pm})[(h_f - h_a) - (W_f - W_a)(h_{fg,32} - 32C_{pw})]$$

sustituyendo esta expresión para el gradiente de temperatura, $t_f - t_a$, en nuestra ecuación de pérdida de energía térmica total, tenemos:

$$\dot{q}_w = L\dot{a}_w = K_L a \dot{V} \{ (h_f - h_a) - (W_f - W_a)(h_{fg,32} - 32C_{pw}) + (W_f - W_a)[h_{fg,32} + C_{pw}(t_f - 32^\circ)] \}$$

Esta ecuación puede ser simplificada hasta la forma

$$\dot{q}_w = L\dot{a}_w = K_L a \dot{V} [(h_f - h_a) + (W_f - W_a)(C_{pw} t_f)]$$

Debido a que $(W_f - W_a)(C_{pw} t_f) \ll (h_f - h_a)$,

Merkel eliminó el segundo término $(C_{pw} t_f)$, dando lugar a :

$$\dot{q}_w = L\dot{a}_w = K_L a \dot{V} (h_f - h_a)$$

La consideración final de Merkel para simplificar, fue asumir que la temperatura de la capa límite del aire saturado alrededor de las gotas es igual a la temperatura de las gotas de agua en su interior y que el coeficiente de transferencia de masa, K_L puede ser sustituido por un coeficiente de transferencia de masa y calor global, K , para la transferencia de energía térmica desde las gotas de agua hasta la corriente de aire. Entonces, en forma estándar tenemos:

$$dq = L\dot{a} = K a dV (h' - h)$$

Arreglando términos:

$$K a dV/L = dt/(h' - h)$$

Donde:

h' : es la entalpía de la película alrededor de las gotas

h : es la entalpía del aire.

La integración desde la temperatura del agua fría, CTW, hasta la temperatura de agua caliente, HTW, nos da lo siguiente:

$$\frac{Ka}{LCp} \int_0^V \partial V = \int_{CTW}^{HTW} \frac{\partial t}{h' - h}$$

$$\frac{KaV}{LCp} = \int_{CTW}^{HTW} \frac{\partial t}{h' - h}$$

Es interesante notar que la expresión del lado izquierdo de la ecuación anterior es análoga a la definición del número de unidades de transferencia (NTU), que se utiliza en los análisis convencionales de intercambiadores de calor como una medida de la magnitud del intercambio de calor:

$$NTU = \frac{UA}{mCp}$$

Se acostumbra en la literatura de las torres de enfriamiento eliminar el término de Cp (el cual por definición es igual a la unidad) que aparece en la ecuación integral no lineal de transferencia de calor y masa.

La relación resultante a menudo denominada ecuación de Merkel:

$$\frac{KaV}{L} = \int_{CWT}^{HWT} \frac{\partial t}{h' - h}$$

Expresada en forma integrada tenemos:

$$\frac{KaV}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dt}{h' - h}$$

En donde:

K = Coeficiente de transferencia de masa en lb de agua/ft²h.

a = Área de contacto en ft²/ft³ de volumen de torre

V = Volumen de enfriamiento activo en ft³/ft² de área plana

L = Velocidad del agua en lb/ft²h

h' = Entalpía del aire saturado a la temperatura del agua en Btu/lb

h = Entalpía de la corriente de aire en Btu/lb

T_1 y T_2 = Temperaturas del agua en la entrada y la salida en °F.

El lado derecho de la ecuación de Merkel se expresa por completo en términos de las propiedades del aire, el agua y es independiente de las dimensiones de la torre.

En la figura III.1 se ilustra las relaciones del agua, el aire y el potencial impulsor que existe en una torre de contraflujo, en donde el aire fluye en sentido paralelo, pero siguiendo una dirección opuesta al flujo del agua. La comprensión de este diagrama constituye una base importante para entender el proceso de la torre de enfriamiento.⁽¹⁵⁾

La línea de operación del agua está representada por la línea AB y se especifica por medio de las temperaturas del agua de la torre en la entrada y la salida. La línea de operación del aire principia 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 ($h' - h$). para enfriar el agua $1\text{ }^{\circ}\text{F}$, la entalpía por libra de aire aumenta 1 Btu multiplicada por la razón de libras de agua por libra de aire. La relación 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 el diagrama como la diferencia entre la temperatura del agua fría que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

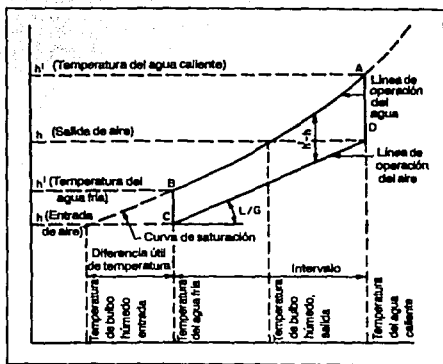


FIGURA III.1 BALANCE CALORÍCO DE UN PROCESO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO

La ecuación de Merkel en forma integrada se representa por medio del área *ABCD* de este diagrama, y dicho valor se conoce como la característica de la torre, que varía con la razón *L/G*.

El término *KaV/L* se denomina número de Merkel en la literatura europea de las torres de enfriamiento y es una medida de la dificultad del servicio de enfriamiento especificado.

El valor de *KaV/L* puede ser calculado utilizando los métodos de integración numéricos y teniendo los valores de los cuatro parámetros siguientes: *L/G*, *HWT*, *CWT* & *WBT*.

III.3 ECUACIÓN DE BALANCE DE ENERGÍA EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Ahora que hemos derivado la ecuación de Merkel debemos determinar como resolverla y mas importante, descubrir como utilizarla en la determinación de la proporción líquido-gas. Para la torre de enfriamiento, la derivación fue llevada a cabo en términos de las pérdidas de energía térmica desde las gotas de agua que caen en una corriente de aire a contra corriente. Sin embargo hemos dicho poco acerca de lo que sucede a la corriente de aire que pasa a través de la torre de enfriamiento. Obviamente la entalpía del aire se incrementa a medida que fluye en su curso a través de la torre. Debido a que la pérdida de energía total desde el agua debe ser igual a la energía total ganada por la corriente de aire podemos escribir la siguiente ecuación de balance de energía.

$$L dt = G dh$$

Donde :

G: es el flujo másico del aire seco en lb aire seco

dh : es un cambio incremento en la entalpía del aire en Btu/lb aire seco. Se puede reescribir la ecuación de balance de energía de la siguiente forma:

$$\frac{L}{G} = \frac{dh}{dt} = \frac{h}{t}$$

Teniendo en mente que L y G son algo constantes vemos que el cambio en la entalpía del aire varía linealmente con los cambios de la temperatura del agua. Si nosotros consideramos el cambio global en la temperatura del agua y la entalpía del aire que ocurre en nuestra torre de enfriamiento nos damos cuenta de lo siguiente:

$$\Delta h = (\text{rango}) (L/G)$$

De manera que la entalpía de salida del aire = $h_{\text{salida}} = (\text{rango}) (L/G) + h_{\text{entrada}}$

Donde:

h_{entrada} es la entalpía del aire que entra a la torre de enfriamiento.

III.4. CÁLCULO DEL NÚMERO DE MERKEL

El Instituto de Torres de Enfriamiento (CTI) ha estandarizado el método numérico de Tcheycheff para la integración y solución a la ecuación de Merkel:

$$\frac{KaV}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dt}{h_w - h_a} \cong \frac{T_1 - T_2}{4} \left(\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} \right)$$

Donde:

h_w = entalpía de la mezcla de aire-vapor de agua a la temperatura masiva del agua en Btu/lb de aire seco.

h_a = entalpía de la mezcla de aire-vapor de agua a la temperatura de bulbo húmedo en Btu/lb de aire seco.

$$\Delta h_1 = \text{valor de } (h_w - h_a) \text{ a } T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$$

$$\Delta h_2 = \text{valor de } (h_w - h_a) \text{ a } T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$$

$$\Delta h_3 = \text{valor de } (h_w - h_a) \text{ a } T_1 + 0.4(T_1 - T_2)$$

$$\Delta h_4 = \text{valor de } (h_w - h_a) \text{ a } T_1 + 0.1(T_1 - T_2)$$

Para ser mas representativos a la explicación de este método solo se presenta una guía para calcular el número de Merkel a través de un ejemplo de cálculo utilizando los siguientes parámetros de entrada y las tablas de entalpía estándar del aire saturado, anexo E , calculamos un valor de $KaV/L = 1.674^{(9)}$

$$L/G = 1.3867$$

$$HWT = 118.4 \text{ } ^\circ F = T_1$$

$$CWT = 86.4 \text{ } ^\circ F = T_2$$

$$WBT = 72 \text{ } ^\circ F$$

$$R = 32 \text{ } ^\circ F$$

$$\Delta h = 1.3867 \times 32 = 44.374 \text{ Btu/lb de aire seco}$$

$$h_1 \text{ a } 72.0 \text{ }^\circ\text{F, WBT} = 35.830 \text{ Btu/lb de aire seco}$$

$$h_2 = 80.204 \text{ Btu/lb de aire seco}$$

Temperatura $T, \text{ }^\circ\text{F}$	h_w	h_a	$h_w - h_a$	$1 / (h_w - h_a)$
$T_2 + 0.1R = 89.6$	55.37	$h_1 + 0.1\Delta h = 40.267$	15.103	0.06621
$T_2 + 0.4R = 99.2$	70.32	$h_1 + 0.4\Delta h = 53.580$	16.740	0.05974
$T_1 - 0.4R = 105.6$	82.58	$h_2 - 0.1\Delta h = 62.454$	20.126	0.04969
$T_1 - 0.1R = 115.2$	105.52	$h_2 - 0.4\Delta h = 75.767$	29.753	0.03361
				$\Sigma = 0.20925$
Valor de $KaV/L = 0.20925 \times 32/4 = 1.6740$				

En este punto de nuestro desarrollo de la metodología del análisis del enfriamiento térmico debemos hacer las siguientes observaciones tomando en cuenta la teoría de Merkel:

1. La ecuación de Merkel no tiene nada que ver con el tipo de relleno usado en la torre de enfriamiento o en ese sentido, con cualquier otra característica física del diseño de la torre de enfriamiento. El valor de KaV/L prescrito por la ecuación de Merkel simplemente es un índice que indica la dificultad relativa del enfriamiento dado. ⁽⁸⁾

2. La teoría de Merkel fue introducida como un medio para determinar el valor del punto de diseño de L/G , sin embargo hemos encontrado que la solución de la ecuación de Merkel requiere conocimiento previo del valor de L/G .⁽⁸⁾

La teoría de Merkel fue introducida como un medio de calcular el flujo de aire volumétrico requerido para alcanzar un punto de enfriamiento específico. A pesar de que hemos visto como la ecuación integral de Merkel se puede resolver utilizando métodos numéricos, por el momento no se ha visto como la teoría de Merkel puede conducir al valor de L/G en el punto de diseño.

Como hemos visto los valores de $Ka//L$ generados por la ecuación de Merkel son genéricos y relacionan solamente las condiciones de diseño térmicas básicas con la velocidad de flujo de aire.

CAPÍTULO IV

IV. ANÁLISIS TÉRMICO EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO MECÁNICO.

Muchas teorías han sido desarrolladas para describir la transferencia de calor y masa que tiene lugar en el interior de las torres de enfriamiento. La mayoría de dichas teorías están basadas en principios netamente ingenieriles debido a que una torre de enfriamiento puede ser considerada como un intercambiador de calor donde entran en contacto directo una corriente de agua caliente con otra de aire frío y seco. ⁽¹⁾

No hay método aceptable para el cálculo exacto de las superficies de contacto total entre el agua y el aire en el interior de la torre. Por lo tanto, un factor "K" o coeficiente de transferencia de calor, no puede ser determinado directamente o calculado a partir de las teorías de transferencia de calor.

Para muchos tipos de dispositivos de transferencia de calor se rechaza la solución por métodos teóricos. Los datos de diseño deben ser obtenidos completamente por pruebas a escala bajo condiciones de operación reales. Los resultados pueden graficarse posteriormente y formularse como una correlación empírica.

La experimentación e investigación utilizada en el análisis de las torres de enfriamiento puede ser descritas como "la teoría de caja negra". En ella, las condiciones de frontera son definidas y descritas por ecuaciones fundamentales y modelación matemática. Los procesos exactos por los cuales la transferencia de calor y masa toman lugar dentro de un intercambiador de calor de contacto directo, no son completamente conocidos. Sin embargo, los resultados pueden ser formulados con ecuaciones que evalúen y predigan adecuadamente el comportamiento del dispositivo bajo la mayoría de las condiciones de operación.

El concepto generalmente aceptado para evaluar el comportamiento de las torres de enfriamiento fue desarrollado por Merkel en 1925. Su análisis y ecuaciones incluían la transferencia de calor sensible y latente como parte del proceso global de transferencia de calor y masa, basándose en la diferencia de entalpías como la fuerza impulsora. ⁽³⁾⁽⁸⁾

IV.1 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA TORRE.

En 1976, Neil W. Kelly publicó las curvas de comportamiento para torres de enfriamiento de flujo cruzado utilizando las fórmulas básicas del método de integración de 4 puntos de Tcheycheff, pero modificado para los requerimientos particulares de este tipo de configuración de torre de flujo cruzado. Su libro, con su introducción a las curvas de comportamiento, ha desentrañado mucho del "misterio" que rodea a la tecnología de flujo cruzado y provee una guía muy útil para diseñadores.

La figura IV.1, es una representación de una curva de comportamiento para torres de enfriamiento de flujo cruzado o contraflujo, para una temperatura de bulbo húmedo de entrada de 82°F (27.8 ° C) y un rango de enfriamiento de 30°F. Las curvas de Kelly se extienden desde 35 °F (1.66 °C) hasta 85°F (29.4 °C), cubriendo muchos rangos de enfriamiento. Las curvas se grafican con la demanda térmica KaY/L o KaV/L (como ordenada) en una función de la proporción L/G (en el eje de las abscisas).

Las líneas de aproximación (temperatura de agua fría menos temperatura de bulbo húmedo) son parámetros de diseño relevantes, por lo que se hacen resaltar en la representación gráfica. Las curvas de demanda se determinan independientemente del diseño y comportamiento de la torre para cualquier relleno en particular.

Este libro de referencia con sus familias de curvas, ha llegado a ser el estándar industrialmente aceptado y en la actualidad se le conoce como el libro azul del CTI (Institute Cooling Tower).

Usaremos el conjunto de gráficas del libro azul apropiado en nuestra evaluación del valor de L/G en el punto de diseño.

La característica de la torre, es decir, el valor de KaY/L para flujo cruzado o KaV/L para contraflujo, se determina a partir de la intersección de 3 puntos, que son:

- L/G
- la aproximación
- y/o el valor característico.

Al calcular y graficar los dos primeros parámetros anteriores, se localiza el valor de KaV/L . El valor de KaV/L también puede ser evaluado con la integración de Techebycheff e utilizando los valores de la carta de entalpía, el método aceptado para localizar más fácilmente el punto de diseño es calcular el coeficiente L/G e intersectar la curva de aproximación sobre la curva de comportamiento apropiada o el punto húmedo de prueba y el rango. Entonces, al graficar el punto de diseño en la intersección de L/G con la aproximación, automáticamente se obtiene la demanda térmica KaY/L o KaV/L sobre la escala ordenada vertical.

Tanto la característica de la torre como el cociente L/G son valores adimensionales. Mientras más grande sea la demanda térmica sobre la escala ordenada, más difícil será que la torre de enfriamiento alcance las condiciones de diseño. También es frecuente que mientras más alto sea el volumen de aire (el valor "G" del cociente líquido / gas) más fácil será para la torre operar en el punto de diseño, (el menor valor de L/G llega a obtenerse a medida que uno se mueve hacia la izquierda sobre la abscisa horizontal).

La demanda térmica, KaV/L o KaY/L debe ser igualada por el comportamiento térmico y la capacidad del diseño de la torre. La intersección de la curva característica de la torre en el punto

de diseño con la línea de aproximación, determina el cociente L/G en el cual la torre debe operar para alcanzar las temperaturas de diseño especificadas.

Los valores de los parámetros de diseño KaV/L o KaY/L y de L/G , ajustados para cambios en la temperatura pueden ser transpuestos a otras curvas de demanda. Los puntos ajustados predicen la aproximación para condiciones de operación diferentes a la de diseño. Esta es una interrelación importante en la prueba térmica de las torres.

La ecuación de KaV/L es una determinación de la demanda térmica a contra flujo, mientras que la ecuación de KaY/L es una determinación de la demanda térmica a flujo cruzado. Esta es la llamada "característica de la torre" y es independiente del tipo y configuración del empaque de relleno. Los valores requeridos para obtener KaV/L o KaY/L están basados en las condiciones de diseño requeridas de la situación de retiro de calor particular que esté siendo investigada

Los compradores y operadores astutos y con conocimiento le requieren a los fabricantes que les provean curvas de comportamiento características de sus puntos de diseño de las torres y el comportamiento de los materiales de transferencia de calor (relleno) que han de ser utilizados, junto con la curva de Kelly para sus torres, con el objetivo de obtener predicciones adecuadas del comportamiento, como se describe en las figuras IV.3 y IV.6. ^(5X2)

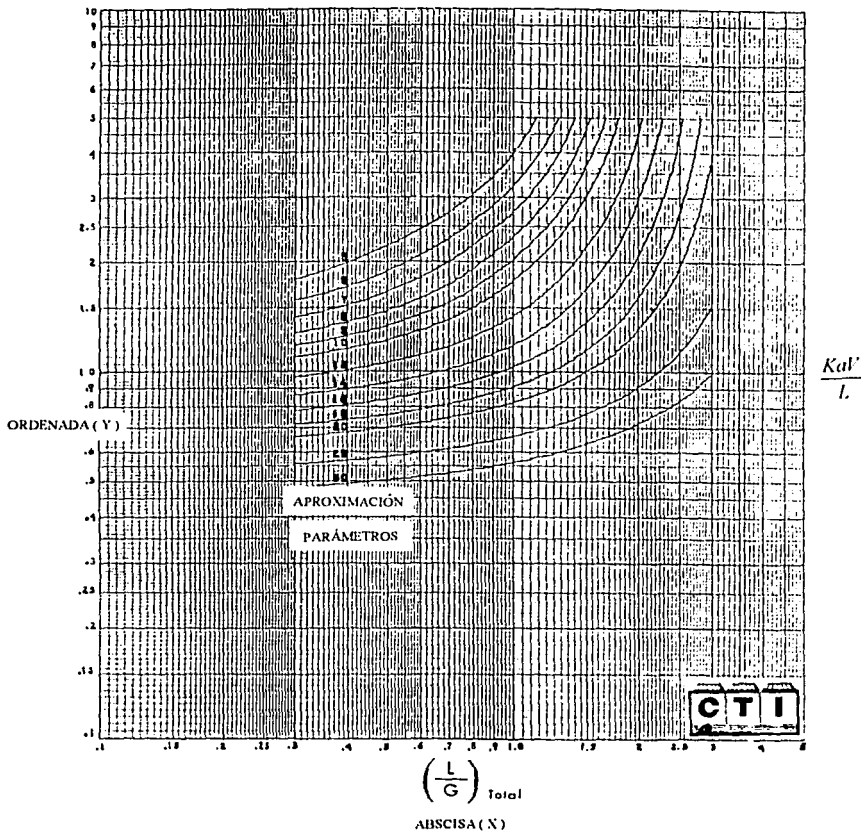
FIGURA IV. 1: CURVA CARACTERÍSTICA DE LA TORRE

WBT = 82 °F

RANGO = 30 °F

ALTITUD = 0 ft

PRESIÓN = 29.921 in Hg



IV.2 ECUACIÓN CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL RELLENO.

Como se mencionó anteriormente en este trabajo, con el fin de desarrollar predicciones viables del comportamiento térmico de las torres de enfriamiento. El análisis térmico deberá hacerse con una base de datos extensos empíricos sobre los cuales encontremos el diseño térmico. Un ingrediente clave en los bancos de datos de los diseñadores térmicos, es el catálogo de KaV/L vs L/G y las correlaciones correspondientes para varias configuraciones de relleno. Estas correlaciones son encontradas en datos originales extraídos de las pruebas conducidas en una celda de la torre de enfriamiento diseñada específicamente para tal propósito. Una celda de prueba de una torre de enfriamiento, es esencialmente, una torre de enfriamiento en miniatura, tiene normalmente un área plana de aproximadamente 400 ft^2 (37.2 m^2) y a menudo menos de 100 ft^2 (9.3 m^2). Una celda de prueba apropiadamente diseñada provee una distribución uniforme del flujo de agua y flujo de aire sobre la configuración de relleno a ser probada y está completamente instrumentada para permitir medidas directas de la temperatura del agua a la entrada y a la salida de la temperatura de bulbo húmedo, de la temperatura de bulbo seco a la entrada y los flujos volumétricos del agua, así como, de las presiones diferenciales estáticas compuestas. La medida directa de las velocidades de flujo y las temperaturas relevantes, por supuesto, permite el cálculo directo de los valores de L/G y los valores de KaV/L . Una batería simple de pruebas térmicas características involucran numerosas corridas de prueba donde el flujo de agua es mantenido constante y el flujo de aire es variable, produciendo una variedad amplia de valores de prueba de L/G y KaV/L .

Un conjunto de corridas de prueba de esta manera produce un conjunto de datos y puntos de KaV/L vs L/G . Cuando se gráfica en papel logarítmico, se permite visualizar una función de línea recta que puede ser expresada matemáticamente de la siguiente forma:

$$KaV/L = K_0(L/G)^{-n}$$

Donde:

K_0 : es el valor de KaV/L cuando L/G es igual a la unidad y $-n$ es la pendiente de la línea graficada en el papel logarítmico. K_0 es una función fuertemente dependiente de la carga de agua en el relleno en GPM/ft², de la altura de la cascada de agua y en una extensión poco menor, del rango de enfriamiento. El valor del exponente n , varía desde 0.5 a 0.7 y es una función solamente de la geometría del relleno. La ecuación anteriormente es conocida como la ecuación característica del relleno térmico. (3X8)

IV.3 EFECTOS DEL FACTOR DE ESCALA.

El comportamiento térmico en las celdas de las torres de enfriamiento relativamente pequeñas que tienen 5,000 ft² (465 m²) de área plena de relleno o menos puede ser predicho con bastante buena exactitud basándose en los números adimensionales KaV/L vs L/G determinados a partir de la manipulación de datos en la celda de prueba. Sin embargo, las características térmicas de la celda de prueba no deben ser utilizadas como base para los diseños térmicos de torres de enfriamiento grandes por tiro natural o tiro mecánico circulares.

El error introducido cuando se usan los datos de la celda de prueba para la predicción del comportamiento de torres grandes es debido parcialmente al hecho del que el aire que entra al relleno cerca del centro de la torre se encuentra a una temperatura mucho más grande que la temperatura de bulbo húmedo ambiental. El precalentamiento del aire que ocurre apenas iniciado el proceso en el relleno de contraflujo de una torre circular muy grande, da como resultado una variación radial del valor efectivo de $KaVL$. En una torre de tiro natural la situación es complicada posteriormente debido al hecho de que la distribución de flujo de aire a través de la torre es naturalmente no uniforme.

Considerando el diseño térmico de grandes torres de enfriamiento, los datos generados en el laboratorio son útiles como un medio de evaluar la forma de la interrelación funcional que existe entre el valor de Ko , la carga de agua en el relleno y las características térmicas del relleno. Las características térmicas generadas en una celda de prueba deben ser debatidas a través del uso de factores de escala que en efecto incrementan la caída de presión en el relleno y alteran los valores de Ko . Los valores numéricos para el debatimiento de los factores de escala solamente pueden ser determinados a partir de la prueba de campo de grandes torres de enfriamiento.

IV.4 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE DISEÑO EN LA CURVA CARACTERÍSTICA

Ahora determinaremos los valores de L/G para el punto de diseño resolviendo la ecuación característica anterior, simultáneamente con la ecuación integral de Merkel. Este propósito es usualmente llevado a cabo utilizando métodos computacionales o por superposición de las curvas

características sobre el conjunto apropiado de gráficas del libro azul de CTI y leyendo el valor de LG en la intersección con la línea de aproximación apropiada.

A continuación los ejemplos 1,2 y 3 describen paso a paso la utilización de las gráficas del CTI para obtener el punto de diseño en la curva característica. ⁽³⁾⁽⁵⁾

EJEMPLO 1

Se tiene una torre de enfriamiento de a contra flujo que utilizará un relleno celular XF-19060. La altura de la torre es de altura de 20 ft. Determinar el punto de diseño en la curva característica. ⁽³⁾

Condiciones de diseño:

GPM = 22,000 (83,270 LPM)

HTW = 95 °F, (35 °C)

CWT = 82 °F, (27.8 °C)

WBT = 71 °F, (22 °C)

CFM = 371,100 por ventilador

5 celdas

18 ft, (5.48 m) diámetro del ventilador

50 HP motor

Rango = 12 °F, (7 °C)

aproximación = 12 °F, (6 °C)

$$L/G = [(22\ 000/5) / 371\ 100] 116.5 = 1.38$$

Paso 1

La tarea inicial será localizar el punto de diseño sobre la curva de comportamiento particular para estas condiciones de diseño, figura IV.2. Abriendo el manual del CTI de curvas de comportamiento para torres de enfriamiento de flujo cruzado, llegaremos a la sección de temperatura de bulbo húmedo de 71°F y continuaremos hasta llegar a la página correspondiente al rango de 12°F. Sabemos que la aproximación a la temperatura de bulbo húmedo es de 11°F (temperatura de agua caliente de 82°F menos temperatura de bulbo húmedo de 71°F). El trazado de una curva francesa a medio camino entre 10°F y 12°F nos dará una línea base de referencia visual.

Paso 2.

Ahora calculamos el cociente L/G tal como se describió líneas arriba, obteniendo el valor de 1.38. Desplazándonos verticalmente sobre la línea L/G = 1.38, llegamos a interceptar la curva de aproximación de 11°F en el punto de diseño, figura IV.2. La curva característica de diseño es un valor de comportamiento que es proporcionado por los fabricantes de rellenos y tiene una pendiente negativa con valor de alrededor de -0.6, correspondiente a un ángulo de 60°. Localizando el punto de diseño, podemos entonces trasladarnos horizontalmente hacia la izquierda hasta un valor de KaV/L de 1.52, manteniendo en mente que el punto de diseño es la intersección de esas tres entidades.

Paso 3.

Seleccionar la curva de comportamiento de los fabricantes de relleno que sea probable que produzca los resultados requeridos, figura IV.3. Debido a que la torre de enfriamiento en este ejercicio tiene menos de 20 pies de altura vertical, también puede utilizarse relleno celular. Todos los fabricantes con reputación proveen de curvas de comportamiento que puedan ser fotocopiadas en transparencias. Normalmente, en torres de enfriamiento grandes con altura de relleno vertical de más 20 pies, no es económicamente viable instalar relleno celular.

Paso 4.-

Superponer la transparencia de la curva de comportamiento sobre la parte superior del punto de diseño, alineando la línea horizontal de $KaV/L = 1.0$ y la línea vertical de $L/G = 1.0$ para seleccionar la profundidad apropiada del relleno, la cual será el valor debajo del punto de diseño que producirá las condiciones de diseño calculadas, figura IV.4. Los fabricantes deben proveer datos de pérdidas de presión estática basados en la velocidad del aire, la carga de agua, y la profundidad del relleno, los cuales deben ser tomados en cuenta al momento de seleccionar la profundidad de los materiales de relleno celular apropiados.

En este ejercicio, un flujo horizontal de aire de 5 1/2 ft a través del material CF-1900 o CF-19060 producirá las condiciones de diseño.

FIGURA IV. 2: CURVA CARACTERÍSTICA DE DISEÑO DE LA TORRE

WBT = 71 °F
 RANGO = 12 °F
 ALTITUD = 0 ft
 PRESIÓN = 29.921 in Hg

SECCIONES CON
 FALLA DE ORIGEN

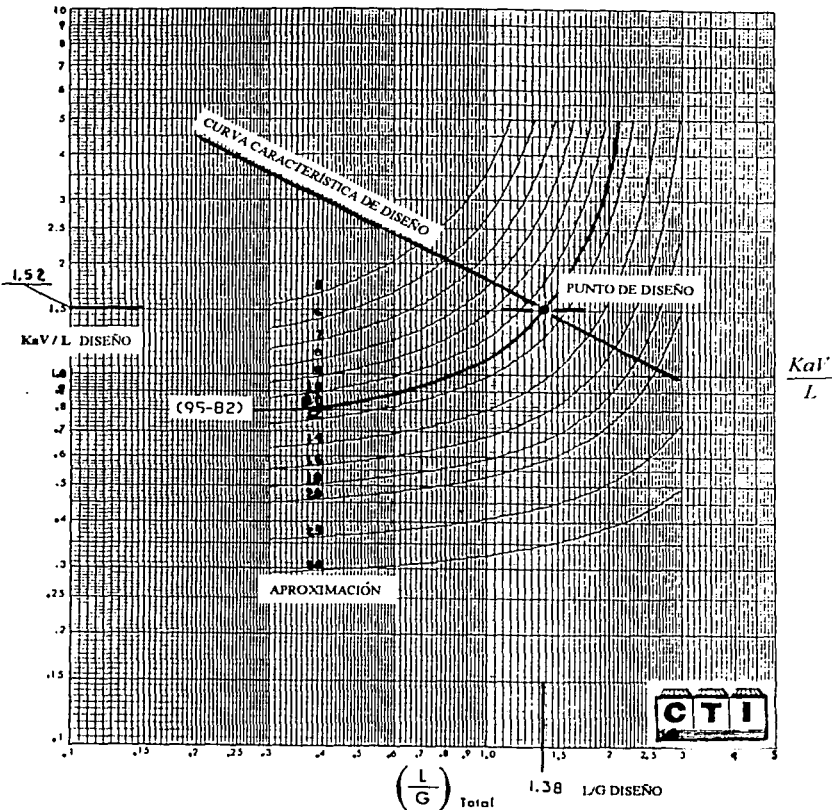


FIGURA IV.3: CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

TIPO RELLENO: CF 19060 Ó 1900.

ALTURA DE RELLENO: 3-6 ft.

VELOCIDAD DEL AIRE: 300-750 ft/min.

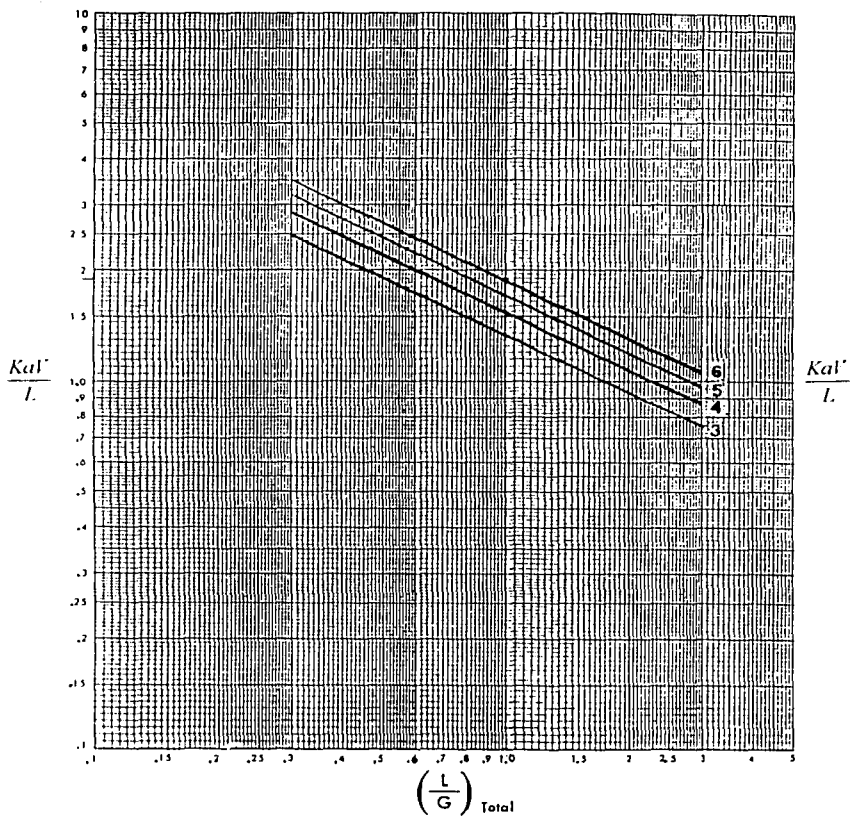
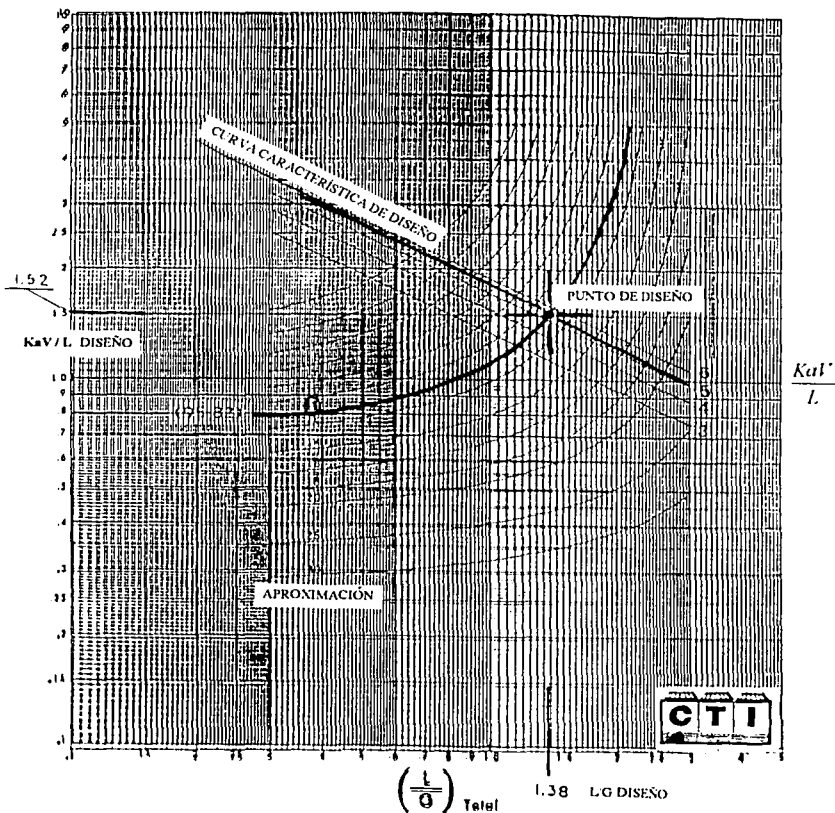


FIGURA IV.4: DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD O ALTURA DEL RELLENO
 (SUPERPOSICIÓN DE LAS FIGURAS IV.2 Y IV.3)



EJEMPLO.2

Determinar el punto de diseño para una torre a contra flujo con un relleno tipo salpiqueo, si la altura de la torre es mayor a 20 ft bajo las siguientes condiciones de diseño: ⁽³⁾

Condiciones de diseño:

GPM = 104,000 (393,640 LPM)

HWT = 120 °F, (49 °F)

CWT = 90°F, (32 °C)

WBT = 82 °F, (27.8 °C)

CFM = 1,476,000 por ventilador

8 celdas (13,000 GPM por celda)

28 ft, (8.5 m) diámetro del ventilador

Motor de 200 HP

L/G= 1.02 diseño

Paso 1

La tarea inicial será localizar el punto de diseño sobre la curva de comportamiento particular para estas condiciones de diseño, figura IV.5. Abriendo el manual del CTI y de curvas de comportamiento para torres de enfriamiento a contra flujo, llegaremos a la sección de temperatura de bulbo húmedo de 82°F y continuaremos hasta llegar a la página correspondiente al rango de 30°F. Sabemos que la aproximación a la temperatura de bulbo húmedo es de 8°F (temperatura de agua caliente de 90°F menos temperatura de bulbo húmedo de 82°F). El trazado

de la curva e intersectando el punto para 8°F de approach, nos dará una línea base de referencia visual.

Paso 2.

Ahora calculamos el cociente L/G , obteniendo el valor de 1.18. Desplazándonos verticalmente sobre la línea 1.18, llegamos a interceptar la curva de aproximación de 8°F en el punto de diseño, figura IV.5. La curva característica de diseño es un valor de comportamiento que es proporcionado por los fabricantes de rellenos y tiene una pendiente negativa con valor de alrededor de -0.6, o en lenguaje plano, correspondiente a un ángulo de 60° . Esta es dibujada y es usada para nuestros propósitos de prueba. Localizando el punto de diseño, podemos entonces trasladarnos horizontalmente hacia la izquierda hasta un valor de KaV/L de 2.85, manteniendo en mente que el punto de diseño es la intersección de esas tres entidades.

Paso 3.

Seleccionar la curva de comportamiento de los fabricantes de relleno que sea probable que produzca los resultados requeridos, figura IV.6. Para estas torres grandes tenemos opciones para madera y plástico obstruido que proporcionan los fabricantes. Mas que seleccionar el relleno, en base a las promesas de los fabricantes es preferible instalar materiales que hayan sido probados, que sean confiables y que se dispongan de las curvas de comportamiento del fabricante. Todos los fabricantes honrados deberán proveer de las curvas de comportamiento que puedan ser fotocopiadas en transparencias. En el caso de este tipo de torre hemos probado barras V como relleno. La eliminación de calor fue tomada en cuenta en concordancia con los cálculos y curvas del fabricantes.

Paso 4.

El manual del CTI, ilustra las curvas de comportamiento para relleno de salpiqueo tipo barra V (v bar) en varias configuraciones. Se debe seleccionar la curva de comportamiento en base a la trayectoria del aire. En este caso se elige el relleno tipo G con una trayectoria del aire de 20 ft, debido a que es precisamente la longitud de la trayectoria del recorrido del aire de 20 pies la que asegura que se alcancen las condiciones de operación dentro de la torre en este ejemplo.

Se debe superponer la transparencia de la curva de comportamiento, figura IV.6, sobre la parte superior del punto de diseño, con lo cual puede determinarse si este material puede ser utilizado o no, figura IV.7. Los valores del margen de la derecha sobre las curvas de relleno tipo G indican la altura vertical del relleno, el cual es un valor fijo para cada torre. Observe que el punto 48B está arriba del punto de diseño, indicando que esta condición producirá el enfriamiento requerido de diseño. El análisis de Kelly del relleno barra V está basado en un espaciamiento de 8" verticales y 8" horizontales de las barras de relleno instaladas a ángulos rectos al flujo de aire. Cuando se instalan barras paralelas al flujo de aire se genera menor presión estática y el efecto del enfriamiento de la película de relleno más el enfriamiento por salpicón incrementan el comportamiento del material. Esto está indicado en el punto 48A. El punto 48B es el mismo arreglo de barras paralelas al flujo de aire pero con un espaciamiento vertical de 4" y el horizontal de 8".

Cada configuración de barras debe ser probada independientemente debido a que no hay dos secciones transversales que se comporten de la misma manera. Algunas barras con superficies planas horizontales y una pieza central a ángulo recto se diseñan para instalarse a ángulos rectos al

flujo de aire, de manera que el aire genere turbulencia contra la sección vertical. Al instalar la barra paralela al flujo de aire, se pierde el efecto de turbulencia y el comportamiento se degrada. Los criterios importantes para seleccionar el relleno son la integridad de los fabricantes, el registro de vías y la comprobación para producir curvas de comportamiento exactas que puedan ser usadas en situaciones de reconstrucción.

FIGURA IV. 5: CURVA CARACTERÍSTICA DE DISEÑO DE LA TORRE

WBT = 82 °F

RANGO = 30 °F

ALTITUD = 0 ft

PRESIÓN = 29.921 in Hg

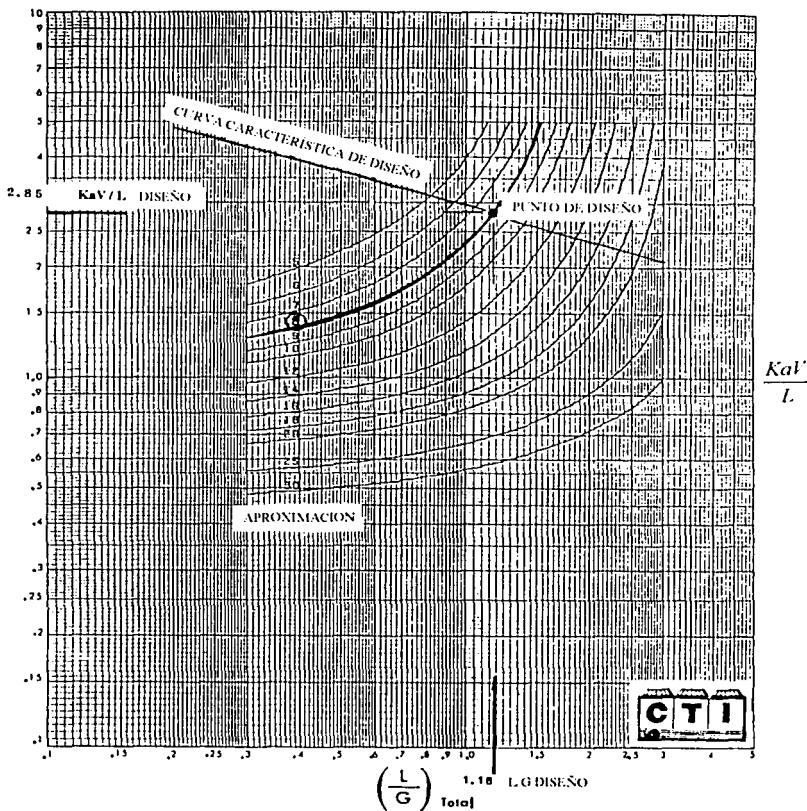
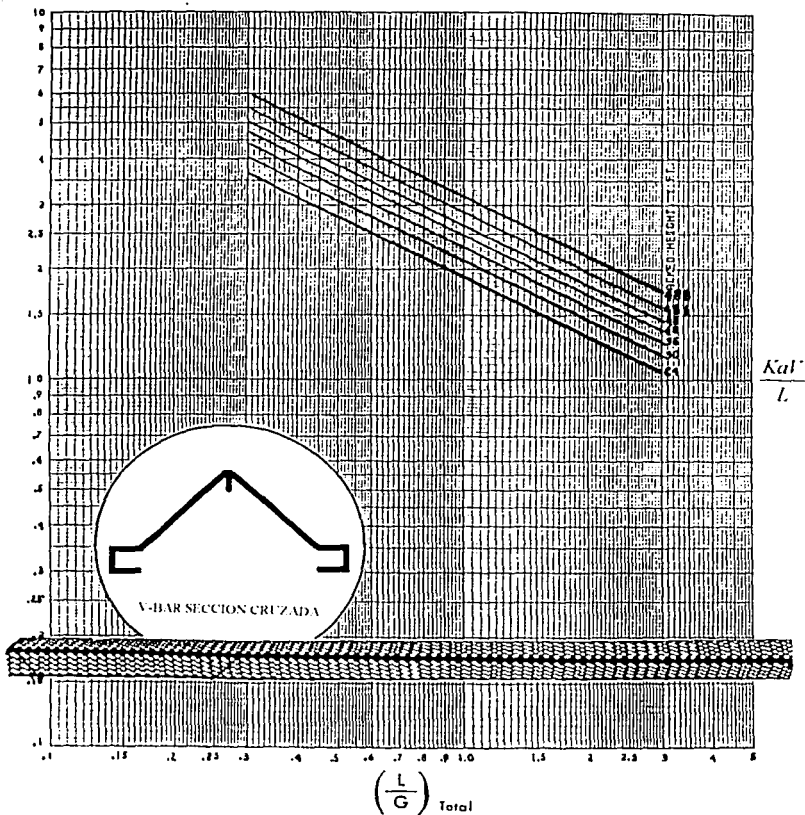


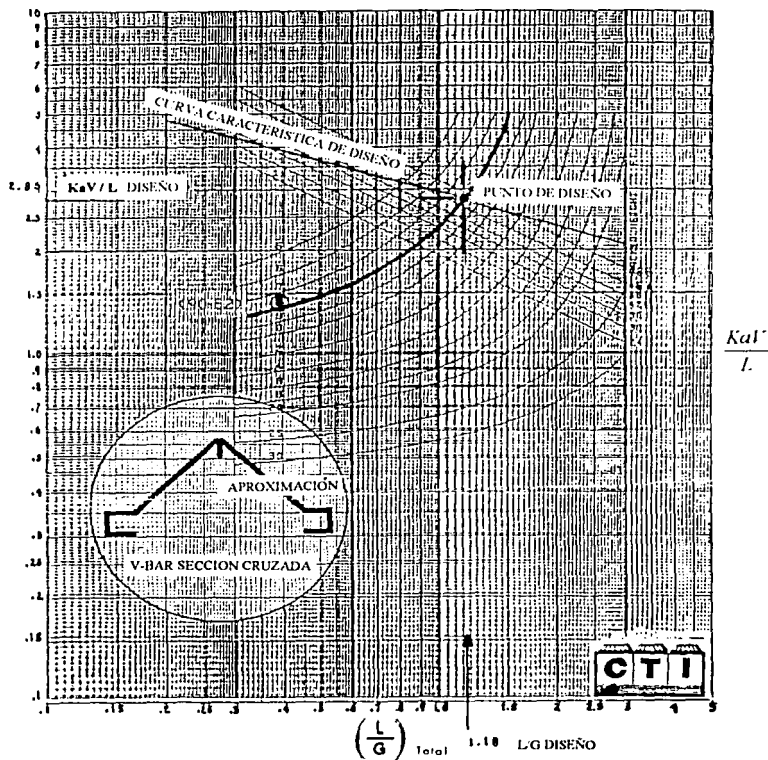
FIGURA IV.6: CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

TIPO RELLENO: V-BAR MOD. G, TRAYECTORIA DEL AIRE 20 R



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIGURA IV.7: DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD O ALTURA DEL RELLENO
 (SUPERPOSICION DE LAS FIGURAS IV.5 Y IV.6)



EJEMPLO 3:

Determinar los BHP requeridos para enfriar 9000 GPM desde una temperatura de agua caliente de 118 °F hasta la temperatura de agua fría de 92 °F, a una temperatura de bulbo húmedo de 78 °F. Comparar las diferencias existentes entre las alturas de dos rellenos distintos en la misma área. ⁽⁵⁾

Datos del sistema:

Flujo, GPM	9,000 (34,065 LPM)
Dimensiones de la celda, ft	30 x 30 , (900 ft ² = 836 m ²)
No. De Celdas	2
Diámetro del ventilador, ft	18, (5.5 m)
Temperatura de agua caliente, °F	118, (48 °C)
Temperatura de agua fría, °F	92, (33 °C)
Temperatura de bulbo húmedo, °F	78, (25.5 °C)
Rango, °F	26, (15 °C)
Aproximación, °F	14, (7.5 °C)
Relleno laminar No. 1	Munters 19060 con 6 ft de altura de relleno, (Figuras IV.8-IV.13).
Relleno laminar No. 2	Munters 12060 con 4 ft de altura de relleno, (Figuras IV.14-IV.19).

Paso 1:

Determinar el flujo volumétrico de agua por celda, Q_c :

$$Q_c = Q_t / N$$

Q_t = flujo volumétrico total del agua.

N = número de celdas.

$$9000/2 = 4500 \text{ GPM /Celda.}$$

Paso 2:

Determinar el área activa del relleno por celda, A_r :

$$A_r = L_r W_r$$

L_r = longitud de la celda.

W_r = ancho de la celda.

$$30 \times 30 = 900 \text{ ft}^2.$$

Paso 3:

Determinar la velocidad media del agua sobre el relleno, Q :

$$Q = Q_c / A_r$$

$$4500/900 = 5.0 \text{ GPM / ft}^2$$

Paso 4:

Utilizando la velocidad media sobre el relleno, determinada en el paso 3 y la ecuación dada en seguida, calcular y construir una gráfica de la velocidad sobre el relleno (a densidad de 0.070 lb/ft^3) vs L/G . Asumir valores de L/G de 1.0, 1.5 y 2.0. Guardar esta gráfica para utilizarla posteriormente ya que será muy útil. Figura IV.20

$$\text{Velocidad sobre el relleno (FPM)} = \frac{(GPM / FT^2)(8.33)}{(L/G)} \left(\frac{1}{0.070} \right)$$

(0.070 es la densidad del aire en lb/ft^3).

Las curvas se grafican para:

Datos de la *curva cruzada*, figura 20:

L / G	velocidad (FPM)
1.0	595
1.5	397
2.0	298

Paso 5.

Determinar el valor de L / G.

Seleccionar del libro azul de C.T.I., la curva de demanda para el intervalo de enfriamiento de diseño y la temperatura de bulbo húmedo (78°F de bulbo húmedo y 26 ° de intervalo de enfriamiento). Si alguna de estas condiciones no concuerda con las reportadas en las páginas de intervalo o temperatura de bulbo húmedo, seleccionar las páginas más cercanas e interpolar.

Figura IV.21

Superponer la curva característica de relleno apropiada disponible sobre la página correspondiente a la curva de demanda apropiada.

En la intersección de la línea de velocidad característica del relleno y la curva de aproximación de diseño, tabular los valores L / G para cada relleno, es decir:

Velocidad	Munters 19060 a 6 ft	Munters 12060 a 4 ft
	L / G	L / G
700	1.90	N. A.
600	N.A.	1.89
500	1.86	N.A.
450	N.A.	1.82
300	1.80	1.57

Graficar estas dos curvas sobre la figura IV.20, obtenida en el paso 4. En la intersección de estas dos curvas:

La L/G para Munters 19060 = 1.81 con una velocidad sobre el relleno de 331 FPM.

La L/G para Munters 12060 = 1.68 con una velocidad sobre el relleno de 356 FPM.

Paso 6.

Determinar las libras de aire seco (G') requeridas para el servicio especificado.

$$Q_e = 4500 \text{ GPM /Celda.}$$

$$L = 4500 \times 8.33 = 37485 \text{ lbs de agua por minuto y por celda.}$$

El L/G para Munters 19060 = 1.81,

por lo tanto $G' = 37485 / 1.81 = 20710$ lbs de aire seco por minuto y por celda.

El L/G para Munters 12060 = 1.68,

por lo tanto $G' = 37485/1.68 = 22313$ lbs de aire seco por minuto y por celda.

Paso 7.

Determinar la densidad, volumen específico (sp. vol.) y la velocidad para todos los componentes en la torre:

A. Aire de entrada (considerando un 50 % de humedad relativa):

A partir de la carta psicrométrica, anexo A, a la temperatura de bulbo húmedo de diseño y una humedad de 50 %, se lee el volumen específico y la proporción de humedad):

$$\text{sp. vol.} = 14.33 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$w = 119.5 \text{ gr agua} / 7000 \text{ gr aire seco} = 0.0171$$

$$\text{densidad a la entrada} = (1 + 0.0171)/14.33 = 0.0710 \text{ lb de mezcla} / \text{ft}^3$$

$$\text{velocidad a la entrada} = G' \times v / \text{área de entrada}$$

$$\text{velocidad en Munters 19060} = (20710 * 14.33) / 450 = 659 \text{ FPM}$$

$$\text{velocidad en Munters 12060} = (22313 * 14.33) / 450 = 711 \text{ FPM}$$

B. Aire a la salida.

Calcular la entalpía de la corriente de salida H_{out} :

$$H_{\text{out}} = H_{\text{in}} + (L/G) \times \text{rango.}$$

Apartir de las tablas psicrométricas buscar la entalpía de entrada a la temperatura de bulbo húmedo de 78°F : $H_{\text{in}} = 41.58 \text{ BTU/lb}$ (anexo E)

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

$$\text{Munters 19060, } H_{\text{out}} = 41.58 + (1.81 \times 26) = 88.64 \text{ BTU / lb}$$

$$\text{Munters 12060, } H_{\text{out}} = 41.58 + (1.68 \times 26) = 85.26 \text{ BTU / lb}$$

C. Utilizando la Tabla psicrométrica para aire saturado a la entalpía de salida calculada (H_{out}), leer la densidad y el volumen específico del aire de salida.

$$\text{Munters 19060, densidad}_{\text{out}} = 0.06764 \text{ lb de mezcla / ft}^3 \text{ (anexo G)}$$

$$\text{Munters 19060, sp. vol.}_{\text{out}} = 15.619 \text{ ft}^3/\text{lb (anexo I)}$$

$$\text{Munters 12060, densidad}_{\text{out}} = 0.06791 \text{ lb de mezcla / ft}^3 \text{ (anexo G)}$$

$$\text{Munters 12060, sp. vol.}_{\text{out}} = 15.515 \text{ ft}^3/\text{lb (anexo I)}$$

D. Después en el ventilador:

$$\text{CFM / ventilador} = G' \times \text{sp. vol.}_{\text{out}}$$

$$\text{Munters 19060, CFM/ventilador} = 20710 \times 15.619 = 323,469 \text{ CFM}$$

$$\text{Munters 12060, CFM/ventilador} = 22313 \times 15.515 = 346,186 \text{ CFM}$$

densidad en el ventilador = densidad a la salida.

E. En el eliminador de rocío:

$$\text{velocidad del eliminador} = G' \times \text{sp vol}_{\text{out}} / \text{área de la celda}$$

Munters 19060, velocidad del eliminador = $20710 \times 15.619 / 900 = 359$ FPM

Munters 12060, velocidad del eliminador = $22313 \times 15.515 / 900 = 385$ FPM

F. A través del relleno y del sistema de espreo:

densidad promedio en el relleno y el rociador = $(\text{densidad}_{in} + \text{densidad}_{out}) / 2$

sp. vol. en el relleno y el rociador = $(\text{sp. vol}_{in} + \text{sp. vol}_{out}) / 2$

Munters 19060, densidad promedio en el relleno = $(0.07109 + 0.06764) / 2 = 0.6932$

Munters 19060, sp vol promedio en el relleno = $(14.33 + 15.619) / 2 = 14.975$

Munters 12060, densidad promedio en el relleno = $(0.0710 + 0.06791) / 2 = 0.6946$

Munters 12060, sp vol promedio en el relleno = $(14.33 + 15.515) / 2 = 14.923$

velocidad sobre el relleno = $G' \times \text{sp vol} / \text{área de la celda}$

Munters 19060, velocidad a través del relleno = $20710 \times 14.975 / 900 = 345$ FPM

Munters 12060, velocidad a través del relleno = $22313 \times 14.923 / 900 = 370$ FPM

Paso 8 .- Calcular las Pérdidas de Presión.

A. Caídas de presión en la entrada a los Louver. Usar la figura IV.22, que es una representación generalizada de las caídas de presión en los Louvers a 3 cabezales de velocidad.

Munters 19060 a 659 FPM = 0.077 in de agua corregido para una densidad de entrada de 0.070 :

$$= 0.077 \times 0.0710/0.070 = 0.078 \text{ in de agua}$$

Munters 12060 a 711 FPM = 0.089 in de agua corregido para una densidad de entrada de 0.0710

$$= 0.089 \times 0.0710/0.070 = 0.090 \text{ in de agua}$$

B. Pérdidas de presión en el relleno y en sistema de espreo:

para Munters 19060 a 345, 5 GPM/ft² y 6 ft de altura, usar la curva número 18.

Relleno más esprea = 0.160 in de agua a densidad de 0.070 lb/ft³
corrigiendo para una densidad promedio en el relleno (0.06932):

$$= 0.06931/0.070 \times 0.160 = 0.158 \text{ in de agua.}$$

para Munters 12060 a 370, 5 GPM/ft² y 4 ft de altura, usar la curva número 24.

Relleno más esprea = 0.181 in de agua a densidad de 0.070 lb/ft³
corrigiendo para una densidad promedio en el relleno (0.06946):

$$= 0.06946/0.070 \times 0.181 = .180 \text{ in de agua.}$$

C. Caídas de presión en el eliminador de rocío, entrada plena (plenum) y ventilador. Usar la figura

IV.22, otra representación generalizada de pérdidas:

para Munters 19060 a 350 FPM = 0.0138 in de agua a 0.070 lb/ft³

corrigiendo para una densidad de salida (0.06764):

$$= 0.038 \times 0.06764 / 0.070 = 0.037 \text{ in de agua.}$$

para Munters 12060 a 385 FPM = 0.0043 in de agua a 0.070 lb/ft³

corrigiendo para una densidad de salida (0.06791):

$$= 0.043 \times 0.06791 / 0.070 = 0.042 \text{ in de agua.}$$

Paso 9 . Sumar las caídas de presión:

Entrada a los Louvers + (relleno más esprea) + (eliminador de rocío) + plenum + entrada al ventilador)

para Munters 19060, $H_t = 0.078 + 0.158 + 0.037 = .273$ in de agua.

para Munters 12060, $H_t = 0.090 + 0.180 + 0.042 = .312$ in de agua.

Paso 10. Calcular la potencia al freno.

$$\text{BHP} = (\text{CFM} / \text{ventilador} \times (H_t + H_v)) / (6356 \times \text{eficiencia})$$

$$\text{área neta del disco} = 226 \text{ ft}^2$$

$$\text{eficiencia} = 75 \%$$

para Munters 19060, $\text{BHP}_{\text{requerido}} = 26.3 \text{ HP}$

para Munters 12060, $\text{BHP}_{\text{requerido}} = 32.3 \text{ HP}$

FIGURA IV.8: CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

TIPO RELLENO: MÜNTERS 12060 W / BOQUILLAS MÜNTERS CON ORIFICIO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 2 ft.

VELOCIDAD DEL AIRE: 300-600 ft/min.

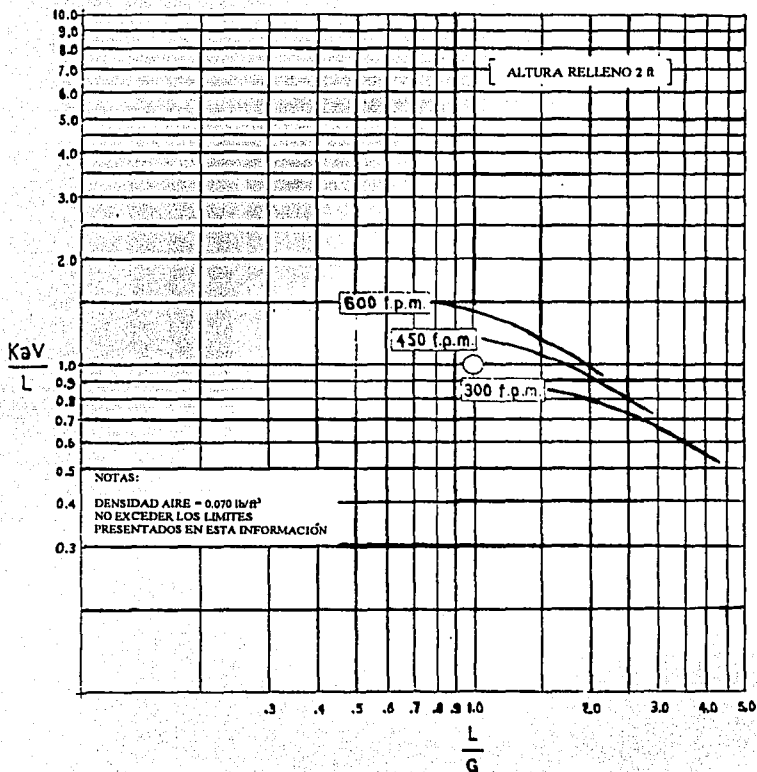


FIGURA IV.9: PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL RELLENO Y EL SISTEMA DE ESPREO

TIPO RELLENO: MUNTERS 12060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 2 ft

DENSIDAD PROMEDIO DEL AIRE: 0.700 lb/R³

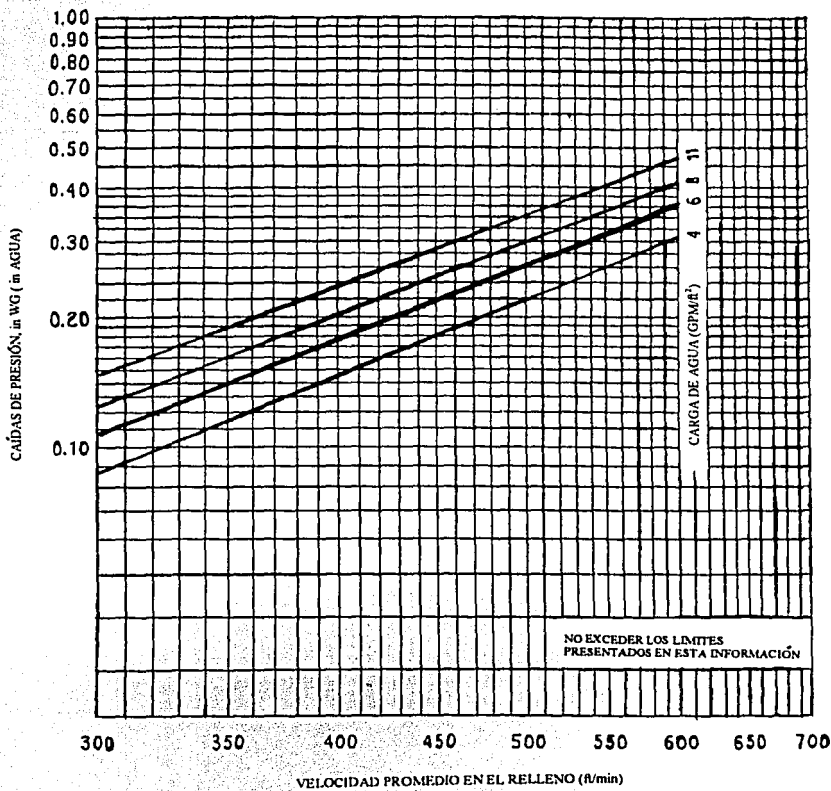


FIGURA IV.10: CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

TIPO RELLENO: MUNTERS 12060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICIO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 3 ft.

VELOCIDAD DEL AIRE: 300-600 ft/min.

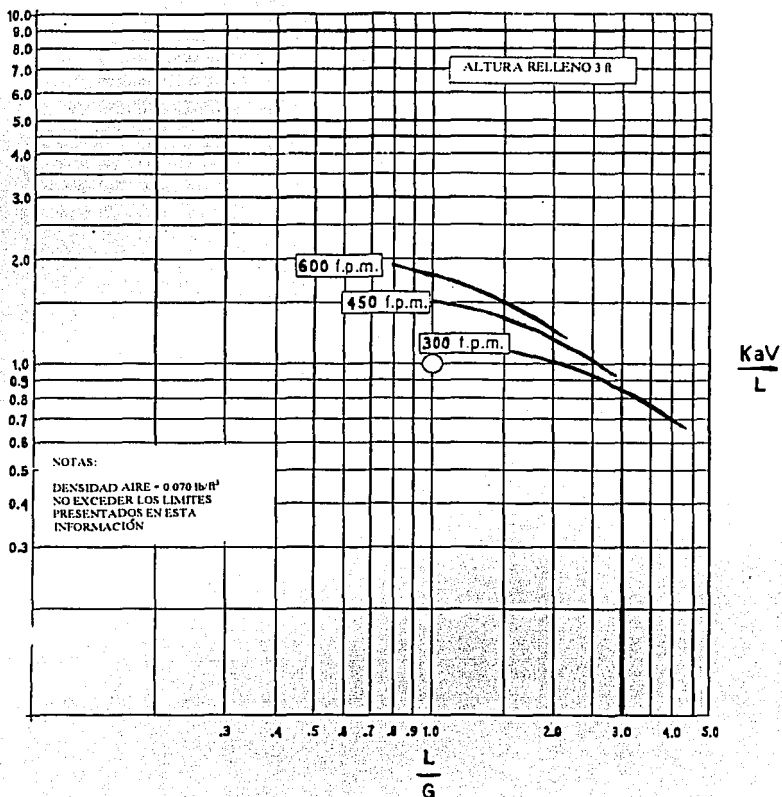


FIGURA IV.11: PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL RELLENO Y EL SISTEMA DE ESPREO

TIPO RELLENO: MUNTERS 12060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 3 ft

DENSIDAD PROMEDIO DEL AIRE: 0.700 lb/ft³

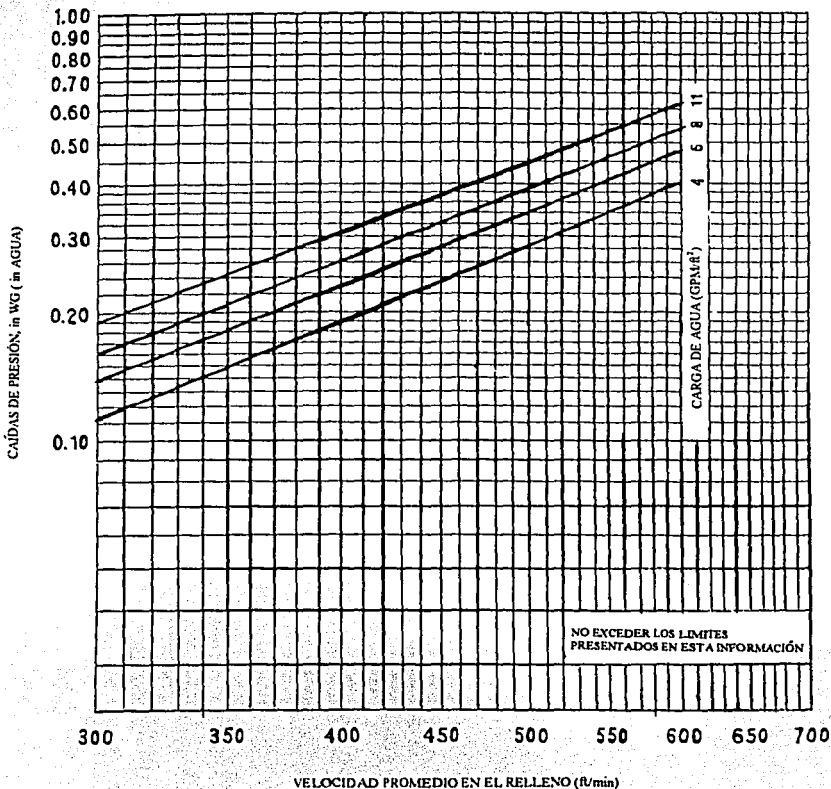


FIGURA IV.12: CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

TIPO RELLENO: MUNTERS 12060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICIO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 4 ft.

VELOCIDAD DEL AIRE: 300-600 ft/min.

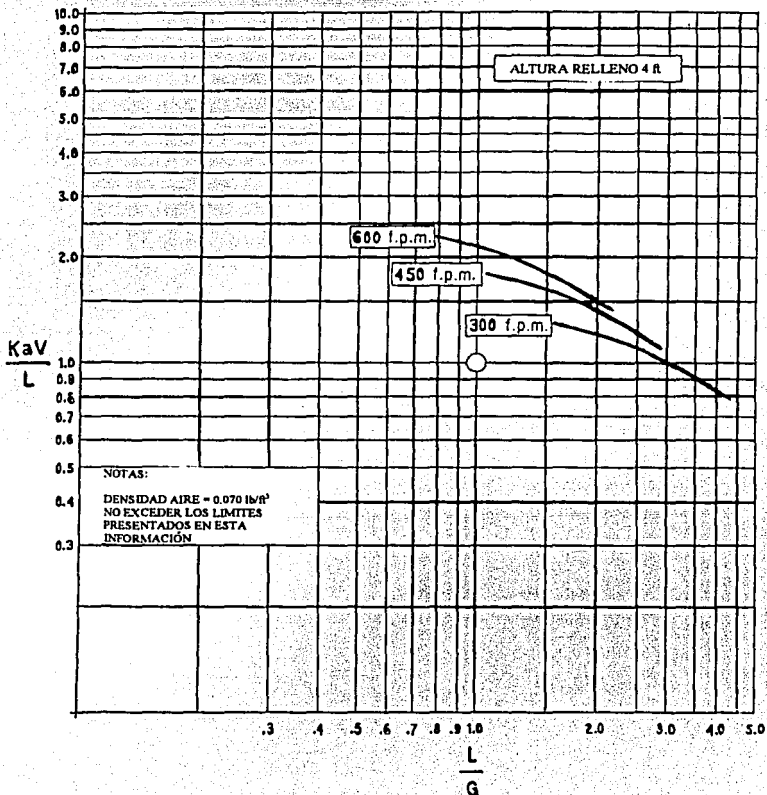


FIGURA IV.13: PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL RELLENO Y EL SISTEMA DE ESPREO

TIPO RELLENO: MUNTERS 12060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 4 ft

DENSIDAD PROMEDIO DEL AIRE: 0.700 lb/ft³

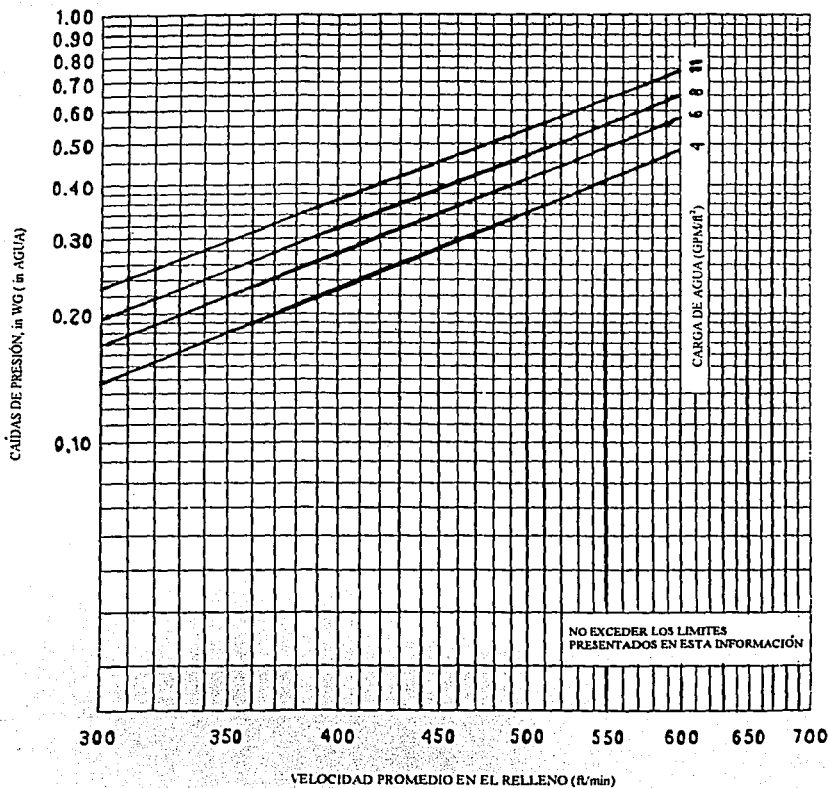


FIGURA IV.14: CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

TIPO RELLENO: MUNTERS 19060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICIO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 2 ft.

VELOCIDAD DEL AIRE: 300-700 ft/min.

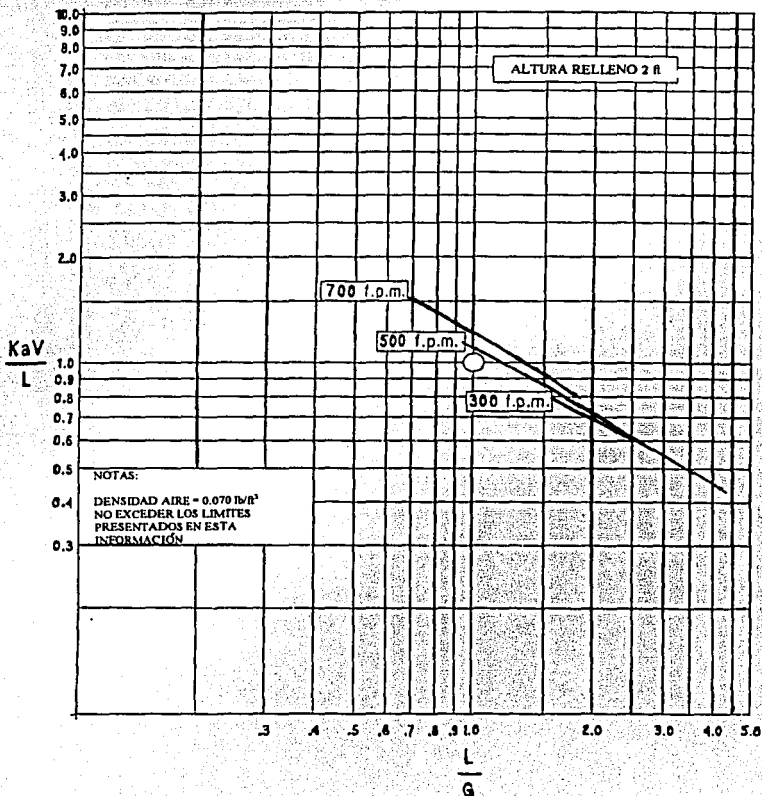


FIGURA IV.15: PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL RELLENO Y EL SISTEMA DE ESPREO

TIPO RELLENO: MUNTERS 19060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 2 ft

DENSIDAD PROMEDIO DEL AIRE: 0.700 lb/ft³

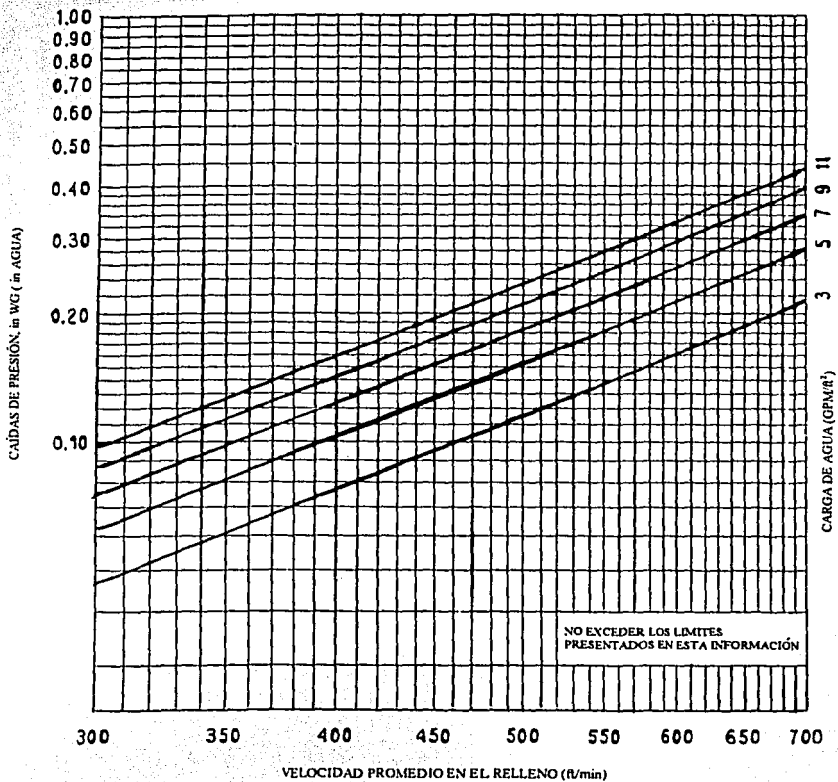


FIGURA IV.16: CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

TIPO RELLENO: MUNTERS 19060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICIO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 4 ft.

VELOCIDAD DEL AIRE: 300-700 f/min.

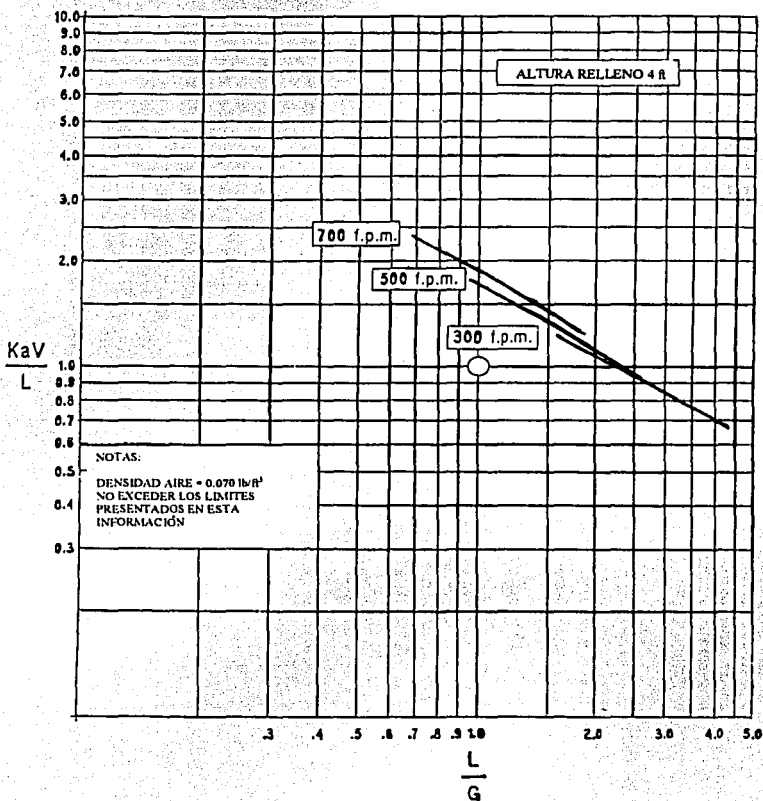


FIGURA IV.17: PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL RELLENO Y EL SISTEMA DE ESPREO

TIPO RELLENO: MUNTERS 19060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 4 ft

DENSIDAD PROMEDIO DEL AIRE: 0.700 lb/ft³

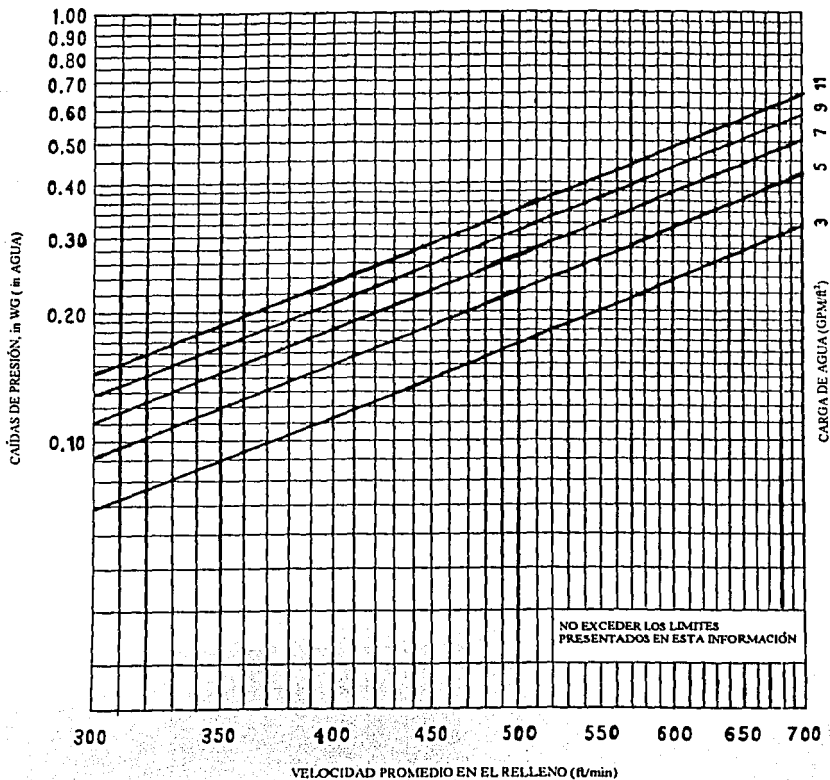


FIGURA IV.18: CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO

TIPO RELLENO: MUNTERS 19060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICIO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 6 ft.

VELOCIDAD DEL AIRE: 300-700 ft/min.

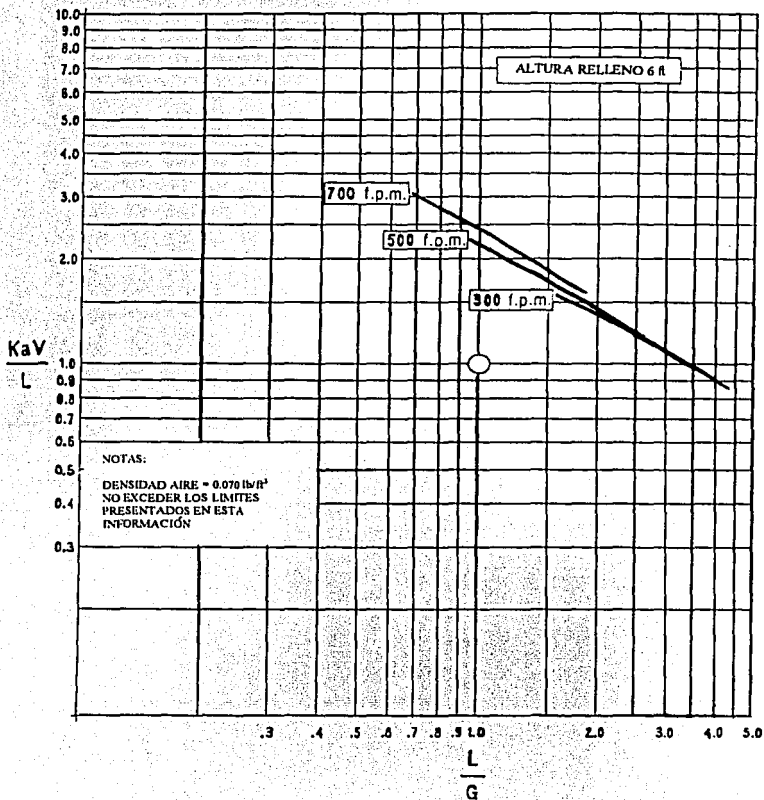


FIGURA IV.19: PERDIDAS DE PRESIÓN EN EL RELLENO Y EL SISTEMA DE ESPREO

TIPO RELLENO: MUNTERS 19060 W / BOQUILLAS MUNTERS CON ORIFICO B Y C

ALTURA DE RELLENO: 6 ft

DENSIDAD PROMEDIO DEL AIRE: 0.700 lb/ft³

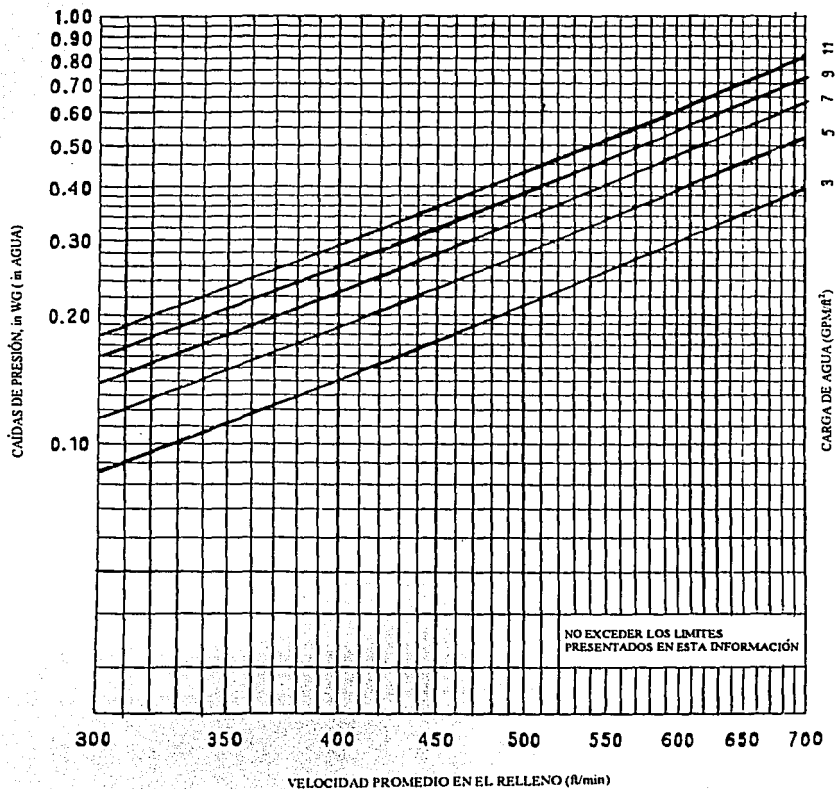


FIGURA IV.20: DETERMINACIÓN DEL VALOR (L/G) Y VELOCIDAD EN EL RELLENO

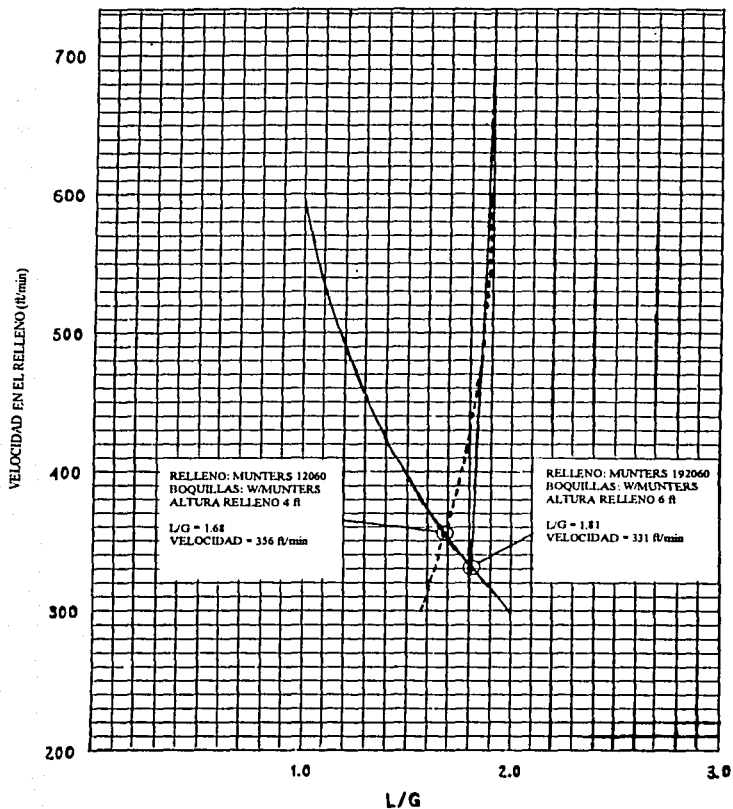


FIGURA IV.21: CURVA CARACTERÍSTICA DE DISEÑO DE LA TORRE

WBT = 78 °F

RANGO = 26 °F

ALTITUD = 0 ft

PRESIÓN = 29.921 in Hg

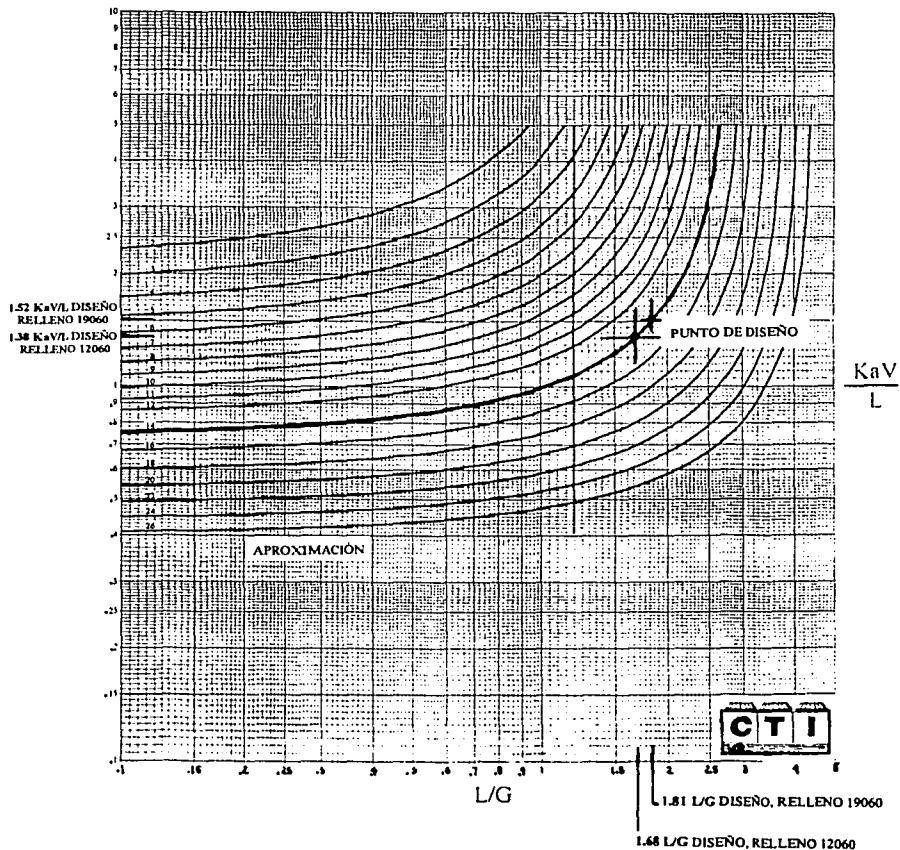
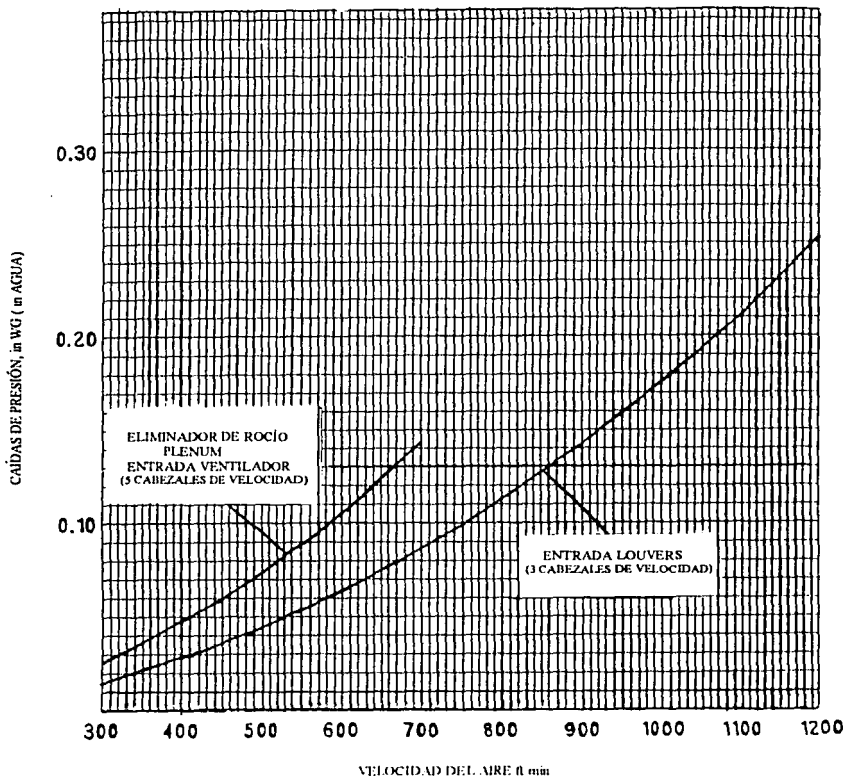


FIGURA IV.22: PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DE LOS LOUVERS Y EN EL ELIMINADOR DE ROCÍO-PLENUM-ENTRADA DEL VENTILADOR



IV.5 ANÁLISIS TÉRMICO EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO MECÁNICO A CONTRAFLUJO.

Es esta sección se llevará a cabo un análisis térmico completo de una torre de enfriamiento de tiro mecánico a contra flujo. Las condiciones de diseño térmico para la torre de enfriamiento son las siguientes:

Flujo volumétrico = 6,333 GPM, (23,970 LPM)

Temperatura de agua caliente = 130.0 °F, (54 °C)

Temperatura de agua fría = 90 °F, (32 °C)

Temperatura de bulbo húmedo = 79 °F, (26 °C)

Humedad relativa = 50 %

Presión barométrica = 29.9212 in Hg, (1 atm)

Rango = temperatura agua caliente - temperatura de agua fría = 130.0 - 90 = 40.0 °F, (22 °C)

Aproximación = temperatura agua fría - temperatura de bulbo húmedo = 90 - 79 = 11°F, (11 °C)

Número de celdas = 1

Utilizando la carta psicrométrica, anexo A, las propiedades psicrométricas del aire ambiental correspondientes a estas condiciones de diseño están dadas enseguida:

Temperatura de bulbo seco = 94.92 °F.

v_1 = Volumen específico = 14.384 ft³ / lb aire seco

γ = Densidad mezcla aire-vapor = (1 + 0.01779)/14.384 = 0.07076 lb mezcla / ft³

h_1 = Entalpía = 42.62 BTU/lb aire seco (anexo E)

La torre de enfriamiento por celda que será analizada será de 37 ft x 37 ft en el plano interior de las paredes y tiene una altura de 8,5 ft en la altura de aire de entrada. La celda es de tiro inducido con un ventilador de 26 ft de diámetro Marca Hudson y la altura de la chimenea de 6.5 ft. El área plana de relleno es interrumpida por una columna sencilla que mide 2 ft x 2 ft de sección transversal. Esta columna sirve para soportar el ventilador y el reductor de velocidad de ángulo recto. La entrada de aire a la celda está abierta por sus cuatro lados. El sistema de relleno está comprendido de una profundidad de 6 ft de tipo celular 19060 o similar sobre una estructura de acero, los eliminadores de rocío del tipo celular de PVC.

A partir de la descripción previa podemos calcular lo siguiente:

IV 5.1. - CÁLCULOS PRELIMINARES:

A. Flujo de agua por celda, Q_c :

$$Q_c = Q_i / N = 6333 \text{ GPM} / 1 = 6333 \text{ GPM}$$

Q_i = flujo volumétrico total del agua.

$N = 1$ = número de celdas.

B. Área plana efectiva del relleno por celda, A_r :

$$A_r = L_r W_r (1 - B_r) = (37 \text{ ft})(37 \text{ ft})(1 - 0.005) = 1301 \text{ ft}^2$$

L_r = longitud de la celda.

W_r = ancho de la celda.

B_r = fracción bloqueada del relleno

C. Velocidad del agua sobre el relleno:

$$Q = Q_c / A_r = (6333 \text{ GPM}) / (1301 \text{ ft}^2) = 4.87 \text{ GMP} / \text{ft}^2$$

Q = flujo de agua por unidad de área.

D. Área total en la entrada del aire, A_{it} :

$$A_{it} = H_i(2*N*L_r + 2*W_d) = (8.5 \text{ ft})[2(1)(37\text{ft}) + 2(37\text{ft})] = 1258 \text{ ft}^2$$

H_i = altura de la entrada de aire.

E. Área por celda en la entrada del aire, A_i :

$$A_i/N = (1258 \text{ ft}^2)/1 = 1258 \text{ ft}^2$$

F. Área neta en la descarga del ventilador, A_n :

$$A_n = \pi(D_r^2 - D_h^2)/4 = \pi[(26\text{ft})^2 - (6.5\text{ft})^2]/4 = 497.7 \text{ ft}^2$$

D_r = diámetro del ventilador.

D_h = diámetro del impulsor en el ventilador.

G. Área en la descarga de la chimenea, A_s :

$$A_s = A_n = 497.7 \text{ ft}^2$$

IV.5.2 EL VALOR DE L/G REQUERIDO

Con el fin de determinar el valor requerido de L/G , es necesario resolver la ecuación de Merkel simultáneamente con la ecuación de las características térmicas para el relleno tipo celular.

La ecuación característica térmica para una profundidad de 6 ft de relleno tipo celular 19060 o similar puede ser expresada en la forma:

$$KaV/L = K (L/G)^{-n}$$

Donde el coeficiente, K , es una función de la carga de agua en el relleno, del rango y de la altura de entrada del agua. De acuerdo a los diseñadores de las torres de enfriamiento la característica térmica para este tipo de relleno es de:

$$KaV/L = 2.201 (L/G)^{-0.663}$$

La superposición de estas líneas características sobre el conjunto de gráficas del libro azul, la figura IV.23 para una temperatura de bulbo húmedo de 79 °F y un rango de 40°F, da como resultado un valor aproximado de L/G de 1.342 en la intersección de la línea de aproximación de 11° obtenemos un valor de $KaV / L = 1.811$

La densidad de flujo másico de aire es, G :

$$G = L/(L/G) = (40.56 \text{ lb/min/ft}^2) / 1.342 = 30.22 \text{ lb/min/ft}^2$$

Flujo másico de aire por celda, G_c :

$$G_c = G A_r = (30.22 \text{ lb/min/ft}^2) (1301 \text{ ft}^2) = 39300 \text{ lb/min.}$$

IV.5.3 CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS DEL AIRE

Habiendo establecido el valor de L/G en el punto de diseño, podemos ahora calcular las propiedades psicrométricas del aire en la entrada, en la salida, en el eliminador de rocío, en el relleno y en el ventilador de la torre de enfriamiento.

A. Condiciones de entrada del aire:

h_i = Entalpía del aire que entra al relleno = 42.42 BTU/ Lb (anexo E)

w_{ai} = Proporción de humedad del aire que entra al relleno = 0.01779 (anexo A)

ρ_i = Densidad del aire que entra al relleno = 0.07076 lb/ft³

V_i = Velocidad de entrada del aire = $G_e (1+w_{ai}) / \rho_i A_i$

$$= (39300 \text{ lb/min})(1+0.01779)/(0.07076 \text{ lb/ft}^3)(1258 \text{ ft}^2) = 449.4 \text{ FPM}$$

B. Condiciones de salida del aire:

h_o = Entalpía del aire que sale del relleno = $h_i + c_p[(L/G)R + (w_{ao}-w_{ai})(T_{cw}-T_o)] =$

$$(42.42 \text{ Btu/lb}) + (1 \text{ Btu/lb/}^\circ\text{F}) [(1.342)(40^\circ\text{F}) + (0.06465-0.01779)(90^\circ\text{F}-32^\circ\text{F})]$$

$$h_o = 98.82 \text{ Btu/lb}$$

w_{ao} = Proporción de humedad del aire que sale del relleno = 0.06465 (anexo K)

$T_{w_{bo}}$ = Temperatura de bulbo húmedo a la salida del relleno = 112.66 °F (anexo E)

ρ_o = Densidad del aire en la salida = 0.06686 lb/ ft³ (anexo G)

C. Condiciones en el eliminador de rocío:

V_e = velocidad del aire a través del eliminador de rocío

$$= G (1+w_{so})/\rho_o = (30.22 \text{ lb/min/ft}^2)(1+0.06465)/(0.06686 \text{ lb/ft}^3) = 481 \text{ FPM}$$

D. Condiciones en el relleno tipo celular

V_r = Velocidad promedio del aire a través del relleno

$$= [V_i(A_i/A_r) + V_e]/2$$

$$= [(449.4 \text{ FPM})(1258 \text{ ft}^2)/(1301 \text{ ft}^2) + 481.3 \text{ FPM}] /2 = 458 \text{ FPM}$$

E. Condiciones en el ventilador:

F = Flujo volumétrico del aire por ventilador = $G_e (1 + w_{so}) / \rho_o$

$$= (39300 \text{ lb/min})(1+0.06465)/(0.06686 \text{ lb/ft}^3) = 625900 \text{ CFM}$$

V_s = Velocidad del aire en la descarga de la chimenea

$$= F/A_s = (625900 \text{ CFM})/(497.7 \text{ ft}^2) = 1257 \text{ FPM}$$

IV.5.4 CÁLCULO DE LA PRESIÓN ESTÁTICA TOTAL

Las caídas de presión a través de la torre de enfriamiento se calculan mediante las siguientes expresiones:

A. Pérdidas en la entrada, p_i :

$$p_i = 0.6 \gamma_i V_i^2 / 2g$$

$$p_i = 0.6(0.07076 \text{ Lb/ft}^3) (449.4 \text{ FPM})^2 / [2(115800 \text{ ft/min}^2)]$$

$$p_i = 0.03702 \text{ PSF} = 0.007128 \text{ in H}_2\text{O}$$

B. Pérdidas en los louvers, ρ_l :

$$\rho_l = 0 \text{ (Ninguna, no hay louvers)}$$

C. Pérdidas en el agua que cae, (agua espreada), ρ_{fw} :

$$C = \text{Coeficiente de presión velocidad} = 1.5 (Q/Q_o)/(V/V_{io})$$

Q_o = Flujo volumétrico base para determinar la caída de presión del agua que cae.

V_{io} = Velocidad del aire para determinar las pérdidas de presión.

$$C = 1.5[(4.87 \text{ GPM}/\text{ft}^2)/\text{SGPM}/\text{ft}^2]/[(449.4 \text{ FPM})/900 \text{ FPM}] = 2.926$$

$$\rho_{fw} = C \gamma_i V_i^2 / 2g$$

g = Constante de aceleración gravitacional.

$$\rho_{fw} = 2.926(0.07076 \text{ lb}/\text{ft}^3)(449.4 \text{ FPM})^2/[2(115800 \text{ ft}/\text{min}^2)]$$

$$\rho_{fw} = 0.1805 \text{ PSF} = 0.03476 \text{ in H}_2\text{O}.$$

D. Pérdidas en el relleno, ρ_r :

Utilizando la velocidad del aire, el flujo másico del agua, la altura del relleno y en seguida la corrección por densidad tenemos:

$$\rho_r = \rho_{fo}[0.5(\gamma_i + \gamma_o)/\gamma_a]$$

ρ_{fo} = Caída de presión base a través del relleno.

γ_o = Densidad del aire que sale del relleno.

γ_a = Densidad de aire estándar.

$$\rho_r = (0.2353 \text{ in H}_2\text{O})[0.5(0.07076 \text{ Lb}/\text{ft}^3 + 0.06686 \text{ Lb}/\text{ft}^3) / (0.07042 \text{ Lb}/\text{ft}^3)]$$

$$\rho_r = 0.2299 \text{ in H}_2\text{O}$$

E. Pérdidas en el eliminador de rocío tipo celular, ρ_c :

$$\rho_c = \rho_{eo} (V_e/V_{eo})^{2.26} (\gamma_o/\gamma_e)$$

V_e = Velocidad del aire a través del eliminador de rocío.

V_{eo} = Velocidad base del aire a través de los eliminadores para determinar las pérdidas de presión.

$$\rho_c = (0.026 \text{ in H}_2\text{O})[(481.3 \text{ FPM})/(440 \text{ FPM})]^{2.26} [(0.06686 \text{ Lb/ft}^3)/(0.07042 \text{ Lb/ft}^3)]$$

$$\rho_c = 0.03023 \text{ in H}_2\text{O}$$

F. Pérdidas en el plenum, ρ_D :

$$A_c = \text{Área plana por celda} = L_r W_r = (37\text{ft})(37\text{ft}) = 1369 \text{ ft}^2$$

$$A_{di} = \text{Área en la entrada de la chimenea del ventilador} = \pi (1.2D)^2/4$$

$$= \pi[(1.2)(26\text{ft})]^2/4 = 764.5 \text{ ft}^2$$

$$A_D = \pi(1.2D) H_p = \pi(1.2)(26 \text{ ft})(6\text{ft}) = 588.1 \text{ ft}^2$$

$$V_D = \text{Velocidad en el plenum} = V_e(A_c - A_{di})/A_D$$

$$= (481.3 \text{ FPM}) (1369 \text{ ft}^2 - 764.5 \text{ ft}^2) / (588.1 \text{ ft}^2) = 494.7 \text{ FPM}$$

$$\rho_D = \gamma_o V_D^2/2g = (0.06686 \text{ Lb/ft}^3)(494.7 \text{ FPM})^2 / [(115800 \text{ ft/min}^2)]$$

$$\rho_D = 0.07061 \text{ PSF} = 0.0136 \text{ in H}_2\text{O}$$

G. Pérdidas en la chimenea, ρ_r :

$$\rho_r = 0.25 \gamma_o [(F/A_c)^2 - V_r^2]/2g$$

$$\rho_r = 0.25 (0.06686 \text{ Lb/ft}^3) \{ [(625900 \text{ CFM})/(497.7 \text{ ft})]^2 - (1257 \text{ FPM})^2 / [2(115800$$

$$\text{ft/min}^2)] \} = 0 \text{ PSF} = 0 \text{ H}_2\text{O}$$

IV.5.5 CÁLCULO DE LA POTENCIA:

A. Presión estática, ρ_s :

$$\rho_s = \rho_i + \rho_l + \rho_{fw} + \rho_r + \rho_e + \rho_D + \rho_r$$

$$\rho_s = (0.007128 + 0 + 0.03476 + 0.2299 + 0.03023 + 0.0136 + 0) \text{ in H}_2\text{O}$$

$$\rho_s = 0.3157 \text{ in H}_2\text{O}$$

B. Velocidad de presión (presión dinámica), ρ_v :

$$\rho_v = \gamma_o V_s^2 / 2g$$

$$\rho_v = (0.06686 \text{ Lb/ft}^3)(1257 \text{ FPM})^2 / [2(115800 \text{ ft/min}^2)]$$

$$\rho_v = 0.4564 \text{ PSF} = 0.08788 \text{ in H}_2\text{O}$$

C. Presión total:

$$\rho_t = \rho_s + \rho_v = 0.3157 + 0.08788 = 0.4035 \text{ in H}_2\text{O} = 2.095 \text{ PSF}$$

D. Potencia de salida del motor, (potencia al freno):

$$\text{BHP} = F_{P_t} / (0.78 \cdot 0.95)$$

$$\text{BHP} = (625900 \text{ CFM}) (2.095 \text{ PSF}) / [(0.78)(0.95)]$$

$$\text{BHP} = 1770000 \text{ ft Lb /min} = 53.64 \text{ HP}$$

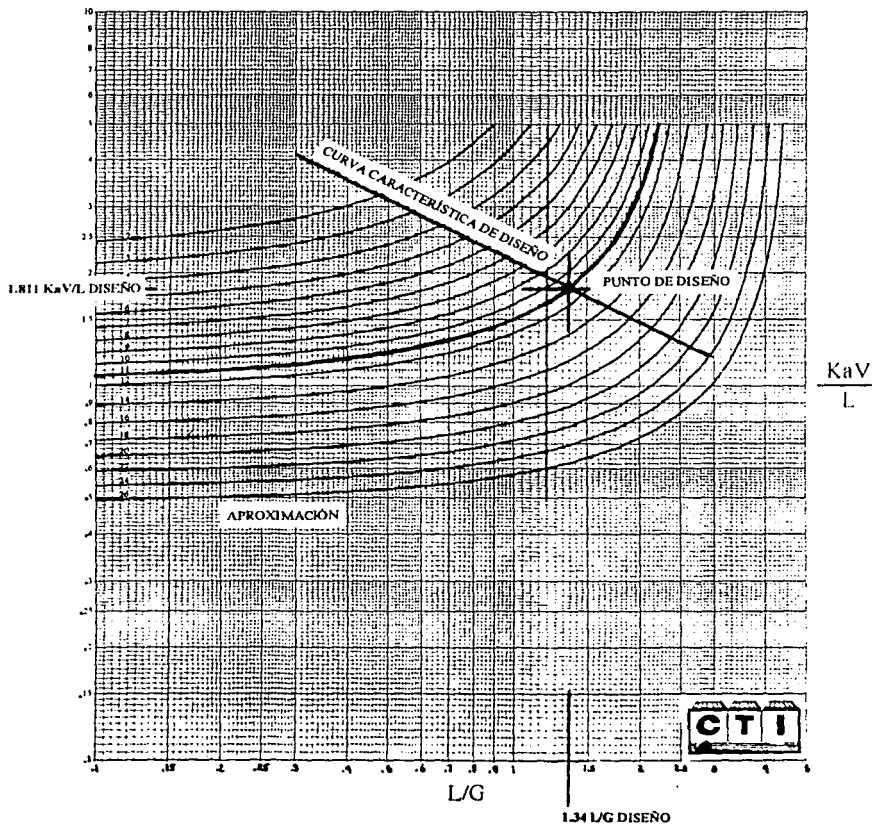
FIGURA IV. 23: CURVA CARACTERÍSTICA DE DISEÑO DE LA TORRE

WBT = 79 °F

RANGO = 40 °F

ALTITUD = 0 ft

PRESIÓN = 29.921 in Hg



IV.6 ANÁLISIS DEL TIRO INDUCIDO POR EL VENTILADOR

IV 6.1 IMPORTANCIA DE LA GEOMETRÍA DEL VENTILADOR.

La presión total contra la cual el ventilador de la torre de enfriamiento debe operar, es la suma total de las presiones estáticas en la entrada, relleno, eliminador de rocío y la presión de velocidad efectiva (presión dinámica) en el ventilador. La presión dinámica real en el ventilador, es el valor de $v^2/2g$ basado en el área neta libre del ventilador, es decir, el área total sobre el diámetro del ventilador menos el área ocupada por el disco. La presión velocidad contra la cual el ventilador debe trabajar puede ser reducida. Sin embargo añadiendo unos arreglos en la base de la descarga del ventilador. Teóricamente la presión dinámica es reducida hasta el valor de $v^2/2g$ basado en el arreglo de la salida plana del ventilador. Sin embargo, en realidad debido a que el perfil de velocidad no cubre completamente con los confines del ventilador, la presión velocidad efectiva es algunas veces un poco mayor que $v^2/2g$ en la salida del ventilador. Es común asumir que la recuperación del perfil de velocidad es del 70 % completo en la salida del ventilador. Con esta consideración, la presión dinámica efectiva es calculada como:

$$P_{v,efect} = (v^2/2g)_{fan} - 0.7 [(v^2/2g)_{fan} - (v^2/2g)_{salida}]$$

La cantidad sustraída de la presión dinámica real del ventilador es usualmente denominada el "static regain" o la recuperación de velocidad.

La eficiencia del comportamiento del ventilador puede ser realizada a través de un control cuidadoso de los aspectos de la geometría del ventilador, principalmente la configuración de entrada a la chimenea del ventilador y los claros entre las aspas del mismo. Esto se consigue proveyendo una entrada suave a la boca del cinturón del ventilador y manteniendo un claro mínimo entre las aspas del ventilador y las paredes de la chimenea, además con ello se minimiza la formación de remolinos y el flujo volumétrico de aire para que la potencia del ventilador sea óptima.

Otro factor significativo en la efectividad del sistema del manejo de aire es la geometría de la estructura debajo de la entrada del ventilador. Algunas consideraciones importantes son:

1. La interrelación de la altura plena para el área plana de la celda y el diámetro del ventilador.
2. En torres rectilíneas la interrelación de la longitud de la celda y anchura es importante.
3. Para todas las torres de tiro mecánico es crucial evitar colocar grandes obstrucciones de flujo de aire inmediatamente debajo de la entrada del ventilador.

Debido a que la chimenea del ventilador para nuestra torre de enfriamiento son cilíndricos la presión total en el ventilador es calculada como la suma de la presión total estática y la presión de velocidad en el ventilador, P_v . La presión dinámica en el ventilador, se calcula como sigue:

$$P_{v, fan} = 12 \text{ in/ft} \times (\rho_a / 62.4 \text{ LB agua/ft}^3) V_{fan}^2 / 2g$$

$$P_{v, fan} = (12 \times 0.06793 \times 23.65^2) / (62.4 \times 64.4) = 0.113 \text{ IWG}$$

La presión total en el ventilador es entonces calculado como:

$$P_T = P_s + P_{v, fan}$$

La potencia de salida del motor del ventilador requerida también se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

Potencia de salida del motor = (CFM fan x P_T) / (6356 x eficiencia del ventilador x eficiencia del reductor).

Donde:

6356 es un factor de conversión de unidades.

el rango de eficiencia del ventilador típicamente es de 0.75 a 0.80

el rango de eficiencia de los reductor varía entre 0.95 a 0.97

Uno debería ser cuidadoso de que la eficiencia del ventilador derivados a partir de los datos del fabricante sean optimistas y basados sobre modelos de prueba a escala bajo condiciones absolutamente perfectas. Los valores de la curva de eficiencia deberán por lo tanto ser establecidos dentro de un 5 a 10 % de error.

IV.7 HIDRÁULICA EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

El flujo volumétrico del agua a través de una boquilla de la torre de enfriamiento simple, deberá ser calculada en unidades de CFS utilizando la siguiente fórmula: ⁽¹¹⁾

$$Q_n = C_{DA} N (2gH)^{0.5}$$

Donde

Q_n = Velocidad de flujo en la boquilla, CFS

C_D = Coeficiente de descarga de la boquilla

A_N = Área de entrada del orificio de descarga de la boquilla, ft^2

g = Constante gravitacional = 32.2 ft/s

H = Cabezal estático sobre el orificio de elevación de la boquilla.

El cabezal estático sobre el orificio de la boquilla es igual a la diferencia en la elevación del nivel de agua y la elevación del orificio de la boquilla menos las pérdidas de entrada a la tubería de distribución. Las pérdidas por esfuerzo viscoso que ocurren a lo largo de la longitud de la tubería que llega a la boquilla y las pérdidas que tienen lugar desde la tubería hasta la boquilla.

Con el fin de minimizar las pérdidas de cabezal en los sistemas de distribución de agua en la torre de enfriamiento y asegurar una distribución uniforme sobre el sistema de relleno, la velocidad de flujo en el cabezal de distribución del agua deberá ser mantenido debajo de 3.2 ft/seg . Si la velocidad de flujo en la entrada de la tubería de distribución del agua está limitada por 2.5 ft/seg , entonces la presión estática dentro de la tubería será esencialmente constante para toda la longitud de la tubería.

La carga de agua al relleno en GPM/ft^2 puede ser variada en áreas localizadas del sistema de relleno por ajustes de los tamaños de los orificios de las boquillas y las longitudes de las mismas. No es usual en las nuevas torres de enfriamiento cambiar varios tamaños de boquillas con el fin de entonar finamente el sistema de distribución del agua para un comportamiento óptimo desde el punto de vista térmico y una eficiencia térmica óptima.

CONCLUSIONES:

Principalmente en este trabajo se aborda el tema del análisis del comportamiento térmico de una torre de enfriamiento de tipo mecánico de tiro inducido, basado en la teoría de Merkel, siendo el método más usado para la caracterización de los procesos de transferencia de calor y masa, y aceptado por el instituto de torres de enfriamiento (CTI); Dicha información es una herramienta útil para calcular la relación líquido-gas (L/G), la relación característica de la torre (KaV/L) y los valores requeridos para alcanzar las condiciones de diseño específicas (aproximación y rango).

En esta tesis se describió cada uno de los pasos que conllevan al diseño de las torres de enfriamiento, en lugar de describir la forma de utilizar el software con que actualmente las compañías de diseño y fabricantes de estos equipos lo realizan, con el fin de no visualizar esta tecnología como una caja negra.

Esta información resulta ser práctica y eficiente para el diseño industrial de las torres de enfriamiento. El procedimiento es sencillo y cualquier estudiante o egresado de ingeniería química o mecánica lo podrá aplicar a partir del referido desarrollo. Se espera que este trabajo sirva como base para evaluar y analizar el diseño térmico de una torre de enfriamiento de tipo mecánico de tiro inducido.

BIBLIOGRAFÍA:

1. BARMAN, L.D.- "Evaporative Cooling of Circulating Water" Pergamon New York 1961.
2. BRENTWOOD INDUSTRIES, INC. "Cooling Tower Application Reference", USA, 1998.
3. BURGER ROBERT. "Cooling Tower technology", 3 Ed. USA, The Fairmont Press, Inc, 1995.
4. COMPANY MARLEY, "Cooling Tower Fundamentals " 2ª Ed. USA, 1985.
5. COOLING TOWER INSTITUTE "Comparative Evaluation of Countercurrent Cooling Tower Fills", USA, CTI Buletin TP88-05 Feb. 1988.
6. COOLING TOWER INSTITUTE "Effect of Altitude on Cooling Tower Rating and Performance", USA, CTI Buletin TPR-125 July 1962.
7. COOLING TOWER INSTITUTE. "Performance Analysis", USA CTI Buletin ATP-127 June 1963.
8. COOLING TOWERS INSTITUTE. "Cooling Towers Manual", USA, January 1977.
9. COOLING TOWER INSTITUTE. "CTI Code Towers: Standard Specifications", USA, CTI Code ATC-105, February 1990.
10. FOUST A.S. Y COL. "Principios de Operaciones Unitarias", 12ª Ed. México: C.E.C.S.A. 1979.
11. FRANK KREITH, "Thermal engineering", USA, CRC Press LLC, 2000.
12. KERN, DONALD Q. "Procesos de Transferencia de Calor", Compañía Editorial Continental, S.A., 1965.

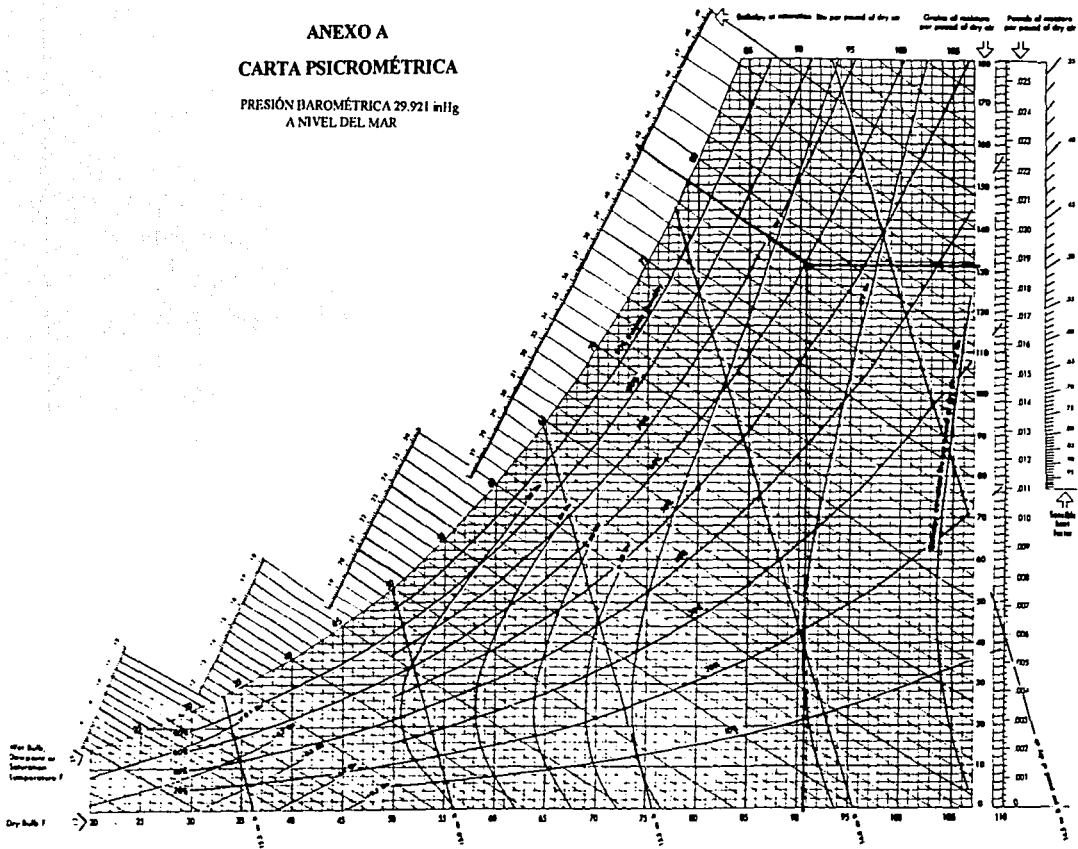
13. LUDWING, ERNEST E.- "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants", Gulf Publishing Company, volúmenes 1 y 2 1965.
14. MIKLVERY K.K. AND M. BROOKE.- "The industrial cooling Tower Elsevier, Amsterdam 1959.
15. PERRY, ROBERT H., CECIL H. CHILTON.- "Manual del Ingeniero Químico", 5ª Ed. México: Mc Granw Hill, 1982.
16. SMIT J. C. AND HARRIOTT P, "Unit Operations of Chemical Engineering, 4 Ed. McGraw-Hill, New York, 1985.
17. TREYBAL ROBERT H.- "Operaciones con Transferencia de Masa", 2ª Ed. México: Mc Granw Hill, 1981.

ANEXOS:

- A. Carta psicrométrica.
- B. Gráfica de la densidad del aire seco.
- C. Gráfica de la densidad del vapor.
- D. Propiedades del aire saturado.
- E. Tabla: Entalpía de la mezcla aire saturado-vapor de agua a 29.921 in Hg.
- F. Tabla: Entalpía de la mezcla aire saturado-vapor de agua a varias altitudes.
- G. Tabla: Densidad de la mezcla aire saturado-vapor de agua a 29.921 in Hg.
- H. Tabla: Densidad de la mezcla aire saturado-vapor agua a varias altitudes.
- I. Tabla: Volumen específico de la mezcla aire saturado-vapor de agua a 29.921 in Hg.
- J. Tabla: Volumen específico de la mezcla aire saturado-vapor de agua a varias altitudes.
- K. Tabla: Vapor de agua contenido en la mezcla aire saturado-vapor de agua al nivel del mar.
- L. Tabla: Vapor de agua contenido en la mezcla aire saturado-vapor de agua a varias altitudes.

ANEXO A
CARTA PSICROMÉTRICA

PRESIÓN BAROMÉTRICA 29.921 inHg
A NIVEL DEL MAR



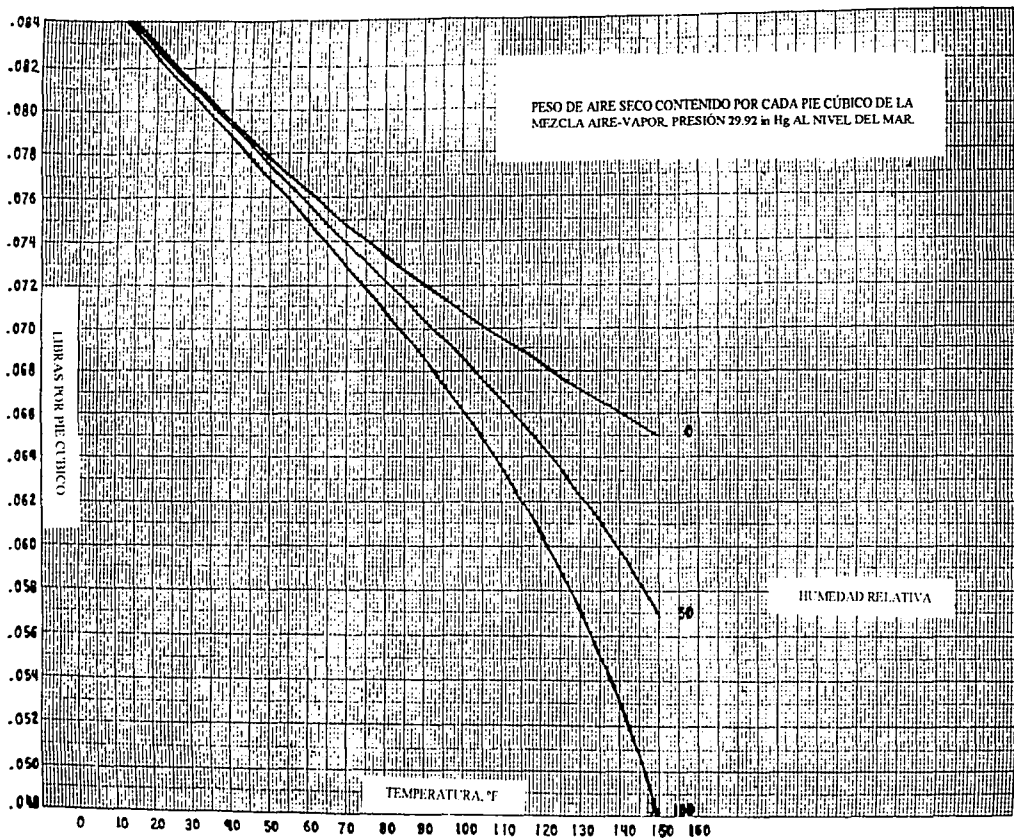
Scale 20% humidity and 100% relative humidity lines are for

Copyright 1967 Carter Corporation - Copyright 1969 Carter Corporation - 10000 Printed in U.S.A. Exp. 01/1968

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

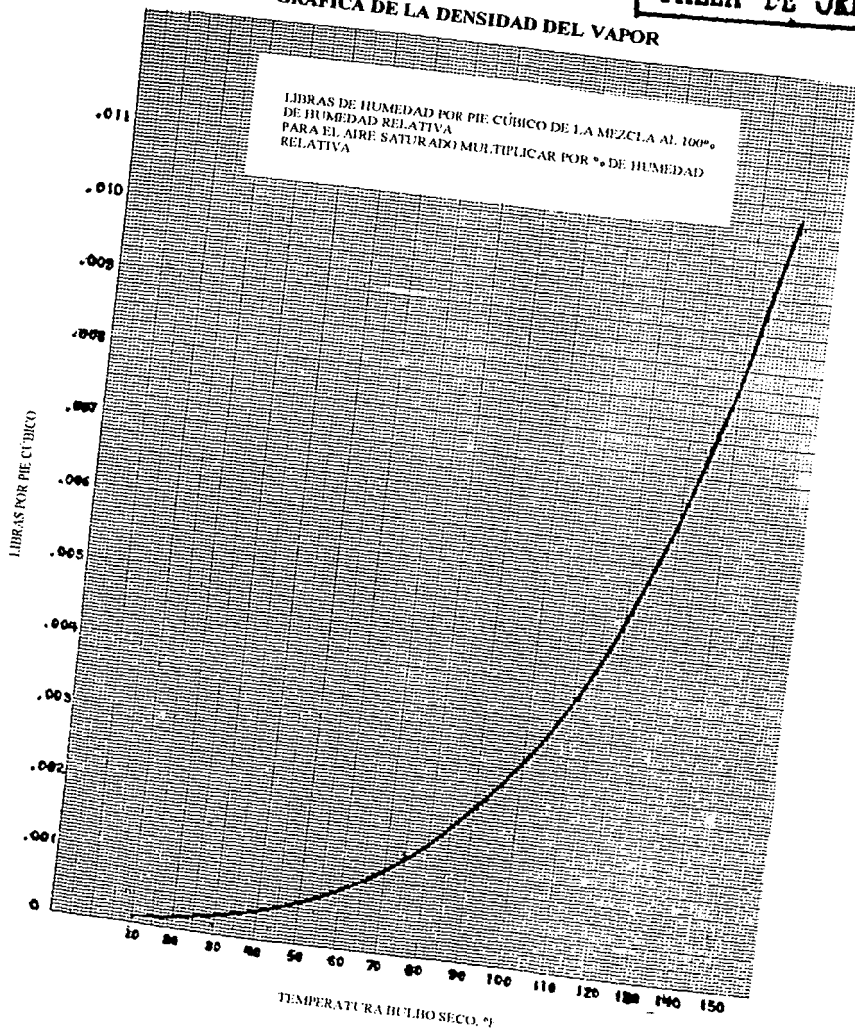
ANEXO B

GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL AIRE SECO



ANEXO C

GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL VAPOR



ANEXO D

PROPIEDADES DEL AIRE SATURADO

TEMP. = TEMPERATURA, °F
 ENTHALPY = ENTALPIA, Btu/lb DE AIRE SECO
 SP. VOL. D.A. = VOLUMEN ESPECIFICO, ft³/lb DE AIRE SECO
 VOL. MIX. = VOLUMEN, ft³/lb MEZCLA
 DENSITY MIX. = DENSIDAD, lb DE AIRE / ft³ MEZCLA
 SP. HUMID. = HUMEDAD ESPECIFICA, lb AGUA / lb DE AIRE

Temp.	Enthalpy	Sp. Vol D.A.	Vol Mix.	Density Mix.	Sp. Humid.	Temp.	Enthalpy	Sp. Vol D.A.	Vol Mix.	Density Mix.	Sp. Humid.
25.0	8.933	12.275	12.243	0.08167	0.00273	76.0	39.577	13.930	13.663	0.07318	0.01948
26.0	9.316	12.304	12.269	0.08150	0.00286	77.0	40.569	13.970	13.694	0.07302	0.02016
27.0	9.706	12.332	12.295	0.08132	0.00300	78.0	41.585	14.011	13.725	0.07285	0.02086
28.0	10.102	12.361	12.322	0.08115	0.00314	79.0	42.626	14.053	13.756	0.07269	0.02158
29.0	10.505	12.389	12.348	0.08098	0.00329	80.0	43.692	14.095	13.788	0.07252	0.02232
30.0	10.915	12.417	12.375	0.08080	0.00345	81.0	44.785	14.138	13.819	0.07236	0.02309
31.0	11.333	12.446	12.401	0.08063	0.00361	82.0	45.904	14.182	13.851	0.07219	0.02389
32.0	11.758	12.475	12.428	0.08046	0.00378	83.0	47.051	14.226	13.883	0.07202	0.02470
33.0	12.189	12.503	12.454	0.08029	0.00394	84.0	48.227	14.271	13.915	0.07186	0.02555
34.0	12.586	12.532	12.480	0.08012	0.00410	85.0	49.433	14.316	13.947	0.07169	0.02641
35.0	13.009	12.560	12.507	0.07995	0.00427	86.0	50.669	14.362	13.980	0.07152	0.02731
36.0	13.439	12.589	12.533	0.07978	0.00444	87.0	51.936	14.408	14.013	0.07136	0.02823
37.0	13.876	12.618	12.560	0.07961	0.00463	88.0	53.235	14.456	14.046	0.07119	0.02919
38.0	14.320	12.647	12.587	0.07944	0.00481	89.0	54.568	14.504	14.079	0.07102	0.03017
39.0	14.772	12.677	12.614	0.07927	0.00501	90.0	55.935	14.553	14.113	0.07085	0.03118
40.0	15.231	12.706	12.640	0.07910	0.00521	91.0	57.337	14.602	14.147	0.07068	0.03222
41.0	15.698	12.736	12.667	0.07894	0.00542	92.0	58.775	14.653	14.181	0.07051	0.03330
42.0	16.173	12.766	12.694	0.07877	0.00563	93.0	60.251	14.704	14.215	0.07034	0.03441
43.0	16.657	12.796	12.721	0.07860	0.00586	94.0	61.765	14.756	14.250	0.07017	0.03555
44.0	17.150	12.826	12.748	0.07844	0.00609	95.0	63.319	14.809	14.284	0.07000	0.03673
45.0	17.651	12.856	12.775	0.07827	0.00633	96.0	64.914	14.863	14.320	0.06983	0.03794
46.0	18.162	12.887	12.802	0.07810	0.00657	97.0	66.551	14.918	14.355	0.06965	0.03919
47.0	18.682	12.917	12.830	0.07794	0.00683	98.0	68.231	14.974	14.391	0.06948	0.04048
48.0	19.213	12.948	12.857	0.07777	0.00709	99.0	69.957	15.030	14.427	0.06931	0.04181
49.0	19.753	12.979	12.884	0.07761	0.00737	100.0	71.728	15.088	14.464	0.06913	0.04318
50.0	20.304	13.011	12.912	0.07744	0.00765	101.0	73.547	15.147	14.500	0.06896	0.04459
51.0	20.865	13.042	12.939	0.07728	0.00795	102.0	75.416	15.207	14.537	0.06878	0.04605
52.0	21.438	13.074	12.967	0.07711	0.00825	103.0	77.335	15.268	14.575	0.06860	0.04755
53.0	22.022	13.106	12.995	0.07695	0.00856	104.0	79.306	15.330	14.613	0.06843	0.04910
54.0	22.618	13.138	13.022	0.07678	0.00889	105.0	81.331	15.394	14.651	0.06825	0.05069
55.0	23.227	13.171	13.050	0.07662	0.00922	106.0	83.412	15.458	14.690	0.06807	0.05233
56.0	23.847	13.204	13.078	0.07645	0.00957	107.0	85.550	15.524	14.729	0.06789	0.05403
57.0	24.481	13.237	13.106	0.07629	0.00993	108.0	87.745	15.592	14.768	0.06771	0.05577
58.0	25.128	13.270	13.135	0.07613	0.01030	109.0	90.005	15.660	14.806	0.06753	0.05757
59.0	25.789	13.304	13.163	0.07596	0.01068	110.0	92.327	15.730	14.848	0.06734	0.05943
60.0	26.464	13.338	13.191	0.07580	0.01108	111.0	94.714	15.802	14.889	0.06716	0.06134
61.0	27.154	13.372	13.220	0.07564	0.01149	112.0	97.168	15.875	14.930	0.06697	0.06331
62.0	27.858	13.406	13.249	0.07547	0.01191	113.0	99.692	15.950	14.971	0.06679	0.06534
63.0	28.578	13.441	13.277	0.07531	0.01234	114.0	102.288	16.028	15.013	0.06660	0.06744
64.0	29.314	13.476	13.306	0.07515	0.01279	115.0	104.958	16.104	15.056	0.06641	0.06960
65.0	30.067	13.512	13.335	0.07498	0.01328	116.0	107.705	16.183	15.099	0.06622	0.07183
66.0	30.836	13.548	13.364	0.07482	0.01374	117.0	110.531	16.265	15.142	0.06603	0.07413
67.0	31.623	13.581	13.394	0.07466	0.01424	118.0	113.439	16.348	15.186	0.06584	0.07650
68.0	32.427	13.621	13.423	0.07449	0.01475	119.0	116.433	16.433	15.231	0.06565	0.07894
69.0	33.250	13.658	13.452	0.07433	0.01528	120.0	119.514	16.521	15.276	0.06545	0.08147
70.0	34.092	13.695	13.482	0.07416	0.01582	121.0	122.687	16.610	15.322	0.06526	0.08407
71.0	34.954	13.733	13.512	0.07400	0.01638	122.0	125.953	16.701	15.368	0.06506	0.08675
72.0	35.836	13.772	13.542	0.07384	0.01696	123.0	129.318	16.795	15.415	0.06487	0.08952
73.0	36.738	13.810	13.572	0.07367	0.01756	124.0	132.783	16.891	15.462	0.06467	0.09238
74.0	37.662	13.850	13.602	0.07351	0.01818	125.0	136.353	16.989	15.510	0.06447	0.09533
75.0	38.608	13.889	13.633	0.07335	0.01882						

ANEXO E

TABLA: ENTALPIA DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A 29.921 In Hg⁽⁹⁾

(Btu/lb de aire seco)

* F	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.835	0.863	0.892	0.920	0.949	0.977	1.006	1.034	1.063	1.091
1	1.120	1.149	1.177	1.206	1.235	1.264	1.293	1.321	1.350	1.379
2	1.408	1.437	1.466	1.495	1.524	1.553	1.582	1.611	1.640	1.669
3	1.698	1.727	1.756	1.786	1.815	1.844	1.874	1.903	1.932	1.962
4	1.991	2.020	2.050	2.079	2.109	2.138	2.168	2.197	2.227	2.256
5	2.286	2.316	2.345	2.375	2.405	2.434	2.464	2.494	2.523	2.553
6	2.583	2.613	2.643	2.673	2.703	2.732	2.762	2.793	2.823	2.853
7	2.883	2.913	2.944	2.974	3.005	3.035	3.066	3.096	3.127	3.157
8	3.188	3.219	3.249	3.280	3.310	3.341	3.371	3.402	3.433	3.463
9	3.494	3.525	3.556	3.586	3.617	3.648	3.679	3.710	3.741	3.772
10	3.803	3.834	3.865	3.897	3.928	3.959	3.990	4.022	4.053	4.085
11	4.116	4.147	4.179	4.210	4.242	4.273	4.305	4.337	4.368	4.400
12	4.432	4.464	4.496	4.528	4.560	4.592	4.624	4.656	4.688	4.721
13	4.753	4.785	4.817	4.850	4.882	4.914	4.946	4.979	5.011	5.044
14	5.076	5.109	5.141	5.174	5.206	5.239	5.272	5.304	5.337	5.370
15	5.403	5.436	5.469	5.502	5.535	5.568	5.602	5.635	5.668	5.702
16	5.735	5.768	5.802	5.835	5.869	5.902	5.936	5.970	6.003	6.037
17	6.071	6.105	6.139	6.173	6.207	6.241	6.275	6.309	6.343	6.378
18	6.412	6.446	6.480	6.515	6.549	6.583	6.618	6.652	6.687	6.721
19	6.756	6.791	6.825	6.860	6.895	6.930	6.965	7.000	7.035	7.071
20	7.106	7.141	7.176	7.212	7.247	7.282	7.318	7.353	7.389	7.424
21	7.460	7.496	7.532	7.567	7.603	7.639	7.675	7.711	7.748	7.784
22	7.820	7.856	7.893	7.929	7.966	8.002	8.039	8.076	8.112	8.149
23	8.186	8.223	8.260	8.297	8.334	8.371	8.408	8.445	8.482	8.520
24	8.557	8.594	8.632	8.669	8.707	8.745	8.782	8.820	8.858	8.896
25	8.934	8.972	9.010	9.048	9.086	9.125	9.163	9.201	9.240	9.278
26	9.317	9.356	9.394	9.433	9.472	9.511	9.550	9.589	9.628	9.667
27	9.706	9.745	9.785	9.824	9.864	9.904	9.943	9.983	10.023	10.063
28	10.103	10.143	10.183	10.223	10.263	10.304	10.344	10.384	10.423	10.465
29	10.506	10.547	10.587	10.628	10.669	10.710	10.750	10.791	10.833	10.874
30	10.915	10.956	10.998	11.040	11.081	11.123	11.165	11.207	11.249	11.291
31	11.333	11.376	11.418	11.461	11.503	11.546	11.589	11.631	11.673	11.716
32	11.758	11.799	11.841	11.882	11.923	11.964	12.005	12.046	12.087	12.128
33	12.169	12.210	12.252	12.293	12.335	12.376	12.418	12.460	12.501	12.543
34	12.585	12.627	12.669	12.711	12.753	12.795	12.838	12.880	12.923	12.965
35	13.008	13.051	13.093	13.136	13.179	13.222	13.265	13.308	13.351	13.395
36	13.438	13.481	13.523	13.566	13.611	13.655	13.699	13.742	13.786	13.830
37	13.874	13.918	13.962	14.007	14.051	14.095	14.140	14.185	14.229	14.274
38	14.319	14.364	14.409	14.454	14.499	14.544	14.589	14.635	14.680	14.725
39	14.771	14.817	14.862	14.908	14.954	15.000	15.045	15.092	15.138	15.184
40	15.230	15.276	15.323	15.369	15.416	15.462	15.509	15.556	15.603	15.650
41	15.697	15.744	15.791	15.839	15.886	15.933	15.981	16.029	16.076	16.124
42	16.172	16.220	16.268	16.317	16.365	16.413	16.462	16.511	16.559	16.608
43	16.657	16.706	16.755	16.804	16.853	16.902	16.951	17.001	17.050	17.099
44	17.149	17.199	17.248	17.298	17.348	17.398	17.448	17.499	17.549	17.599
45	17.650	17.701	17.751	17.802	17.853	17.904	17.956	18.007	18.058	18.110
46	18.161	18.212	18.264	18.316	18.367	18.419	18.471	18.523	18.575	18.628
47	18.680	18.733	18.785	18.838	18.891	18.944	18.997	19.051	19.104	19.157
48	19.211	19.265	19.318	19.372	19.426	19.480	19.534	19.588	19.642	19.697
49	19.751	19.806	19.860	19.915	19.970	20.025	20.080	20.135	20.190	20.246
50	20.30	20.36	20.41	20.47	20.53	20.58	20.64	20.70	20.75	20.81
51	20.86	20.92	20.97	21.03	21.09	21.14	21.20	21.26	21.32	21.37
52	21.43	21.49	21.55	21.60	21.66	21.72	21.78	21.84	21.90	21.96
53	22.02	22.07	22.13	22.19	22.25	22.31	22.37	22.43	22.49	22.55
54	22.61	22.67	22.73	22.79	22.85	22.91	22.97	23.03	23.09	23.16
55	23.22	23.28	23.34	23.40	23.46	23.53	23.59	23.65	23.71	23.78
56	23.84	23.90	23.96	24.03	24.09	24.16	24.22	24.28	24.35	24.41
57	24.48	24.54	24.60	24.67	24.73	24.80	24.86	24.92	24.99	25.05
58	25.12	25.18	25.25	25.31	25.38	25.45	25.51	25.58	25.65	25.71
59	25.78	25.85	25.91	25.98	26.05	26.12	26.18	26.25	26.32	26.39
60	26.46	26.53	26.60	26.67	26.74	26.80	26.87	26.94	27.01	27.08
61	27.15	27.22	27.29	27.36	27.43	27.50	27.57	27.64	27.71	27.78
62	27.85	27.92	27.99	28.06	28.13	28.21	28.28	28.35	28.42	28.50
63	28.57	28.64	28.72	28.79	28.86	28.94	29.01	29.09	29.16	29.24
64	29.31	29.38	29.46	29.53	29.61	29.68	29.76	29.83	29.91	29.98
65	30.06	30.13	30.20	30.28	30.36	30.44	30.51	30.59	30.67	30.75

ANEXO E

TABLA: ENTALPIA DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A 29.921 In Hg⁽⁹⁾

(Btu/lb de aire seco)

*F	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
66	30.83	30.90	30.98	31.06	31.14	31.22	31.30	31.38	31.46	31.54
67	31.62	31.70	31.78	31.86	31.94	32.02	32.10	32.18	32.26	32.34
68	32.42	32.50	32.59	32.67	32.75	32.83	32.91	32.99	33.08	33.17
69	33.23	33.33	33.41	33.50	33.58	33.66	33.74	33.83	33.91	34.00
70	34.09	34.17	34.23	34.34	34.43	34.51	34.60	34.69	34.78	34.87
71	34.93	35.04	35.13	35.22	35.30	35.39	35.48	35.57	35.66	35.75
72	35.83	35.92	36.01	36.10	36.19	36.28	36.37	36.46	36.56	36.65
73	36.74	36.83	36.92	37.01	37.10	37.20	37.29	37.38	37.48	37.57
74	37.66	37.76	37.83	37.94	38.04	38.13	38.23	38.32	38.41	38.51
75	38.61	38.70	38.80	38.89	38.98	39.08	39.18	39.27	39.37	39.47
76	39.57	39.67	39.77	39.87	39.97	40.07	40.17	40.27	40.37	40.47
77	40.57	40.67	40.77	40.87	40.97	41.07	41.17	41.27	41.37	41.48
78	41.58	41.68	41.78	41.88	41.99	42.10	42.20	42.30	42.41	42.52
79	42.62	42.73	42.84	42.94	43.05	43.16	43.26	43.37	43.47	43.58
80	43.69	43.80	43.91	44.01	44.12	44.23	44.34	44.45	44.56	44.67
81	44.78	44.89	45.00	45.11	45.22	45.34	45.45	45.56	45.67	45.78
82	45.90	46.01	46.12	46.23	46.35	46.46	46.58	46.70	46.81	46.92
83	47.04	47.15	47.27	47.39	47.51	47.63	47.74	47.86	47.98	48.10
84	48.22	48.34	48.46	48.58	48.70	48.82	48.94	49.06	49.18	49.30
85	49.43	49.55	49.67	49.79	49.91	50.03	50.15	50.28	50.40	50.53
86	50.66	50.78	50.90	51.03	51.16	51.28	51.41	51.54	51.67	51.80
87	51.93	52.06	52.19	52.32	52.45	52.58	52.71	52.84	52.97	53.10
88	53.23	53.36	53.49	53.62	53.75	53.88	54.02	54.15	54.28	54.42
89	54.56	54.69	54.82	54.96	55.09	55.23	55.37	55.51	55.65	55.79
90	55.93	56.07	56.21	56.35	56.49	56.63	56.77	56.91	57.05	57.19
91	57.33	57.47	57.61	57.76	57.90	58.05	58.19	58.34	58.48	58.63
92	58.78	58.92	59.07	59.21	59.36	59.50	59.65	59.80	59.95	60.10
93	60.23	60.40	60.57	60.70	60.85	61.00	61.15	61.31	61.46	61.61
94	61.77	61.92	62.07	62.23	62.38	62.53	62.69	62.85	63.00	63.16
95	63.32	63.48	63.63	63.79	63.95	64.11	64.27	64.44	64.60	64.76
96	64.92	65.08	65.25	65.41	65.58	65.74	65.90	66.06	66.23	66.39
97	66.55	66.72	66.88	67.05	67.22	67.39	67.56	67.73	67.90	68.07
98	68.23	68.40	68.57	68.74	68.91	69.08	69.26	69.43	69.61	69.78
99	69.96	70.14	70.32	70.50	70.67	70.85	71.02	71.20	71.38	71.55
100	71.73	71.91	72.09	72.27	72.45	72.63	72.82	73.00	73.19	73.37
101	73.55	73.73	73.92	74.11	74.29	74.48	74.67	74.86	75.04	75.23
102	75.42	75.62	75.82	76.01	76.20	76.39	76.58	76.77	76.96	77.15
103	77.34	77.54	77.73	77.93	78.12	78.32	78.52	78.72	78.92	79.12
104	79.32	79.52	79.72	79.92	80.12	80.32	80.52	80.72	80.93	81.13
105	81.34	81.54	81.75	81.95	82.16	82.37	82.58	82.79	83.00	83.21
106	83.42	83.63	83.84	84.05	84.26	84.48	84.69	84.91	85.12	85.34
107	85.56	85.77	85.99	86.21	86.43	86.65	86.87	87.10	87.32	87.54
108	87.76	87.99	88.22	88.44	88.67	88.89	89.11	89.34	89.57	89.80
109	90.03	90.25	90.48	90.71	90.94	91.17	91.40	91.64	91.87	92.10
110	92.34	92.57	92.81	93.05	93.29	93.52	93.76	94.00	94.24	94.48
111	94.72	94.96	95.21	95.45	95.70	95.94	96.19	96.44	96.68	96.93
112	97.18	97.43	97.68	97.93	98.18	98.43	98.68	98.94	99.19	99.44
113	99.71	99.96	100.22	100.48	100.74	101.00	101.26	101.52	101.78	102.05
114	102.31	102.58	102.84	103.10	103.37	103.63	103.90	104.17	104.44	104.71
115	104.98	105.25	105.52	105.79	106.06	106.34	106.61	106.89	107.17	107.45
116	107.73	108.01	108.29	108.57	108.85	109.13	109.41	109.70	109.98	110.27
117	110.55	110.84	111.13	111.42	111.71	112.00	112.29	112.58	112.87	113.17
118	113.46	113.75	114.05	114.35	114.65	114.95	115.25	115.55	115.86	116.16
119	116.46	116.77	117.07	117.38	117.69	118.00	118.30	118.61	118.92	119.23
120	119.34	119.85	120.17	120.48	120.80	121.12	121.44	121.76	122.08	122.40
121	122.72	123.04	123.36	123.68	124.01	124.34	124.67	125.00	125.33	125.65
122	125.98	126.31	126.64	126.98	127.31	127.65	127.99	128.33	128.67	129.01
123	129.33	129.69	130.03	130.37	130.72	131.06	131.41	131.75	132.10	132.45
124	132.80	133.15	133.50	133.85	134.21	134.57	134.93	135.29	135.66	136.03
125	136.4	136.7	137.1	137.5	137.8	138.2	138.6	139.0	139.3	139.7
126	140.1	140.5	140.8	141.2	141.6	142.0	142.3	142.7	143.1	143.5
127	143.9	144.3	144.7	145.1	145.5	145.9	146.3	146.7	147.1	147.4
128	147.8	148.2	148.6	149.0	149.4	149.8	150.2	150.6	151.0	151.4
129	151.8	152.2	152.6	153.0	153.4	153.8	154.2	154.6	155.0	155.5
130	155.9	156.3	156.8	157.2	157.6	158.0	158.5	158.9	159.4	159.8
131	160.3	160.7	161.2	161.6	162.0	162.5	162.9	163.4	163.8	164.2
132	164.7	165.1	165.6	166.0	166.5	167.0	167.4	167.9	168.3	168.8
133	169.3	169.7	170.2	170.7	171.1	171.6	172.1	172.6	173.0	173.5
134	174.0	174.5	175.0	175.4	175.9	176.4	176.9	177.4	177.9	178.4
135	178.9	179.4	179.9	180.4	180.9	181.4	181.9	182.4	182.9	183.4

ANEXO E

TABLA: ENTALPIA DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A 29.921 In Hg⁽⁹⁾

(Btu/lb de aire seco)

*F	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
136	181.9	184.4	184.9	185.4	185.9	186.4	186.9	187.4	188.0	188.5
137	189.0	189.5	190.0	190.6	191.1	191.6	192.1	192.6	193.1	193.6
138	194.4	194.9	195.5	196.0	196.6	197.1	197.6	198.2	198.7	199.4
139	199.9	200.5	201.1	201.7	202.2	202.8	203.4	204.0	204.5	205.1
140	205.7	206.3	206.9	207.5	208.1	208.7	209.3	209.9	210.4	211.0
141	211.6	212.2	212.8	213.4	214.0	214.6	215.2	215.8	216.4	217.0
142	217.7	218.3	218.9	219.5	220.2	220.8	221.5	222.1	222.7	223.4
143	224.1	224.7	225.3	226.0	226.6	227.3	228.0	228.6	229.3	229.9
144	230.6	231.3	232.0	232.6	233.3	234.0	234.7	235.3	236.0	236.7
145	237.4	238.1	238.8	239.5	240.2	240.9	241.6	242.3	243.0	243.7
146	244.4	245.1	245.8	246.5	247.2	248.0	248.7	249.5	250.2	250.9
147	251.7	252.4	253.2	254.0	254.7	255.5	256.2	257.0	257.7	258.5
148	259.3	260.0	260.8	261.6	262.4	263.2	263.9	264.7	265.5	266.3
149	267.1	267.9	268.7	269.5	270.3	271.1	271.9	272.7	273.5	274.4
150	275.3	276.1	276.9	277.7	278.5	279.4	280.2	281.1	281.9	282.8
151	283.6	284.5	285.3	286.2	287.1	287.9	288.8	289.7	290.6	291.5
152	292.4	293.3	294.2	295.1	296.0	296.9	297.8	298.7	299.7	300.6
153	301.5	302.4	303.3	304.3	305.2	306.1	307.1	308.0	309.0	309.9
154	310.9	311.9	312.8	313.8	314.8	315.8	316.8	317.8	318.8	319.8
155	320.8	321.8	322.8	323.8	324.8	325.8	326.9	327.9	328.9	330.0
156	331.0	332.1	333.1	334.2	335.2	336.3	337.4	338.4	339.5	340.6
157	341.7	342.8	343.9	345.0	346.1	347.1	348.3	349.4	350.5	351.6
158	352.7	353.8	355.0	356.2	357.2	358.4	359.5	360.7	361.9	363.0
159	364.2	365.4	366.6	367.8	369.0	370.2	371.4	372.6	373.8	375.1
160	376.3	377.5	378.8	380.0	381.2	382.5	383.7	385.0	386.3	387.5
161	388.8	390.1	391.4	392.7	394.0	395.3	396.6	398.0	399.3	400.7
162	402.0	403.3	404.6	406.1	407.4	408.8	410.2	411.5	412.9	414.3
163	415.7	417.1	418.5	419.9	421.3	422.7	424.1	425.5	427.0	428.4
164	429.9	431.4	432.9	434.3	435.8	437.4	438.9	440.4	441.9	443.5
165	445.0	446.5	448.1	449.6	451.2	452.8	454.3	455.9	457.3	459.1
166	460.7	462.3	463.9	465.5	467.2	468.9	470.5	472.2	473.8	475.5
167	477.2	478.9	480.6	482.3	484.0	485.7	487.4	489.2	490.9	492.6
168	494.4	496.2	497.9	499.7	501.5	503.3	505.1	506.9	508.7	510.6
169	512.4	514.3	516.1	518.0	519.9	521.8	523.7	525.7	527.6	529.5
170	531.5	533.5	535.4	537.4	539.4	541.4	543.4	545.4	547.4	549.3
171	551.5	553.6	555.6	557.7	559.8	562.0	564.1	566.2	568.4	570.5
172	572.7	574.9	577.1	579.2	581.4	583.7	585.9	588.1	590.4	592.6
173	594.9	597.2	599.5	601.8	604.1	606.4	608.8	611.1	613.5	615.9
174	618.3	620.7	623.2	625.6	628.1	630.6	633.1	635.6	638.1	640.6
175	643.2	645.8	648.3	650.9	653.5	656.1	658.7	661.4	664.0	666.7
176	669.4	672.1	674.8	677.6	680.4	683.1	685.9	688.8	691.6	694.4
177	697.3	700.2	703.1	706.0	708.9	711.9	714.8	717.8	720.8	723.9
178	726.9	730.0	733.0	736.1	739.2	742.4	745.5	748.7	751.9	755.1
179	758.3	761.6	764.8	768.1	771.4	774.8	778.1	781.5	784.9	788.4
180	791.8	795.3	798.7	802.2	805.8	809.3	812.9	816.5	820.1	823.7
181	827.4	831.1	834.8	838.6	842.4	846.2	850.1	853.9	857.8	861.8
182	865.7	869.7	873.6	877.6	881.7	885.7	889.8	894.0	898.1	902.3
183	906.5	910.8	915.0	919.4	923.7	928.1	932.5	937.0	941.4	946.0
184	950.5	955.1	959.7	964.3	968.9	973.6	978.4	983.1	988.0	992.8
185	998.	1003.	1008.	1013.	1018.	1023.	1028.	1033.	1038.	1044.
186	1049.	1054.	1060.	1065.	1070.	1076.	1081.	1087.	1093.	1098.
187	1104.	1110.	1116.	1121.	1127.	1133.	1139.	1145.	1152.	1158.
188	1164.	1170.	1177.	1183.	1189.	1196.	1202.	1209.	1216.	1222.
189	1229.	1236.	1243.	1250.	1257.	1264.	1271.	1279.	1286.	1294.
190	1301.	1308.	1316.	1323.	1331.	1339.	1346.	1354.	1362.	1370.
191	1378.	1386.	1394.	1403.	1411.	1420.	1429.	1437.	1446.	1455.
192	1464.	1473.	1482.	1491.	1501.	1510.	1520.	1529.	1539.	1549.
193	1559.	1569.	1579.	1590.	1600.	1611.	1622.	1633.	1644.	1655.
194	1666.	1677.	1689.	1700.	1712.	1723.	1735.	1747.	1759.	1772.
195	1784.	1797.	1809.	1822.	1836.	1849.	1862.	1876.	1890.	1904.
196	1918.	1932.	1947.	1961.	1976.	1991.	2006.	2022.	2037.	2053.
197	2069.	2085.	2102.	2119.	2136.	2153.	2170.	2188.	2206.	2224.
198	2245.	2262.	2281.	2300.	2319.	2339.	2359.	2380.	2401.	2422.
199	2443.	2465.	2487.	2509.	2532.	2555.	2579.	2603.	2627.	2652.
200	2677.	2702.	2728.	2755.	2781.	2809.	2836.	2864.	2893.	2922.

ANEXO F

TABLA: ENTALPIA DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A VARIAS ALTITUDES (9)

(Btu/lb de aire seco; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
0	1.844	1.120	1.158	1.196	1.236	1.278	1.321	1.365	1.411	1.459
1	1.084	1.408	1.447	1.487	1.529	1.573	1.618	1.664	1.713	1.763
2	1.609	1.698	1.739	1.781	1.825	1.870	1.918	1.967	2.018	2.071
3	1.049	1.993	2.033	2.076	2.121	2.167	2.215	2.272	2.331	2.391
4	2.242	2.284	2.330	2.377	2.425	2.475	2.527	2.580	2.634	2.690
5	2.538	2.581	2.630	2.679	2.729	2.781	2.835	2.890	2.946	3.003
6	2.837	2.884	2.934	2.984	3.036	3.091	3.148	3.206	3.265	3.323
7	3.138	3.187	3.239	3.292	3.347	3.405	3.464	3.526	3.591	3.656
8	3.442	3.494	3.547	3.603	3.661	3.721	3.784	3.849	3.917	3.986
10	3.749	3.803	3.859	3.918	3.979	4.042	4.108	4.176	4.247	4.321
11	4.059	4.116	4.175	4.236	4.300	4.366	4.435	4.507	4.581	4.659
12	4.373	4.432	4.494	4.558	4.625	4.694	4.767	4.842	4.920	5.002
13	4.690	4.752	4.817	4.884	4.954	5.027	5.103	5.181	5.264	5.349
14	5.011	5.078	5.144	5.214	5.287	5.364	5.443	5.526	5.612	5.702
15	5.333	5.404	5.475	5.548	5.625	5.705	5.788	5.875	5.965	6.060
16	5.654	5.728	5.801	5.876	5.954	6.035	6.118	6.205	6.294	6.388
17	5.996	6.071	6.149	6.230	6.314	6.402	6.493	6.587	6.684	6.782
18	6.333	6.412	6.493	6.578	6.666	6.758	6.854	6.954	7.058	7.167
19	6.674	6.757	6.842	6.931	7.023	7.120	7.220	7.323	7.434	7.548
20	7.020	7.106	7.196	7.289	7.386	7.487	7.592	7.702	7.817	7.936
21	7.371	7.461	7.555	7.652	7.754	7.860	7.970	8.085	8.205	8.331
22	7.727	7.821	7.919	8.021	8.128	8.239	8.354	8.474	8.599	8.729
23	8.088	8.186	8.289	8.396	8.508	8.624	8.745	8.871	9.003	9.141
24	8.454	8.557	8.665	8.777	8.894	9.015	9.142	9.275	9.413	9.556
25	8.826	8.934	9.047	9.164	9.287	9.414	9.547	9.686	9.831	9.982
26	9.204	9.317	9.435	9.558	9.686	9.820	9.959	10.105	10.258	10.418
27	9.588	9.707	9.830	9.959	10.093	10.233	10.379	10.531	10.690	10.856
28	9.979	10.103	10.232	10.367	10.507	10.654	10.806	10.966	11.133	11.307
29	10.376	10.506	10.641	10.782	10.929	11.082	11.242	11.410	11.584	11.767
30	10.780	10.916	11.058	11.205	11.359	11.520	11.687	11.862	12.045	12.236
31	11.191	11.334	11.482	11.636	11.797	11.965	12.141	12.324	12.516	12.716
32	11.610	11.759	11.914	12.075	12.244	12.420	12.603	12.795	12.996	13.205
33	12.034	12.189	12.351	12.519	12.694	12.876	13.064	13.259	13.461	13.671
34	12.465	12.626	12.794	12.969	13.151	13.340	13.536	13.740	13.951	14.169
35	12.902	13.068	13.241	13.421	13.608	13.802	14.004	14.213	14.430	14.654
36	13.346	13.517	13.694	13.878	14.068	14.264	14.467	14.678	14.896	15.121
37	13.796	13.971	14.153	14.342	14.538	14.741	14.951	15.168	15.393	15.626
38	14.252	14.432	14.619	14.814	15.016	15.225	15.441	15.665	15.896	16.135
39	14.714	14.899	15.091	15.290	15.496	15.709	15.929	16.156	16.391	16.634
40	15.182	15.371	15.566	15.768	15.976	16.191	16.413	16.643	16.880	17.124
41	15.656	15.849	16.048	16.254	16.467	16.687	16.914	17.148	17.389	17.637
42	16.136	16.334	16.538	16.748	16.964	17.187	17.417	17.654	17.898	18.149
43	16.622	16.824	17.032	17.246	17.466	17.693	17.927	18.168	18.416	18.671
44	17.114	17.321	17.535	17.756	17.983	18.217	18.458	18.706	18.961	19.223
45	17.612	17.824	18.043	18.269	18.502	18.742	18.989	19.243	19.504	19.772
46	18.116	18.334	18.559	18.791	19.030	19.277	19.531	19.792	20.060	20.335
47	18.626	18.849	19.079	19.316	19.560	19.811	20.069	20.334	20.607	20.887
48	19.142	19.371	19.607	19.850	20.100	20.357	20.621	20.892	21.170	21.455
49	19.664	19.898	20.139	20.386	20.640	20.901	21.169	21.444	21.726	22.015
50	20.192	20.431	20.677	20.930	21.189	21.455	21.728	22.008	22.294	22.587
51	20.726	20.969	21.219	21.476	21.740	22.010	22.287	22.571	22.861	23.158
52	21.266	21.514	21.769	22.031	22.299	22.574	22.856	23.145	23.441	23.744
53	21.812	22.064	22.323	22.589	22.861	23.139	23.426	23.721	24.024	24.334
54	22.364	22.621	22.885	23.156	23.433	23.716	24.006	24.303	24.607	24.918
55	22.922	23.184	23.453	23.729	24.012	24.301	24.596	24.898	25.207	25.522
56	23.486	23.753	24.028	24.310	24.598	24.892	25.193	25.501	25.816	26.138
57	24.056	24.328	24.607	24.892	25.183	25.480	25.784	26.095	26.413	26.738
58	24.632	24.909	25.193	25.484	25.781	26.084	26.394	26.711	27.035	27.366
59	25.214	25.496	25.785	26.080	26.382	26.691	27.007	27.330	27.659	27.994
60	25.802	26.089	26.383	26.684	26.992	27.307	27.629	27.958	28.294	28.637
61	26.396	26.688	26.987	27.293	27.607	27.928	28.256	28.591	28.933	29.282
62	26.996	27.293	27.597	27.909	28.228	28.554	28.887	29.227	29.574	29.927
63	27.602	27.904	28.214	28.531	28.855	29.185	29.521	29.864	30.214	30.571
64	28.214	28.521	28.837	29.160	29.489	29.824	30.166	30.515	30.871	31.234
65	28.832	29.144	29.464	29.791	30.124	30.463	30.808	31.160	31.519	31.885
66	29.456	29.773	30.098	30.430	30.768	31.112	31.462	31.819	32.183	32.554
67	30.086	30.408	30.737	31.073	31.416	31.765	32.120	32.482	32.851	33.226
68	30.722	31.049	31.383	31.723	32.069	32.421	32.779	33.144	33.516	33.894
69	31.364	31.696	32.035	32.380	32.731	33.088	33.451	33.820	34.196	34.579
70	32.012	32.349	32.693	33.044	33.401	33.764	34.133	34.508	34.889	35.276

ANEXO F

TABLA: ENTALPIA DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A VARIAS ALTITUDES (9)

(Btu/lb de aire seco; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
70	83.464	84.092	34.748	55.435	36.153	36.904	37.492	38.516	39.381	40.287
71	34.303	34.954	35.834	36.346	37.090	37.870	38.668	39.541	40.438	41.378
72	35.181	35.835	36.541	37.278	38.051	38.859	39.705	40.592	41.522	42.486
73	36.036	36.733	37.489	38.254	39.034	39.837	40.661	41.515	42.401	43.321
74	36.937	37.662	38.420	39.212	40.042	40.911	41.821	42.752	43.715	44.824
75	37.875	38.608	39.393	40.215	41.075	41.978	42.919	43.908	44.946	46.034
76	38.799	39.577	40.390	41.242	42.134	43.067	44.045	45.071	46.146	47.275
77	39.762	40.589	41.412	42.295	43.218	44.181	45.200	46.284	47.379	48.549
78	40.755	41.585	42.459	43.373	44.337	45.354	46.385	47.487	48.643	49.857
79	41.760	42.626	43.531	44.479	45.471	46.511	47.600	48.743	49.941	51.200
80	42.796	43.692	44.630	45.612	46.640	47.718	48.847	50.031	51.274	52.579
81	43.856	44.785	45.756	46.774	47.839	48.956	50.126	51.354	52.642	53.996
82	44.942	45.904	46.911	47.965	49.069	50.228	51.439	52.711	54.047	55.449
83	46.056	47.052	48.095	49.186	50.330	51.529	52.786	54.105	55.489	56.943
84	47.196	48.228	49.308	50.439	51.624	52.866	54.169	55.536	56.971	58.478
85	48.365	49.434	50.552	51.724	52.952	54.239	55.589	57.005	58.493	60.065
86	49.570	50.670	51.823	52.942	54.214	55.547	57.044	58.514	60.056	61.676
87	50.792	51.937	53.137	54.394	56.712	57.093	58.643	60.064	61.682	63.341
88	52.051	53.237	54.490	56.782	57.146	58.678	60.080	61.656	63.312	65.053
89	53.342	54.573	55.837	58.019	58.619	60.105	61.654	63.292	65.008	66.811
90	54.665	55.937	57.270	58.666	60.131	61.867	63.279	64.972	66.781	68.622
91	57.340	58.720	60.196	61.853	63.274	64.944	66.699	68.548	70.441	72.294
92	57.416	58.779	60.208	61.705	63.278	64.925	66.655	68.473	70.384	72.394
93	58.844	60.256	61.735	63.298	64.913	66.820	68.413	70.297	72.278	74.361
94	60.309	61.770	63.302	64.908	66.593	68.362	70.220	72.172	74.224	76.354
95	61.812	63.325	64.911	66.574	68.319	70.161	72.076	74.099	76.226	78.465
96	63.354	64.920	66.562	68.285	70.092	72.006	73.964	76.050	78.354	80.808
97	64.937	66.558	68.258	70.42	71.914	73.860	75.949	78.118	80.403	82.809
98	66.561	68.240	70.000	71.847	73.785	75.822	77.962	80.213	82.582	85.078
99	68.229	69.966	71.788	73.701	75.709	77.618	80.036	82.568	84.824	87.409
100	69.940	71.739	73.625	75.606	77.665	79.870	82.168	84.565	87.130	89.811
101	71.697	73.659	75.612	77.663	79.717	81.980	84.361	86.866	89.504	92.283
102	73.501	75.489	77.481	79.574	81.805	84.150	86.617	89.213	91.947	94.829
103	75.354	77.348	79.442	81.641	83.962	86.381	88.937	91.628	94.462	97.450
104	77.256	79.321	81.459	83.766	86.159	88.675	91.324	94.113	97.051	100.150
105	79.210	81.347	83.592	85.950	88.429	91.036	93.781	96.671	99.718	102.931
106	81.217	83.430	85.754	88.196	90.783	93.465	96.309	99.305	102.464	105.798
107	83.279	85.569	87.976	90.505	93.164	95.963	98.910	102.018	105.292	108.748
108	85.397	87.758	90.260	92.879	95.634	98.534	101.589	104.809	108.203	111.790
109	87.574	90.029	92.609	95.321	98.175	101.180	104.347	107.685	111.207	114.928
110	89.810	92.352	95.024	97.833	100.790	103.904	107.186	110.647	114.300	118.159
111	92.109	94.741	97.507	100.418	103.481	106.708	110.110	113.699	117.488	121.492
112	94.413	97.181	100.062	103.077	106.251	109.596	113.122	116.844	120.774	124.929
113	96.902	99.723	102.690	105.813	109.102	112.569	116.225	120.085	124.163	128.474
114	99.400	102.321	105.994	108.630	112.038	115.631	119.423	123.426	127.656	132.131
115	101.969	104.993	108.177	111.529	115.061	118.786	122.717	126.870	131.280	135.905
116	104.610	107.743	111.040	114.513	118.174	122.036	126.113	130.421	134.977	139.790
117	107.327	110.572	113.967	117.596	121.381	125.385	129.414	134.064	138.612	143.820
118	110.122	113.483	117.021	120.781	124.664	128.837	133.223	137.862	142.770	147.971
119	112.998	116.473	120.145	124.010	128.069	132.395	136.948	141.759	146.854	152.257
120	115.958	119.619	123.362	127.368	131.597	136.063	140.785	145.782	151.074	156.665
121	119.003	122.738	126.675	130.828	135.213	139.846	144.746	149.833	155.430	161.260
122	122.138	126.008	130.086	134.393	139.148	144.148	149.354	154.729	160.292	165.820
123	125.363	129.375	133.604	138.069	142.785	147.853	153.032	158.445	164.077	170.074
124	128.689	132.844	137.228	141.857	146.750	151.926	157.407	163.216	169.380	175.827
125	132.111	136.417	140.962	145.784	150.840	156.213	161.904	167.939	174.345	181.153
126	135.636	140.099	144.812	149.792	155.060	160.637	166.548	172.819	179.479	186.560
127	139.267	143.894	148.781	153.948	159.415	165.206	171.346	177.863	184.786	192.155
128	143.008	147.806	152.875	158.234	163.911	169.874	176.074	182.579	189.427	196.747
129	146.864	151.839	157.097	162.660	168.552	174.799	181.428	188.471	195.964	203.944
130	150.839	155.998	161.453	167.228	173.346	179.835	186.725	194.051	201.847	210.156
131	154.934	160.288	165.949	171.943	178.297	185.041	192.204	199.824	207.939	216.593
132	159.162	164.713	170.586	176.813	183.414	190.422	197.872	205.800	214.249	223.295
133	163.520	169.260	175.379	181.843	188.701	195.987	203.736	211.968	220.748	229.184
134	168.015	173.993	180.325	187.040	194.188	201.744	209.807	218.396	227.565	237.360
135	172.654	178.859	185.435	192.411	199.821	207.701	216.092	225.029	234.592	244.808
136	177.442	183.864	190.714	197.964	205.689	213.867	222.602	231.923	241.581	252.899
137	182.385	189.074	196.170	203.706	211.719	220.251	229.348	239.060	249.445	260.548
138	187.489	194.436	201.810	209.645	218.151	227.162	236.864	247.484	258.878	271.584
139	192.761	199.978	207.642	215.791	224.466	233.715	243.590	254.147	265.484	277.884

ANEXO F

TABLA: ENTALPIA DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A VARIAS ALTITUDES (9)

(Btu/lb de aire seco; altitud en ft)

Temp °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
140	194.827	205.706	213.674	222.182	231.183	240.817	251.110	262.124	273.929	286.606
141	203.835	211.630	219.816	228.738	238.142	248.181	258.914	270.468	282.758	295.990
142	209.653	217.167	226.377	236.559	246.566	256.819	267.115	278.110	291.901	306.782
143	215.070	224.096	233.586	243.427	253.634	264.145	274.830	286.564	299.396	313.441
144	221.893	230.658	239.994	249.653	259.692	270.174	281.075	292.271	311.861	328.549
145	228.331	237.452	247.173	257.489	268.643	280.621	293.263	306.958	321.701	337.813
146	234.996	244.488	254.613	265.429	277.001	289.420	302.717	317.040	332.479	349.158
147	241.896	251.779	262.329	273.608	285.682	298.635	312.555	327.544	343.719	361.214
148	249.241	259.538	270.332	282.096	294.703	308.229	322.799	338.954	355.449	375.810
149	256.446	267.172	278.637	290.914	304.082	318.233	333.470	349.913	367.698	386.382
150	264.121	275.300	287.260	300.077	313.837	328.639	344.694	361.831	380.498	400.786
151	272.079	283.736	296.216	309.603	323.989	339.420	356.197	374.278	393.584	415.201
152	280.335	292.494	305.524	319.513	334.561	350.782	368.306	387.285	407.991	430.330
153	288.983	301.591	315.201	329.823	345.576	362.870	380.953	400.887	422.542	446.290
154	297.794	311.046	325.287	340.560	357.057	374.874	394.370	415.124	437.940	462.963
155	307.039	320.875	335.744	351.785	369.034	387.725	407.994	430.035	454.074	480.375
156	316.841	331.100	346.654	363.421	381.637	401.157	422.664	446.967	471.015	498.798
157	326.828	341.743	358.022	375.591	394.596	415.206	437.821	462.066	488.821	518.108
158	337.014	352.827	369.875	388.295	408.248	429.913	453.511	479.293	507.535	538.682
159	347.828	364.377	382.240	401.565	422.525	445.320	470.186	497.399	527.286	560.240
160	359.084	376.420	395.150	415.438	437.473	461.474	487.699	516.451	548.029	583.065
161	370.821	388.984	408.636	429.951	453.134	478.427	506.111	536.521	570.056	607.197
162	383.057	402.102	422.734	445.145	469.658	499.235	525.488	557.656	593.271	632.778
163	395.824	415.809	437.485	461.064	486.795	514.960	545.903	580.033	617.841	659.028
164	409.154	430.137	452.930	477.763	504.903	534.666	567.438	603.657	644.882	686.779
165	423.082	445.130	469.118	495.290	523.947	555.436	590.174	628.666	671.523	718.497
166	437.674	460.831	486.092	513.705	543.994	577.343	614.218	656.177	700.908	752.258
167	452.887	477.290	503.914	533.074	565.121	600.483	639.674	683.323	732.200	787.263
168	468.847	494.547	522.643	553.446	587.412	624.954	666.666	713.252	765.541	824.741
169	485.577	512.870	542.343	574.961	610.960	650.889	695.330	745.132	801.260	864.954
170	503.128	531.718	563.088	597.644	635.889	678.353	725.818	779.150	833.472	908.202
171	521.559	551.757	584.958	621.810	662.254	707.646	758.259	815.621	880.487	968.798
172	540.832	572.961	608.041	648.968	690.241	738.904	792.970	854.487	924.814	1006.235
173	561.518	595.114	632.435	676.830	719.976	771.704	830.050	896.335	973.207	1059.884
174	582.789	618.606	658.249	702.334	751.619	807.045	869.790	941.355	1023.681	1119.222
175	605.435	643.437	685.603	732.624	785.352	844.853	912.474	989.944	1079.518	1184.180
176	629.342	669.718	714.634	764.866	821.380	885.387	958.433	1042.518	1140.276	1253.250
177	654.619	697.575	745.929	799.248	859.935	929.942	1008.046	1099.575	1206.624	1333.414
178	681.379	727.145	778.349	835.980	901.285	975.858	1061.753	1161.697	1279.352	1418.780
179	709.749	758.586	813.395	875.303	945.734	1026.623	1108.069	1215.575	1339.407	1515.606
180	739.872	792.072	850.850	917.490	993.631	1081.397	1183.598	1304.028	1447.933	1622.784
181	771.909	827.800	890.960	962.857	1045.382	1141.011	1253.055	1386.041	1546.324	1748.118
182	806.039	865.996	934.009	1011.765	1101.458	1205.992	1329.292	1476.804	1656.300	1879.273
183	842.074	906.334	980.875	1064.295	1162.411	1277.660	1413.331	1571.793	1785.005	2017.665
184	881.423	950.847	1030.267	1121.947	1228.890	1355.183	1506.417	1690.744	1920.166	2163.231
185	923.171	998.128	1084.284	1184.281	1301.865	1441.303	1610.063	1817.960	2086.192	2320.995
186	968.012	1049.145	1142.875	1252.307	1381.656	1536.794	1726.146	1922.262	2284.665	2493.507
187	1016.291	1104.345	1206.833	1326.824	1469.971	1643.220	1857.023	2127.301	2479.583	2687.900
188	1068.408	1164.252	1274.255	1408.790	1567.969	1762.545	2005.671	2273.029	2733.029	2911.796
189	1124.827	1229.478	1352.574	1499.359	1677.274	1897.235	2175.936	2440.252	2938.594	3171.114
190	1186.089	1300.750	1436.584	1599.937	1799.972	2050.422	2372.524	2603.175	3045.908	3309.888
191	1252.851	1378.931	1529.488	1712.254	1938.639	2226.161	2603.165	2811.712	3166.544	3464.238
192	1325.800	1465.057	1632.755	1836.484	2096.572	2429.774	2876.076	3054.327	3433.466	3632.185
193	1405.912	1560.382	1746.193	1981.280	2278.044	2668.410	3094.536	3298.156	3728.859	3824.175
194	1494.228	1666.439	1878.060	2144.175	2488.691	2921.888	3407.328	3605.188	4057.113	4060.600
195	1591.063	1785.123	2025.207	2331.658	2736.108	3294.074	4112.777	4429.542	4786.146	
196	1701.019	1918.890	2193.291	2549.700	3030.387	3715.212	4578.699	4861.381		
197	1823.079	2070.469	2387.078	2806.372	3387.549	4248.080	5041.435	5303.750		
198	1960.727	2243.984	2612.201	3112.828	3828.808	4827.929	5677.187			
199	2117.118	2444.388	2879.358	3485.294	4386.511	5687.838	6711.890			
200	2296.321	2678.401	3198.425	3946.972	5118.137	7197.080				

ANEXO G

TABLA: DENSIDAD DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A 29.921 in Hg⁽⁹⁾

(lb mezcla / ft³ mezcla)

°F	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
60	.07586	.07584	.07582	.07581	.07579	.07577	.07576	.07574	.07573	.07571
61	.07569	.07568	.07566	.07564	.07563	.07561	.07559	.07558	.07556	.07554
62	.07553	.07551	.07549	.07548	.07546	.07545	.07543	.07541	.07540	.07538
63	.07536	.07535	.07533	.07531	.07530	.07528	.07527	.07525	.07523	.07522
64	.07510	.07511	.07517	.07517	.07515	.07513	.07510	.07509	.07507	.07505
65	.07503	.07502	.07500	.07499	.07497	.07496	.07494	.07492	.07491	.07489
66	.07488	.07486	.07484	.07483	.07481	.07479	.07478	.07476	.07474	.07472
67	.07471	.07469	.07468	.07466	.07464	.07463	.07461	.07459	.07458	.07456
68	.07454	.07453	.07451	.07449	.07448	.07446	.07444	.07443	.07441	.07440
69	.07438	.07436	.07435	.07433	.07431	.07430	.07428	.07427	.07425	.07423
70	.07422	.07420	.07419	.07417	.07415	.07414	.07412	.07411	.07409	.07407
71	.07406	.07404	.07403	.07401	.07399	.07398	.07396	.07395	.07393	.07391
72	.07390	.07388	.07386	.07385	.07383	.07381	.07380	.07378	.07377	.07375
73	.07373	.07372	.07370	.07368	.07366	.07365	.07363	.07361	.07360	.07358
74	.07356	.07355	.07353	.07351	.07350	.07348	.07346	.07345	.07343	.07341
75	.07340	.07338	.07336	.07335	.07333	.07332	.07330	.07328	.07327	.07325
76	.07323	.07322	.07320	.07318	.07317	.07315	.07313	.07312	.07310	.07308
77	.07307	.07305	.07303	.07302	.07300	.07299	.07297	.07295	.07294	.07292
78	.07290	.07289	.07287	.07285	.07284	.07282	.07280	.07279	.07277	.07275
79	.07274	.07272	.07270	.07269	.07267	.07265	.07264	.07262	.07261	.07259
80	.07257	.07256	.07254	.07252	.07251	.07249	.07247	.07246	.07244	.07243
81	.07241	.07239	.07237	.07236	.07234	.07232	.07230	.07229	.07227	.07225
82	.07224	.07222	.07221	.07219	.07217	.07215	.07214	.07212	.07211	.07209
83	.07207	.07206	.07204	.07202	.07200	.07199	.07197	.07195	.07194	.07192
84	.07191	.07189	.07187	.07185	.07184	.07182	.07180	.07179	.07177	.07176
85	.07174	.07172	.07170	.07169	.07167	.07165	.07164	.07162	.07160	.07158
86	.07157	.07155	.07154	.07152	.07151	.07149	.07147	.07145	.07144	.07142
87	.07140	.07138	.07137	.07135	.07133	.07132	.07130	.07128	.07127	.07125
88	.07123	.07122	.07120	.07118	.07116	.07115	.07113	.07111	.07110	.07108
89	.07106	.07105	.07103	.07101	.07100	.07098	.07096	.07095	.07093	.07091
90	.07090	.07088	.07086	.07084	.07083	.07081	.07079	.07078	.07076	.07074
91	.07073	.07071	.07069	.07067	.07066	.07064	.07062	.07061	.07059	.07057
92	.07056	.07054	.07052	.07050	.07049	.07047	.07045	.07043	.07042	.07040
93	.07038	.07037	.07035	.07033	.07031	.07030	.07028	.07026	.07025	.07023
94	.07021	.07019	.07018	.07016	.07014	.07013	.07011	.07009	.07007	.07006
95	.07004	.07002	.07001	.06999	.06997	.06995	.06994	.06992	.06990	.06988
96	.06985	.06983	.06982	.06980	.06978	.06976	.06975	.06973	.06971	.06970
97	.06969	.06968	.06966	.06964	.06962	.06961	.06959	.06957	.06955	.06954
98	.06952	.06950	.06948	.06947	.06945	.06943	.06942	.06940	.06938	.06937
99	.06935	.06933	.06931	.06930	.06928	.06926	.06924	.06922	.06921	.06919
100	.06917	.06915	.06914	.06912	.06910	.06908	.06907	.06905	.06903	.06901
101	.06900	.06898	.06896	.06894	.06893	.06891	.06889	.06887	.06886	.06884
102	.06882	.06880	.06878	.06877	.06875	.06873	.06871	.06870	.06868	.06866
103	.06864	.06862	.06861	.06859	.06857	.06855	.06853	.06852	.06850	.06848
104	.06846	.06844	.06843	.06841	.06839	.06837	.06836	.06834	.06832	.06830
105	.06829	.06827	.06825	.06823	.06821	.06819	.06818	.06816	.06814	.06812
106	.06810	.06809	.06807	.06805	.06803	.06801	.06800	.06798	.06796	.06794
107	.06792	.06791	.06789	.06787	.06785	.06783	.06781	.06779	.06778	.06776
108	.06774	.06772	.06770	.06769	.06767	.06765	.06763	.06761	.06760	.06758
109	.06756	.06754	.06752	.06751	.06749	.06747	.06745	.06743	.06741	.06740
110	.06738	.06736	.06734	.06732	.06730	.06728	.06727	.06725	.06723	.06721
111	.06719	.06717	.06715	.06714	.06712	.06710	.06708	.06706	.06704	.06703
112	.06701	.06699	.06697	.06695	.06693	.06691	.06689	.06688	.06686	.06684
113	.06682	.06680	.06678	.06676	.06674	.06673	.06671	.06669	.06667	.06665
114	.06663	.06661	.06660	.06658	.06656	.06654	.06652	.06650	.06648	.06646
115	.06644	.06643	.06641	.06639	.06637	.06635	.06633	.06631	.06629	.06627
116	.06625	.06624	.06622	.06620	.06618	.06616	.06614	.06612	.06610	.06608
117	.06607	.06605	.06603	.06601	.06599	.06597	.06595	.06593	.06591	.06589
118	.06587	.06585	.06583	.06581	.06579	.06577	.06576	.06574	.06572	.06570
119	.06568	.06566	.06564	.06562	.06560	.06558	.06556	.06554	.06552	.06550
120	.06548	.06546	.06544	.06542	.06540	.06538	.06537	.06535	.06533	.06531
121	.06529	.06527	.06525	.06523	.06521	.06519	.06517	.06515	.06513	.06511
122	.06509	.06507	.06505	.06503	.06501	.06499	.06497	.06495	.06493	.06491
123	.06489	.06487	.06485	.06483	.06481	.06479	.06477	.06475	.06473	.06471
124	.06469	.06467	.06465	.06463	.06461	.06459	.06457	.06455	.06453	.06451
°F	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9

ANEXO H

TABLA: DENSIDAD DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A VARIAS ALTITUDES⁽⁹⁾

(lb mezcla / ft³ mezcla; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
0	.08949	.08632	.08324	.08026	.07736	.07454	.07181	.06918	.06659	.06409
1	.08930	.08613	.08306	.08008	.07718	.07438	.07165	.06902	.06644	.06395
2	.08910	.08594	.08288	.07990	.07701	.07421	.07148	.06885	.06629	.06381
3	.08890	.08575	.08270	.07973	.07684	.07405	.07133	.06870	.06615	.06367
4	.08871	.08557	.08252	.07955	.07666	.07388	.07116	.06855	.06600	.06353
5	.08851	.08538	.08233	.07936	.07651	.07372	.07102	.06840	.06586	.06339
6	.08832	.08519	.08215	.07919	.07634	.07356	.07086	.06825	.06571	.06325
7	.08813	.08501	.08197	.07903	.07618	.07340	.07071	.06810	.06557	.06311
8	.08794	.08482	.08179	.07886	.07601	.07324	.07055	.06795	.06542	.06297
9	.08774	.08464	.08162	.07869	.07584	.07308	.07040	.06780	.06528	.06284
10	.08755	.08445	.08144	.07851	.07566	.07292	.07025	.06765	.06514	.06270
11	.08736	.08427	.08126	.07834	.07551	.07278	.07010	.06751	.06500	.06256
12	.08717	.08408	.08109	.07817	.07535	.07262	.06994	.06736	.06485	.06243
13	.08698	.08390	.08091	.07800	.07518	.07245	.06979	.06721	.06471	.06229
14	.08680	.08372	.08073	.07783	.07502	.07229	.06964	.06706	.06457	.06215
15	.08661	.08354	.08056	.07767	.07486	.07213	.06949	.06692	.06443	.06202
16	.08642	.08336	.08038	.07750	.07469	.07197	.06933	.06677	.06429	.06188
17	.08623	.08318	.08021	.07733	.07453	.07182	.06918	.06663	.06415	.06175
18	.08605	.08300	.08004	.07716	.07437	.07166	.06903	.06648	.06401	.06161
19	.08586	.08282	.07987	.07700	.07421	.07151	.06889	.06634	.06387	.06148
20	.08568	.08264	.07969	.07683	.07405	.07135	.06874	.06620	.06373	.06135
21	.08549	.08246	.07952	.07666	.07389	.07120	.06859	.06605	.06359	.06121
22	.08531	.08229	.07935	.07650	.07373	.07105	.06844	.06591	.06345	.06108
23	.08513	.08211	.07916	.07633	.07357	.07089	.06828	.06575	.06330	.06093
24	.08494	.08193	.07901	.07617	.07341	.07074	.06814	.06563	.06318	.06082
25	.08476	.08176	.07884	.07601	.07326	.07059	.06800	.06548	.06305	.06068
26	.08458	.08158	.07867	.07584	.07310	.07043	.06785	.06534	.06291	.06055
27	.08440	.08141	.07850	.07568	.07294	.07028	.06770	.06520	.06277	.06042
28	.08422	.08123	.07833	.07551	.07278	.07013	.06756	.06506	.06264	.06029
29	.08405	.08106	.07816	.07535	.07263	.06998	.06741	.06492	.06250	.06015
30	.08386	.08089	.07800	.07519	.07247	.06983	.06727	.06478	.06237	.06003
31	.08368	.08071	.07783	.07503	.07231	.06968	.06712	.06464	.06223	.05989
32	.08350	.08054	.07766	.07487	.07216	.06953	.06697	.06450	.06210	.05977
33	.08332	.08037	.07750	.07471	.07200	.06938	.06683	.06436	.06196	.05964
34	.08315	.08020	.07733	.07455	.07185	.06923	.06669	.06422	.06183	.05951
35	.08297	.08003	.07717	.07439	.07170	.06908	.06654	.06408	.06169	.05938
36	.08279	.07986	.07700	.07423	.07154	.06893	.06640	.06394	.06156	.05925
37	.08262	.07969	.07684	.07407	.07139	.06879	.06626	.06381	.06143	.05912
38	.08244	.07952	.07667	.07392	.07124	.06864	.06612	.06367	.06130	.05900
39	.08227	.07935	.07651	.07376	.07108	.06849	.06597	.06353	.06116	.05887
40	.08209	.07918	.07635	.07360	.07093	.06834	.06583	.06340	.06103	.05874
41	.08192	.07901	.07618	.07344	.07078	.06820	.06569	.06326	.06090	.05861
42	.08174	.07884	.07602	.07329	.07063	.06805	.06555	.06312	.06077	.05849
43	.08157	.07867	.07585	.07313	.07048	.06790	.06541	.06299	.06064	.05837
44	.08140	.07851	.07570	.07297	.07033	.06776	.06527	.06285	.06050	.05823
45	.08122	.07834	.07554	.07282	.07018	.06761	.06513	.06271	.06037	.05810
46	.08105	.07817	.07538	.07266	.07003	.06747	.06499	.06258	.06024	.05798
47	.08088	.07801	.07521	.07251	.06987	.06732	.06484	.06244	.06011	.05785
48	.08071	.07784	.07505	.07235	.06972	.06718	.06470	.06231	.05998	.05772
49	.08054	.07767	.07489	.07219	.06957	.06703	.06456	.06217	.05985	.05760
50	.08036	.07751	.07473	.07204	.06942	.06689	.06442	.06204	.05972	.05747
51	.08019	.07734	.07457	.07188	.06927	.06674	.06428	.06190	.05959	.05735
52	.08002	.07718	.07441	.07172	.06911	.06659	.06414	.06177	.05946	.05723
53	.07985	.07701	.07425	.07156	.06896	.06645	.06401	.06163	.05933	.05709
54	.07968	.07685	.07409	.07142	.06883	.06631	.06387	.06150	.05920	.05697
55	.07951	.07668	.07393	.07127	.06868	.06616	.06373	.06136	.05907	.05684
56	.07934	.07652	.07377	.07111	.06853	.06602	.06359	.06123	.05894	.05672
57	.07917	.07635	.07361	.07095	.06838	.06587	.06345	.06109	.05881	.05659
58	.07900	.07619	.07346	.07080	.06823	.06573	.06331	.06096	.05868	.05646
59	.07883	.07602	.07330	.07065	.06808	.06559	.06317	.06082	.05854	.05634
60	.07866	.07586	.07314	.07050	.06793	.06544	.06303	.06069	.05841	.05621
61	.07849	.07569	.07298	.07034	.06778	.06530	.06289	.06055	.05828	.05608
62	.07832	.07553	.07282	.07019	.06763	.06515	.06275	.06042	.05815	.05596
63	.07815	.07537	.07266	.07003	.06749	.06501	.06261	.06028	.05802	.05583
64	.07798	.07520	.07250	.06988	.06734	.06487	.06247	.06015	.05789	.05571
65	.07781	.07504	.07234	.06973	.06719	.06472	.06233	.06001	.05776	.05558
66	.07764	.07487	.07218	.06957	.06704	.06458	.06219	.05988	.05763	.05545
67	.07747	.07471	.07203	.06942	.06689	.06443	.06205	.05974	.05750	.05532
68	.07730	.07455	.07187	.06927	.06674	.06429	.06191	.05960	.05737	.05520
69	.07713	.07438	.07171	.06911	.06659	.06415	.06177	.05947	.05724	.05507

ANEXO H

TABLA: DENSIDAD DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A VARIAS ALTITUDES⁽⁹⁾(lb mezcla / ft³ mezcla; altitud en ft)

Temp °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
70	.07697	.07422	.07155	.06896	.06644	.06400	.06163	.05933	.05710	.05494
71	.07680	.07405	.07139	.06880	.06629	.06388	.06149	.05920	.05697	.05481
72	.07663	.07388	.07122	.06863	.06611	.06371	.06132	.05906	.05684	.05469
73	.07646	.07371	.07105	.06846	.06595	.06356	.06117	.05892	.05670	.05455
74	.07629	.07354	.07088	.06829	.06578	.06339	.06100	.05875	.05653	.05438
75	.07612	.07337	.07071	.06812	.06561	.06322	.06083	.05858	.05636	.05421
76	.07595	.07320	.07054	.06795	.06544	.06305	.06066	.05841	.05619	.05404
77	.07578	.07303	.07037	.06778	.06527	.06288	.06049	.05824	.05602	.05387
78	.07561	.07286	.07020	.06761	.06510	.06271	.06032	.05807	.05585	.05370
79	.07544	.07269	.07003	.06744	.06493	.06254	.06015	.05790	.05568	.05353
80	.07528	.07253	.06987	.06728	.06477	.06238	.06000	.05775	.05553	.05338
81	.07511	.07236	.06970	.06711	.06460	.06221	.05982	.05757	.05535	.05320
82	.07494	.07219	.06978	.06719	.06468	.06229	.05990	.05765	.05543	.05328
83	.07477	.07202	.06966	.06707	.06456	.06217	.05978	.05753	.05531	.05316
84	.07460	.07185	.06930	.06671	.06420	.06181	.05942	.05717	.05495	.05280
85	.07443	.07168	.06917	.06658	.06407	.06168	.05929	.05704	.05482	.05267
86	.07426	.07151	.06900	.06641	.06390	.06151	.05912	.05687	.05465	.05250
87	.07409	.07134	.06883	.06624	.06373	.06134	.05895	.05670	.05448	.05233
88	.07392	.07117	.06861	.06602	.06351	.06112	.05873	.05648	.05426	.05211
89	.07375	.07100	.06848	.06589	.06338	.06100	.05861	.05636	.05414	.05200
90	.07358	.07083	.06832	.06573	.06322	.06083	.05844	.05619	.05397	.05182
91	.07341	.07066	.06815	.06556	.06305	.06066	.05827	.05602	.05380	.05165
92	.07324	.07049	.06798	.06539	.06288	.06049	.05810	.05585	.05363	.05148
93	.07307	.07032	.06781	.06522	.06271	.06032	.05793	.05568	.05346	.05131
94	.07290	.07015	.06764	.06505	.06254	.06015	.05776	.05551	.05329	.05114
95	.07273	.06998	.06747	.06488	.06237	.06000	.05761	.05536	.05314	.05100
96	.07256	.06981	.06730	.06471	.06220	.05983	.05744	.05519	.05297	.05082
97	.07239	.06964	.06713	.06454	.06203	.05966	.05727	.05502	.05280	.05065
98	.07222	.06947	.06696	.06437	.06186	.05949	.05710	.05485	.05263	.05048
99	.07205	.06930	.06679	.06420	.06169	.05932	.05693	.05468	.05246	.05031
100	.07188	.06913	.06662	.06403	.06152	.05915	.05676	.05451	.05229	.05014
101	.07171	.06896	.06645	.06386	.06135	.05898	.05659	.05434	.05212	.04997
102	.07154	.06879	.06628	.06369	.06118	.05881	.05642	.05417	.05195	.04980
103	.07137	.06862	.06611	.06352	.06101	.05864	.05625	.05400	.05178	.04963
104	.07120	.06845	.06594	.06335	.06084	.05847	.05608	.05383	.05161	.04946
105	.07103	.06828	.06577	.06318	.06067	.05830	.05591	.05366	.05144	.04929
106	.07086	.06811	.06560	.06301	.06050	.05813	.05574	.05349	.05127	.04912
107	.07069	.06794	.06543	.06284	.06033	.05796	.05557	.05332	.05110	.04895
108	.07052	.06777	.06526	.06267	.06016	.05779	.05540	.05315	.05093	.04878
109	.07035	.06760	.06509	.06250	.06000	.05763	.05524	.05300	.05078	.04863
110	.06993	.06732	.06481	.06222	.05971	.05734	.05495	.05270	.05048	.04833
111	.06976	.06715	.06464	.06205	.05954	.05717	.05478	.05253	.05031	.04816
112	.06959	.06700	.06449	.06190	.05939	.05702	.05463	.05238	.05016	.04801
113	.06942	.06681	.06430	.06171	.05920	.05683	.05444	.05219	.04997	.04782
114	.06925	.06664	.06413	.06154	.05903	.05666	.05427	.05202	.04980	.04765
115	.06897	.06646	.06395	.06136	.05885	.05648	.05409	.05184	.04962	.04747
116	.06880	.06629	.06378	.06119	.05868	.05631	.05392	.05167	.04945	.04730
117	.06863	.06612	.06361	.06102	.05851	.05614	.05375	.05150	.04928	.04713
118	.06846	.06595	.06344	.06085	.05834	.05597	.05358	.05133	.04911	.04696
119	.06829	.06578	.06327	.06068	.05817	.05580	.05341	.05116	.04894	.04679
120	.06799	.06548	.06297	.06038	.05787	.05550	.05311	.05086	.04864	.04649
121	.06782	.06531	.06280	.06021	.05770	.05533	.05294	.05069	.04847	.04632
122	.06765	.06514	.06263	.06004	.05753	.05516	.05277	.05052	.04830	.04615
123	.06748	.06497	.06246	.05987	.05736	.05499	.05260	.05035	.04813	.04598
124	.06731	.06480	.06229	.05970	.05719	.05482	.05243	.05018	.04796	.04581
125	.06696	.06445	.06194	.05935	.05684	.05447	.05208	.04983	.04761	.04546
126	.06679	.06428	.06177	.05918	.05667	.05430	.05191	.04966	.04744	.04529
127	.06662	.06411	.06160	.05901	.05650	.05413	.05174	.04949	.04727	.04512
128	.06645	.06394	.06143	.05884	.05633	.05396	.05157	.04932	.04710	.04495
129	.06628	.06377	.06126	.05867	.05616	.05379	.05140	.04915	.04693	.04478
130	.06593	.06342	.06091	.05832	.05581	.05344	.05105	.04880	.04658	.04443
131	.06576	.06325	.06074	.05815	.05564	.05327	.05088	.04863	.04641	.04426
132	.06559	.06308	.06057	.05798	.05547	.05310	.05071	.04846	.04624	.04409
133	.06542	.06291	.06040	.05781	.05530	.05293	.05054	.04829	.04607	.04392
134	.06525	.06274	.06023	.05764	.05513	.05276	.05037	.04812	.04590	.04375
135	.06484	.06233	.05982	.05723	.05472	.05235	.04996	.04771	.04549	.04334
136	.06467	.06216	.05965	.05706	.05455	.05218	.04979	.04754	.04532	.04317
137	.06450	.06199	.05948	.05689	.05438	.05201	.04962	.04737	.04515	.04300
138	.06433	.06182	.05931	.05672	.05421	.05184	.04945	.04720	.04498	.04283
139	.06416	.06165	.05914	.05655	.05404	.05167	.04928	.04703	.04481	.04266

ANEXO H

TABLA: DENSIDAD DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A VARIAS ALTITUDES⁽⁹⁾

(lb mezcla / ft³ mezcla; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
140	.06371	.06128	.05903	.05684	.05462	.05226	.05017	.04814	.04617	.04426
141	.06346	.06105	.05879	.05660	.05438	.05202	.04993	.04790	.04593	.04402
142	.06324	.06082	.05856	.05637	.05415	.05179	.04970	.04773	.04576	.04386
143	.06301	.06059	.05833	.05614	.05392	.05156	.04947	.04750	.04553	.04363
144	.06277	.06036	.05810	.05591	.05369	.05133	.04924	.04727	.04530	.04340
145	.06253	.06012	.05786	.05567	.05345	.05109	.04900	.04703	.04506	.04316
146	.06229	.05988	.05762	.05543	.05321	.05085	.04876	.04679	.04482	.04292
147	.06204	.05964	.05738	.05519	.05297	.05061	.04852	.04655	.04458	.04268
148	.06179	.05940	.05714	.05495	.05273	.05037	.04828	.04631	.04434	.04244
149	.06155	.05915	.05689	.05470	.05248	.05012	.04803	.04606	.04409	.04219
150	.06129	.05891	.05665	.05446	.05224	.04988	.04779	.04582	.04385	.04195
151	.06104	.05866	.05640	.05421	.05199	.04963	.04754	.04557	.04360	.04170
152	.06079	.05841	.05615	.05396	.05174	.04938	.04729	.04532	.04335	.04145
153	.06053	.05815	.05589	.05370	.05148	.04912	.04703	.04506	.04309	.04119
154	.06027	.05790	.05564	.05345	.05123	.04887	.04678	.04481	.04284	.04094
155	.06000	.05764	.05538	.05319	.05097	.04861	.04652	.04455	.04258	.04068
156	.05974	.05737	.05511	.05292	.05070	.04834	.04625	.04428	.04231	.04041
157	.05947	.05711	.05485	.05266	.05044	.04808	.04600	.04403	.04206	.04016
158	.05920	.05684	.05458	.05239	.05017	.04781	.04572	.04375	.04178	.03988
159	.05893	.05657	.05431	.05212	.04990	.04754	.04545	.04348	.04151	.03961
160	.05865	.05630	.05404	.05185	.04963	.04727	.04518	.04321	.04124	.03934
161	.05837	.05602	.05376	.05157	.04935	.04700	.04491	.04294	.04097	.03907
162	.05810	.05575	.05349	.05130	.04908	.04672	.04463	.04266	.04069	.03879
163	.05783	.05548	.05322	.05103	.04881	.04645	.04436	.04239	.04042	.03852
164	.05756	.05521	.05295	.05076	.04854	.04618	.04409	.04212	.04015	.03825
165	.05729	.05494	.05268	.05049	.04827	.04591	.04382	.04185	.03988	.03798
166	.05702	.05467	.05241	.05022	.04800	.04564	.04355	.04158	.03961	.03771
167	.05675	.05440	.05214	.04995	.04773	.04537	.04328	.04131	.03934	.03744
168	.05648	.05413	.05187	.04968	.04746	.04510	.04301	.04104	.03907	.03717
169	.05621	.05386	.05160	.04941	.04719	.04483	.04274	.04077	.03880	.03690
170	.05594	.05359	.05133	.04914	.04692	.04456	.04247	.04050	.03853	.03663
171	.05567	.05332	.05106	.04887	.04665	.04429	.04220	.04023	.03826	.03636
172	.05540	.05305	.05079	.04860	.04638	.04402	.04193	.03996	.03799	.03609
173	.05513	.05278	.05052	.04833	.04611	.04375	.04166	.03969	.03772	.03582
174	.05486	.05251	.05025	.04806	.04584	.04348	.04139	.03942	.03745	.03555
175	.05459	.05224	.04998	.04779	.04557	.04321	.04112	.03915	.03718	.03528
176	.05432	.05197	.04971	.04752	.04530	.04294	.04085	.03888	.03691	.03501
177	.05405	.05170	.04944	.04725	.04503	.04267	.04058	.03861	.03664	.03474
178	.05378	.05143	.04917	.04698	.04476	.04240	.04031	.03834	.03637	.03447
179	.05351	.05116	.04890	.04671	.04449	.04213	.04004	.03807	.03610	.03420
180	.05324	.05089	.04863	.04644	.04422	.04186	.03977	.03780	.03583	.03393
181	.05297	.05062	.04836	.04617	.04395	.04159	.03950	.03753	.03556	.03366
182	.05270	.05035	.04809	.04590	.04368	.04132	.03923	.03726	.03529	.03339
183	.05243	.05008	.04782	.04563	.04341	.04105	.03896	.03699	.03502	.03312
184	.05216	.04981	.04755	.04536	.04314	.04078	.03869	.03672	.03475	.03285
185	.05189	.04954	.04728	.04509	.04287	.04051	.03842	.03645	.03448	.03258
186	.05162	.04927	.04701	.04482	.04260	.04024	.03815	.03618	.03421	.03231
187	.05135	.04900	.04674	.04455	.04233	.03997	.03788	.03591	.03394	.03204
188	.05108	.04873	.04647	.04428	.04206	.03970	.03761	.03564	.03367	.03177
189	.05081	.04846	.04620	.04401	.04179	.03943	.03734	.03537	.03340	.03150
190	.05054	.04819	.04593	.04374	.04152	.03916	.03707	.03510	.03313	.03123
191	.05027	.04792	.04566	.04347	.04125	.03889	.03680	.03483	.03286	.03096
192	.05000	.04765	.04539	.04320	.04098	.03862	.03653	.03456	.03259	.03069
193	.04973	.04738	.04512	.04293	.04071	.03835	.03626	.03429	.03232	.03042
194	.04946	.04711	.04485	.04266	.04044	.03808	.03599	.03402	.03205	.03015
195	.04919	.04684	.04458	.04239	.04017	.03781	.03572	.03375	.03178	.02988
196	.04892	.04657	.04431	.04212	.03990	.03754	.03545	.03348	.03151	.02961
197	.04865	.04630	.04404	.04185	.03963	.03727	.03518	.03321	.03124	.02934
198	.04838	.04603	.04377	.04158	.03936	.03700	.03491	.03294	.03097	.02907
199	.04811	.04576	.04350	.04131	.03909	.03673	.03464	.03267	.03070	.02880
200	.04784	.04549	.04323	.04104	.03882	.03646	.03437	.03240	.03043	.02853

ANEXO I

TABLA: VOLUMEN ESPECÍFICO DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A 29.921 in Hg⁽⁹⁾
(ft³ mezcla / lb aire seco)

°F	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
60	13.329	13.332	13.336	13.339	13.343	13.346	13.349	13.353	13.356	13.360
61	13.363	13.367	13.370	13.374	13.377	13.381	13.384	13.388	13.391	13.395
62	13.398	13.402	13.405	13.409	13.412	13.416	13.419	13.423	13.426	13.430
63	13.433	13.437	13.440	13.444	13.447	13.451	13.454	13.458	13.461	13.465
64	13.468	13.472	13.475	13.479	13.482	13.486	13.490	13.493	13.497	13.500
65	13.504	13.508	13.511	13.515	13.518	13.522	13.525	13.529	13.532	13.536
66	13.539	13.543	13.546	13.550	13.554	13.558	13.561	13.565	13.569	13.572
67	13.576	13.580	13.583	13.587	13.591	13.595	13.598	13.602	13.606	13.609
68	13.613	13.617	13.620	13.624	13.628	13.632	13.635	13.639	13.643	13.646
69	13.650	13.654	13.657	13.661	13.665	13.669	13.672	13.676	13.680	13.683
70	13.687	13.691	13.694	13.698	13.702	13.706	13.709	13.713	13.717	13.720
71	13.724	13.728	13.732	13.735	13.739	13.743	13.747	13.751	13.754	13.758
72	13.762	13.766	13.770	13.774	13.778	13.782	13.785	13.789	13.793	13.797
73	13.801	13.805	13.809	13.813	13.817	13.821	13.825	13.829	13.833	13.837
74	13.841	13.845	13.849	13.853	13.857	13.861	13.865	13.869	13.873	13.877
75	13.881	13.885	13.889	13.893	13.897	13.901	13.905	13.909	13.913	13.917
76	13.921	13.925	13.929	13.933	13.937	13.942	13.946	13.950	13.954	13.958
77	13.962	13.966	13.970	13.974	13.978	13.983	13.987	13.991	13.995	13.999
78	14.003	14.007	14.011	14.016	14.020	14.024	14.028	14.032	14.037	14.041
79	14.045	14.049	14.053	14.058	14.062	14.066	14.070	14.074	14.079	14.083
80	14.087	14.091	14.096	14.100	14.104	14.109	14.113	14.117	14.121	14.126
81	14.130	14.135	14.139	14.143	14.148	14.152	14.156	14.161	14.165	14.170
82	14.174	14.178	14.183	14.187	14.192	14.196	14.200	14.205	14.209	14.214
83	14.218	14.222	14.227	14.231	14.236	14.240	14.245	14.249	14.254	14.258
84	14.263	14.267	14.272	14.276	14.281	14.285	14.290	14.294	14.299	14.303
85	14.308	14.313	14.317	14.322	14.326	14.331	14.338	14.340	14.345	14.349
86	14.354	14.359	14.363	14.368	14.373	14.377	14.382	14.387	14.391	14.396
87	14.401	14.405	14.410	14.415	14.420	14.424	14.429	14.434	14.439	14.443
88	14.448	14.453	14.458	14.462	14.467	14.472	14.477	14.482	14.486	14.491
89	14.496	14.501	14.506	14.511	14.516	14.521	14.526	14.530	14.535	14.540
90	14.545	14.550	14.555	14.560	14.565	14.570	14.575	14.580	14.585	14.590
91	14.595	14.600	14.605	14.610	14.615	14.620	14.625	14.630	14.635	14.640
92	14.645	14.650	14.656	14.661	14.666	14.671	14.676	14.681	14.686	14.692
93	14.697	14.702	14.707	14.712	14.718	14.723	14.728	14.733	14.738	14.744
94	14.749	14.754	14.760	14.765	14.770	14.776	14.781	14.786	14.791	14.797
95	14.802	14.808	14.813	14.818	14.824	14.829	14.835	14.840	14.845	14.851
96	14.856	14.862	14.867	14.873	14.878	14.884	14.889	14.895	14.900	14.906
97	14.911	14.917	14.922	14.928	14.933	14.939	14.944	14.950	14.956	14.961
98	14.967	14.972	14.978	14.984	14.989	14.995	15.001	15.007	15.012	15.018
99	15.024	15.029	15.035	15.041	15.047	15.052	15.058	15.064	15.070	15.076
100	15.081	15.087	15.093	15.099	15.105	15.111	15.117	15.123	15.128	15.134
101	15.140	15.146	15.152	15.158	15.164	15.170	15.176	15.182	15.188	15.194
102	15.200	15.206	15.212	15.218	15.224	15.231	15.237	15.243	15.249	15.255
103	15.261	15.267	15.273	15.280	15.286	15.292	15.298	15.304	15.311	15.317
104	15.323	15.330	15.336	15.342	15.348	15.355	15.361	15.368	15.374	15.380
105	15.387	15.393	15.400	15.406	15.413	15.419	15.426	15.432	15.439	15.445
106	15.452	15.458	15.465	15.471	15.478	15.485	15.491	15.498	15.504	15.511
107	15.518	15.524	15.531	15.538	15.544	15.551	15.558	15.565	15.572	15.578
108	15.585	15.592	15.599	15.606	15.613	15.620	15.626	15.633	15.640	15.647
109	15.654	15.661	15.668	15.675	15.682	15.689	15.696	15.703	15.710	15.717
110	15.724	15.731	15.739	15.746	15.753	15.760	15.767	15.775	15.782	15.789
111	15.796	15.803	15.811	15.818	15.825	15.833	15.840	15.847	15.855	15.862
112	15.869	15.877	15.884	15.892	15.899	15.907	15.914	15.922	15.929	15.937
113	15.944	15.952	15.959	15.967	15.974	15.982	15.990	15.997	16.005	16.013
114	16.020	16.028	16.036	16.044	16.051	16.059	16.067	16.075	16.083	16.090
115	16.098	16.106	16.114	16.122	16.130	16.138	16.146	16.154	16.162	16.170
116	16.178	16.186	16.194	16.202	16.210	16.218	16.227	16.235	16.243	16.251
117	16.259	16.268	16.276	16.284	16.293	16.301	16.309	16.318	16.326	16.334
118	16.343	16.351	16.360	16.368	16.377	16.385	16.394	16.402	16.411	16.420
119	16.428	16.437	16.446	16.454	16.463	16.472	16.480	16.489	16.498	16.507
120	16.515	16.524	16.533	16.542	16.551	16.560	16.569	16.578	16.587	16.596
121	16.605	16.614	16.623	16.632	16.641	16.650	16.659	16.669	16.678	16.687
122	16.696	16.705	16.715	16.724	16.734	16.743	16.752	16.762	16.771	16.781
123	16.790	16.800	16.809	16.819	16.828	16.838	16.848	16.857	16.867	16.876
124	16.886	16.896	16.906	16.916	16.926	16.936	16.945	16.955	16.965	16.975
°F	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9

ANEXO J

TABLA: VOLUMEN ESPECÍFICO DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A

VARIAS ALTITUDES⁽⁹⁾(ft³ mezcla / lb aire seco; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
0	11.183	11.693	12.023	12.471	12.939	13.428	13.939	14.474	15.033	15.618
1	11.208	11.698	12.023	12.479	12.968	13.481	14.017	14.580	15.167	15.784
2	11.233	11.646	12.077	12.527	12.997	13.489	13.971	14.507	15.087	15.694
3	11.258	11.672	12.104	12.555	13.027	13.519	14.002	14.540	15.122	15.739
4	11.283	11.698	12.131	12.584	13.056	13.550	14.066	14.606	15.170	15.761
5	11.309	11.725	12.159	12.612	13.085	13.580	14.098	14.639	15.205	15.797
6	11.335	11.751	12.186	12.640	13.115	13.611	14.130	14.672	15.239	15.833
7	11.360	11.777	12.213	12.669	13.145	13.642	14.162	14.705	15.274	15.869
8	11.385	11.804	12.241	12.697	13.174	13.673	14.194	14.739	15.308	15.905
9	11.411	11.830	12.268	12.726	13.204	13.704	14.226	14.772	15.343	15.941
10	11.436	11.857	12.296	12.755	13.234	13.735	14.258	14.805	15.378	15.977
11	11.462	11.883	12.324	12.783	13.264	13.766	14.290	14.839	15.413	16.014
12	11.488	11.910	12.351	12.812	13.294	13.797	14.323	14.873	15.448	16.051
13	11.513	11.937	12.379	12.841	13.324	13.829	14.355	14.907	15.484	16.087
14	11.539	11.964	12.407	12.870	13.354	13.859	14.388	14.941	15.519	16.124
15	11.565	11.991	12.435	12.899	13.384	13.891	14.421	14.975	15.554	16.161
16	11.591	12.018	12.463	12.928	13.414	13.922	14.453	15.009	15.590	16.198
17	11.617	12.045	12.491	12.958	13.445	13.954	14.486	15.043	15.626	16.235
18	11.643	12.072	12.519	12.987	13.475	13.985	14.519	15.078	15.662	16.273
19	11.669	12.099	12.548	13.016	13.506	14.018	14.553	15.112	15.698	16.310
20	11.696	12.126	12.576	13.046	13.537	14.050	14.586	15.147	15.734	16.348
21	11.722	12.154	12.605	13.076	13.568	14.082	14.620	15.182	15.770	16.386
22	11.749	12.181	12.633	13.105	13.599	14.114	14.653	15.217	15.807	16.424
23	11.775	12.209	12.662	13.135	13.630	14.147	14.687	15.252	15.843	16.462
24	11.802	12.237	12.691	13.165	13.661	14.179	14.721	15.288	15.880	16.501
25	11.829	12.265	12.720	13.195	13.692	14.212	14.755	15.323	15.917	16.540
26	11.856	12.293	12.749	13.226	13.724	14.245	14.789	15.359	15.953	16.579
27	11.883	12.321	12.778	13.256	13.756	14.278	14.824	15.395	15.992	16.618
28	11.910	12.349	12.808	13.287	13.788	14.311	14.858	15.431	16.030	16.657
29	11.937	12.377	12.837	13.318	13.820	14.344	14.893	15.467	16.068	16.697
30	11.964	12.406	12.867	13.349	13.852	14.378	14.928	15.504	16.106	16.737
31	11.992	12.435	12.897	13.380	13.884	14.412	14.964	15.540	16.146	16.777
32	12.020	12.463	12.927	13.411	13.917	14.446	14.999	15.578	16.183	16.817
33	12.047	12.492	12.957	13.442	13.949	14.480	15.034	15.614	16.222	16.857
34	12.075	12.521	12.986	13.473	13.982	14.513	15.069	15.651	16.260	16.897
35	12.102	12.549	13.016	13.504	14.014	14.547	15.105	15.688	16.299	16.938
36	12.130	12.578	13.047	13.536	14.047	14.582	15.141	15.726	16.338	16.979
37	12.158	12.607	13.077	13.567	14.080	14.616	15.177	15.763	16.377	17.020
38	12.186	12.637	13.107	13.599	14.113	14.651	15.213	15.801	16.416	17.061
39	12.214	12.666	13.138	13.631	14.146	14.685	15.249	15.839	16.456	17.102
40	12.243	12.696	13.169	13.663	14.180	14.720	15.285	15.877	16.496	17.144
41	12.271	12.725	13.200	13.695	14.214	14.755	15.322	15.915	16.536	17.186
42	12.300	12.755	13.231	13.728	14.248	14.791	15.359	15.954	16.577	17.228
43	12.329	12.785	13.262	13.761	14.282	14.827	15.397	15.993	16.617	17.271
44	12.358	12.815	13.294	13.794	14.316	14.862	15.434	16.032	16.658	17.314
45	12.387	12.846	13.325	13.827	14.351	14.899	15.472	16.072	16.700	17.357
46	12.416	12.876	13.357	13.860	14.386	14.935	15.510	16.112	16.741	17.401
47	12.445	12.907	13.390	13.894	14.421	14.972	15.548	16.152	16.784	17.445
48	12.475	12.938	13.422	13.927	14.456	15.009	15.587	16.192	16.826	17.490
49	12.505	12.969	13.454	13.961	14.491	15.046	15.626	16.233	16.869	17.535
50	12.535	13.001	13.487	13.996	14.527	15.083	15.665	16.274	16.912	17.580
51	12.566	13.033	13.520	14.030	14.563	15.121	15.705	16.318	16.955	17.625
52	12.596	13.064	13.554	14.065	14.600	15.159	15.745	16.358	16.999	17.671
53	12.627	13.097	13.587	14.100	14.637	15.196	15.785	16.400	17.044	17.718
54	12.658	13.129	13.621	14.136	14.674	15.237	15.826	16.442	17.088	17.765
55	12.689	13.161	13.655	14.171	14.711	15.276	15.867	16.485	17.133	17.812
56	12.721	13.194	13.690	14.207	14.749	15.315	15.908	16.529	17.179	17.860
57	12.752	13.227	13.724	14.244	14.787	15.354	15.950	16.573	17.225	17.909
58	12.784	13.261	13.759	14.280	14.825	15.395	15.992	16.617	17.272	17.958
59	12.816	13.295	13.794	14.317	14.864	15.436	16.035	16.662	17.319	18.007
60	12.849	13.329	13.830	14.354	14.903	15.477	16.078	16.707	17.366	18.057
61	12.882	13.363	13.866	14.392	14.942	15.518	16.121	16.753	17.414	18.106
62	12.915	13.398	13.902	14.430	14.980	15.560	16.165	16.799	17.463	18.155
63	12.948	13.432	13.939	14.469	15.023	15.603	16.210	16.846	17.512	18.204
64	12.982	13.466	13.976	14.507	15.063	15.645	16.255	16.893	17.562	18.263
65	13.016	13.503	14.013	14.547	15.104	15.689	16.300	16.941	17.612	18.316
66	13.050	13.539	14.051	14.586	15.146	15.732	16.348	16.989	17.663	18.370
67	13.085	13.576	14.089	14.628	15.188	15.776	16.393	17.038	17.715	18.424
68	13.120	13.613	14.128	14.671	15.231	15.821	16.440	17.088	17.767	18.479
69	13.155	13.650	14.167	14.708	15.274	15.864	16.487	17.138	17.820	18.536

ANEXO J

TABLA: VOLUMEN ESPECIFICO DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A

VARIAS ALTITUDES⁽⁹⁾

(ft³ mezcla / lb aire seco; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	-7000	8000
70	13.191	13.827	14.206	14.749	15.317	15.912	16.536	17.189	17.874	18.592
71	13.197	13.782	14.158	14.699	15.266	15.860	16.483	17.136	17.821	18.539
72	13.204	13.764	14.238	14.833	15.406	16.006	16.634	17.292	17.983	18.707
73	13.201	13.802	14.327	14.876	15.451	16.053	16.684	17.343	18.039	18.766
74	13.208	13.842	14.368	14.920	15.497	16.101	16.733	17.399	18.096	18.826
75	13.276	13.881	14.410	14.964	15.543	16.150	16.787	17.453	18.153	18.887
76	13.411	13.922	14.453	15.008	15.596	16.200	16.837	17.503	18.211	18.944
77	13.453	13.962	14.496	15.054	15.638	16.250	16.892	17.563	18.271	19.012
78	13.492	14.004	14.539	15.099	15.698	16.301	16.948	17.622	18.331	19.075
79	13.532	14.046	14.583	15.146	15.755	16.353	17.000	17.679	18.392	19.140
80	13.572	14.088	14.628	15.193	15.785	16.405	17.056	17.738	18.454	19.206
81	13.613	14.131	14.673	15.240	15.835	16.452	17.112	17.797	18.517	19.272
82	13.654	14.174	14.719	15.289	15.886	16.512	17.169	17.858	18.581	19.340
83	13.696	14.219	14.765	15.338	15.936	16.567	17.227	17.919	18.646	19.409
84	13.739	14.263	14.813	15.388	15.991	16.623	17.286	17.982	18.712	19.480
85	13.782	14.309	14.860	15.438	16.044	16.679	17.346	18.045	18.780	19.551
86	13.825	14.355	14.909	15.490	16.099	16.737	17.407	18.110	18.848	19.624
87	13.870	14.401	14.958	15.542	16.154	16.796	17.469	18.175	18.918	19.698
88	13.915	14.449	15.009	15.595	16.210	16.858	17.532	18.242	18.989	19.774
89	13.960	14.497	15.059	15.649	16.267	16.915	17.596	18.310	19.061	19.851
90	14.007	14.546	15.111	15.704	16.325	16.977	17.661	18.380	19.135	19.929
91	14.054	14.596	15.164	15.759	16.384	17.039	17.725	18.450	19.210	20.009
92	14.101	14.646	15.217	15.816	16.444	17.103	17.795	18.522	19.286	20.090
93	14.150	14.698	15.271	15.873	16.503	17.168	17.864	18.596	19.364	20.173
94	14.199	14.750	15.327	15.932	16.567	17.233	17.934	18.670	19.443	20.258
95	14.249	14.803	15.383	15.991	16.630	17.303	18.005	18.746	19.524	20.344
96	14.300	14.857	15.440	16.052	16.694	17.369	18.078	18.823	19.607	20.432
97	14.352	14.912	15.498	16.114	16.760	17.439	18.152	18.902	19.692	20.522
98	14.405	14.967	15.558	16.177	16.827	17.510	18.226	18.983	19.777	20.614
99	14.459	15.024	15.618	16.241	16.895	17.582	18.305	19.065	19.863	20.708
100	14.513	15.082	15.679	16.306	16.964	17.656	18.384	19.149	19.955	20.804
101	14.569	15.141	15.742	16.373	17.033	17.732	18.464	19.235	20.047	20.902
102	14.625	15.201	15.806	16.440	17.107	17.808	18.546	19.322	20.140	21.002
103	14.683	15.262	15.871	16.510	17.181	17.887	18.630	19.412	20.236	21.105
104	14.741	15.325	15.937	16.580	17.256	17.967	18.715	19.503	20.334	21.209
105	14.801	15.388	16.004	16.652	17.333	18.049	18.803	19.597	20.434	21.317
106	14.862	15.453	16.073	16.725	17.411	18.132	18.892	19.692	20.536	21.426
107	14.924	15.519	16.144	16.800	17.491	18.218	18.983	19.790	20.641	21.539
108	14.988	15.586	16.215	16.877	17.573	18.305	19.077	19.890	20.748	21.654
109	15.052	15.655	16.289	16.955	17.656	18.394	19.172	19.992	20.858	21.772
110	15.118	15.725	16.364	17.035	17.741	18.486	19.270	20.097	20.970	21.892
111	15.185	15.797	16.440	17.116	17.829	18.579	19.370	20.204	21.085	22.016
112	15.254	15.870	16.518	17.200	17.918	18.674	19.472	20.314	21.203	22.143
113	15.324	15.945	16.598	17.285	18.009	18.772	19.577	20.427	21.324	22.273
114	15.396	16.021	16.679	17.372	18.102	18.872	19.684	20.542	21.448	22.407
115	15.469	16.099	16.763	17.462	18.196	18.973	19.794	20.660	21.575	22.544
116	15.543	16.179	16.848	17.553	18.296	19.079	19.907	20.781	21.706	22.683
117	15.620	16.261	16.935	17.646	18.398	19.187	20.022	20.906	21.840	22.829
118	15.699	16.344	17.025	17.742	18.498	19.297	20.141	21.033	21.978	22.978
119	15.778	16.429	17.116	17.840	18.604	19.410	20.262	21.164	22.119	23.131
120	15.859	16.517	17.210	17.940	18.711	19.528	20.387	21.299	22.264	23.288
121	15.943	16.606	17.305	18.043	18.822	19.645	20.515	21.437	22.413	23.449
122	16.028	16.698	17.404	18.148	18.935	19.767	20.647	21.579	22.566	23.615
123	16.116	16.791	17.504	18.256	19.051	19.892	20.782	21.724	22.724	23.786
124	16.206	16.888	17.607	18.367	19.171	20.020	20.920	21.874	22.887	23.962
125	16.297	16.986	17.713	18.481	19.293	20.153	21.063	22.029	23.054	24.143
126	16.391	17.087	17.821	18.598	19.419	20.288	21.210	22.187	23.205	24.330
127	16.486	17.190	17.933	18.718	19.546	20.426	21.360	22.351	23.403	24.522
128	16.586	17.297	18.047	18.841	19.676	20.571	21.516	22.519	23.565	24.720
129	16.686	17.406	18.164	18.967	19.817	20.719	21.675	22.692	23.737	24.925
130	16.792	17.517	18.285	19.097	19.958	20.870	21.840	22.870	23.967	25.136
131	16.896	17.632	18.408	19.230	20.102	21.027	22.009	23.054	24.167	25.354
132	17.008	17.750	18.536	19.368	20.250	21.168	22.184	23.244	24.374	25.580
133	17.120	17.869	18.666	19.509	20.403	21.353	22.364	23.454	24.519	25.813
134	17.236	17.996	18.801	19.654	20.561	21.524	22.549	23.642	24.808	26.053
135	17.354	18.124	18.939	19.804	20.723	21.700	22.741	23.850	25.035	26.307
136	17.476	18.255	19.081	19.958	20.890	21.882	22.939	24.066	25.271	26.560
137	17.602	18.391	19.228	20.117	21.063	22.069	23.143	24.289	25.514	26.827
138	17.731	18.530	19.379	20.281	21.246	22.253	23.354	24.519	25.764	27.103
139	17.863	18.674	19.534	20.449	21.434	22.463	23.572	24.757	26.027	27.390

ANEXO J

TABLA: VOLUMEN ESPECÍFICO DE LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A

VARIAS ALTITUDES⁽⁹⁾

(ft³ mezcla / lb aire seco; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
140	18.000	18.821	19.695	20.624	21.613	22.659	23.797	25.004	26.258	27.667
141	18.140	18.974	19.860	20.803	21.809	22.862	24.030	25.260	26.578	27.996
142	18.285	19.151	20.050	21.009	22.031	23.103	24.272	25.524	26.869	28.346
143	18.434	19.323	20.236	21.180	22.220	23.331	24.522	25.799	27.171	28.640
144	18.588	19.460	20.385	21.378	22.436	23.568	24.781	26.053	27.454	28.895
145	18.747	19.632	20.575	21.583	22.659	23.813	25.049	26.379	27.810	29.355
146	18.910	19.810	20.769	21.794	22.891	24.066	25.328	26.686	28.149	29.730
147	19.079	19.994	20.970	22.035	23.131	24.329	25.617	27.004	28.501	30.120
148	19.253	20.184	21.177	22.210	23.370	24.602	25.918	27.336	28.868	30.527
149	19.434	20.380	21.392	22.415	23.637	24.885	26.230	27.681	29.251	30.952
150	19.620	20.583	21.614	22.718	23.904	25.180	26.565	28.040	29.649	31.396
151	19.812	20.793	21.844	22.971	24.182	25.486	26.893	28.415	30.065	31.860
152	20.011	21.011	22.082	23.233	24.470	25.804	27.245	28.805	30.500	32.345
153	20.217	21.237	22.330	23.505	24.710	26.135	27.612	29.213	30.954	32.853
154	20.431	21.470	22.568	23.787	25.081	26.480	27.994	29.639	31.429	33.386
155	20.652	21.713	22.853	24.081	25.406	26.839	28.393	30.084	31.927	33.944
156	20.881	21.965	23.130	24.366	25.744	27.214	28.811	30.549	32.449	34.531
157	21.119	22.228	23.418	24.704	26.096	27.508	29.247	31.037	32.996	35.148
158	21.368	22.497	23.717	25.036	26.464	27.814	30.159	31.549	33.572	35.797
159	21.622	22.780	24.029	25.381	26.847	28.442	30.182	32.085	34.176	36.482
160	21.888	23.074	24.354	25.742	27.248	28.890	30.683	32.649	34.813	37.204
161	22.165	23.380	24.693	26.118	27.668	29.359	31.209	33.242	35.484	37.967
162	22.454	23.698	25.047	26.511	28.107	29.850	31.762	33.867	36.193	38.776
163	22.754	24.031	25.416	26.923	28.567	30.367	32.344	34.535	36.942	39.631
164	23.066	24.378	25.802	27.354	29.049	30.900	32.857	35.221	37.734	40.540
165	23.393	24.740	26.206	27.805	29.556	31.480	33.403	35.955	38.575	41.506
166	23.733	25.119	26.629	28.278	30.089	32.082	34.296	36.734	39.467	42.536
167	24.089	25.515	27.071	28.776	30.649	32.716	35.007	37.559	40.418	43.635
168	24.461	25.930	27.536	29.299	31.240	33.396	35.771	38.435	41.427	44.810
169	24.850	26.365	28.025	29.849	31.863	34.095	36.582	39.367	42.507	46.070
170	25.257	26.821	28.538	30.429	32.521	34.845	37.445	40.361	43.662	47.424
171	25.684	27.301	29.079	31.041	33.217	35.642	38.355	41.423	44.901	48.882
172	26.133	27.805	29.648	31.687	33.954	36.488	39.336	42.559	46.233	50.457
173	26.604	28.337	30.250	32.372	34.737	37.389	40.380	43.778	47.666	52.163
174	27.100	28.896	30.885	33.097	35.569	38.550	41.498	45.068	49.219	54.017
175	27.622	29.488	31.558	33.867	36.465	39.377	42.897	46.501	50.900	56.040
176	28.172	30.112	32.271	34.685	37.401	40.477	43.988	48.029	52.727	58.253
177	28.753	30.774	33.028	35.557	38.412	41.658	45.379	49.685	54.722	60.687
178	29.368	31.475	33.833	36.487	39.496	42.929	46.845	51.458	56.906	63.274
179	30.019	32.220	34.691	37.682	40.658	44.300	48.518	53.456	59.310	66.036
180	30.709	33.013	35.608	38.949	41.910	45.785	50.296	55.613	61.965	69.068
181	31.442	33.858	36.586	39.696	43.262	47.396	52.239	57.847	64.816	72.429
182	32.228	34.760	37.639	40.930	44.726	49.151	54.370	60.114	68.211	77.850
183	33.065	35.728	38.769	42.283	46.316	51.069	56.717	63.534	71.317	82.469
184	33.944	36.762	39.965	43.766	48.049	53.178	59.315	66.799	75.113	88.612
185	34.896	37.876	41.302	45.378	49.945	55.497	62.208	70.475	80.302	94.453
186	35.917	39.077	42.792	46.890	51.928	58.070	65.446	74.562	86.421	102.034
187	37.016	40.375	44.478	48.864	54.325	60.936	69.083	79.406	92.847	111.080
188	38.202	41.784	46.370	50.924	56.874	64.147	73.235	84.304	100.424	122.056
189	39.484	43.316	47.824	53.199	59.715	67.770	77.377	91.319	109.490	135.666
190	40.875	44.969	49.863	55.723	62.902	71.889	83.459	96.901	120.530	152.989
191	42.390	46.824	52.117	58.547	66.653	76.813	89.869	107.997	134.265	176.705
192	44.045	48.843	54.621	61.709	70.602	82.083	97.462	119.110	151.816	206.905
193	45.861	51.077	57.419	65.289	75.310	86.493	106.997	132.992	175.026	252.371
194	47.862	53.561	60.564	69.372	80.774	96.104	117.797	150.824	207.154	324.770
195	50.077	56.339	64.127	74.068	87.189	105.289	131.848	174.566	254.354	458.082
196	52.548	59.457	68.196	79.429	94.826	116.591	148.296	207.734	331.658	708.914
197	55.304	63.015	72.884	85.954	104.071	130.833	174.331	257.323	478.053	1156.666
198	58.418	67.072	78.346	93.625	115.489	149.333	206.866	339.534	864.724	
199	61.950	71.756	84.788	102.941	129.946	174.332	280.748	502.275		
200	65.999	77.223	92.500	114.491	148.840	209.976	349.114	977.358		

ANEXO K

TABLA: VAPOR DE AGUA CONTENIDO EN LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA AL

NIVEL DEL MAR⁽⁹⁾

(lb vapor de agua / lb aire seco)

Temp. °F	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	.00787	.00791	.00795	.00800	.00804	.00808	.00812	.00817	.00821	.00825
1	.00829	.00834	.00838	.00843	.00847	.00851	.00855	.00860	.00865	.00869
2	.00874	.00878	.00883	.00888	.00892	.00897	.00901	.00906	.00911	.00916
3	.00920	.00925	.00930	.00935	.00940	.00945	.00949	.00954	.00959	.00964
4	.00969	.00974	.00979	.00984	.00989	.00994	.00100	.00105	.00110	.00115
5	.01020	.01028	.01031	.01036	.01041	.01047	.01052	.01058	.01063	.01068
6	.01074	.01079	.01085	.01091	.01096	.01102	.01107	.01113	.01119	.01124
7	.01130	.01136	.01142	.01148	.01153	.01159	.01165	.01171	.01177	.01183
8	.01189	.01195	.01201	.01207	.01213	.01220	.01226	.01232	.01238	.01244
9	.01251	.01257	.01263	.01270	.01276	.01283	.01289	.01296	.01302	.01309
10	.01315	.01322	.01329	.01335	.01342	.01349	.01356	.01362	.01369	.01376
11	.01383	.01390	.01397	.01404	.01411	.01418	.01425	.01432	.01439	.01447
12	.01454	.01461	.01468	.01476	.01483	.01491	.01498	.01505	.01513	.01520
13	.01528	.01536	.01545	.01552	.01559	.01566	.01574	.01582	.01590	.01598
14	.01606	.01614	.01622	.01630	.01638	.01646	.01654	.01662	.01670	.01678
15	.01687	.01695	.01704	.01712	.01720	.01729	.01737	.01746	.01754	.01763
16	.01772	.01780	.01789	.01798	.01807	.01816	.01825	.01834	.01843	.01852
17	.01861	.01870	.01879	.01888	.01897	.01907	.01916	.01925	.01935	.01944
18	.01954	.01963	.01973	.01982	.01992	.02001	.02011	.02021	.02031	.02041
19	.02051	.02061	.02071	.02081	.02091	.02101	.02111	.02121	.02131	.02141
20	.02212	.02213	.02213	.02214	.02214	.02215	.02215	.02226	.02237	.02248
21	.02259	.02269	.02280	.02291	.02302	.02313	.02324	.02336	.02347	.02358
22	.02389	.02391	.02392	.02394	.02395	.02397	.02398	.02400	.02402	.02404
23	.02426	.02427	.02429	.02431	.02433	.02435	.02437	.02439	.02441	.02443
24	.02467	.02469	.02471	.02474	.02476	.02478	.02480	.02482	.02484	.02486
25	.02723	.02746	.02759	.02772	.02785	.02798	.02812	.02825	.02838	.02852
26	.02865	.02879	.02892	.02906	.02920	.02933	.02947	.02961	.02975	.02989
27	.03003	.03017	.03031	.03045	.03060	.03074	.03089	.03103	.03118	.03132
28	.03147	.03162	.03177	.03191	.03206	.03221	.03236	.03251	.03267	.03282
29	.03297	.03313	.03328	.03344	.03359	.03375	.03391	.03406	.03422	.03438
30	.03454	.03470	.03486	.03503	.03519	.03535	.03552	.03568	.03585	.03601
31	.03618	.03635	.03651	.03668	.03685	.03702	.03719	.03737	.03754	.03771
32	.03788	.03806	.03823	.03841	.03858	.03876	.03894	.03912	.03930	.03948
33	.03965	.03983	.03997	.04015	.04033	.04052	.04070	.04088	.04107	.04125
34	.04148	.04164	.04181	.04197	.04214	.04231	.04248	.04265	.04282	.04299
35	.04276	.04293	.04310	.04328	.04345	.04362	.04380	.04397	.04415	.04433
36	.04450	.04468	.04486	.04504	.04522	.04540	.04558	.04576	.04595	.04613
37	.04631	.04650	.04668	.04687	.04705	.04724	.04743	.04762	.04781	.04800
38	.04819	.04838	.04857	.04876	.04895	.04915	.04934	.04954	.04973	.04993
39	.05013	.05033	.05052	.05072	.05092	.05112	.05133	.05153	.05173	.05194
40	.05214	.05234	.05255	.05276	.05296	.05317	.05338	.05359	.05380	.05401
41	.05422	.05443	.05465	.05486	.05508	.05529	.05551	.05572	.05594	.05616
42	.05638	.05660	.05682	.05704	.05726	.05749	.05771	.05793	.05816	.05839
43	.05861	.05884	.05907	.05929	.05953	.05976	.05999	.06022	.06046	.06069
44	.06092	.06116	.06140	.06163	.06187	.06211	.06235	.06259	.06283	.06308
45	.06332	.06356	.06381	.06405	.06430	.06455	.06479	.06504	.06529	.06554
46	.06580	.06605	.06630	.06655	.06681	.06707	.06732	.06758	.06784	.06810
47	.06836	.06862	.06888	.06914	.06941	.06967	.06994	.07021	.07047	.07074
48	.07101	.07128	.07155	.07182	.07210	.07237	.07265	.07292	.07320	.07348
49	.07375	.07403	.07431	.07460	.07488	.07516	.07545	.07573	.07602	.07630
50	.07659	.07688	.07717	.07746	.07776	.07805	.07834	.07864	.07893	.07923
51	.07953	.07983	.08013	.08043	.08073	.08103	.08134	.08164	.08195	.08226
52	.08256	.08287	.08318	.08350	.08381	.08412	.08444	.08475	.08507	.08539
53	.08570	.08602	.08634	.08667	.08699	.08731	.08764	.08796	.08829	.08862
54	.08895	.08928	.08961	.08994	.09027	.09061	.09095	.09129	.09163	.09196
55	.09221	.09265	.09299	.09333	.09368	.09403	.09437	.09472	.09507	.09542
56	.09577	.09613	.09648	.09684	.09719	.09755	.09791	.09827	.09863	.09899
57	.09936	.09972	.10009	.10046	.10083	.10120	.10157	.10194	.10231	.10269
58	.10306	.10344	.10382	.10420	.10458	.10496	.10534	.10573	.10612	.10650
59	.10689	.10728	.10767	.10806	.10845	.10885	.10925	.10965	.11004	.11044
60	.11085	.11125	.11165	.11206	.11246	.11287	.11328	.11369	.11410	.11452
61	.11493	.11535	.11577	.11618	.11660	.11703	.11745	.11787	.11830	.11872
62	.11915	.11958	.12001	.12045	.12088	.12131	.12175	.12219	.12263	.12307
63	.12351	.12396	.12440	.12485	.12530	.12574	.12620	.12665	.12710	.12756
64	.12801	.12847	.12893	.12939	.12984	.13030	.13076	.13122	.13168	.13214
65	.13266	.13314	.13361	.13409	.13457	.13504	.13553	.13601	.13649	.13698
66	.13746	.13795	.13844	.13893	.13943	.13993	.14043	.14093	.14143	.14192
67	.14242	.14292	.14343	.14394	.14445	.14496	.14547	.14599	.14650	.14702
68	.14754	.14806	.14858	.14910	.14963	.15016	.15069	.15122	.15175	.15228
69	.15282	.15336	.15390	.15444	.15498	.15552	.15607	.15662	.15717	.15772

ANEXO K

TABLA: VAPOR DE AGUA CONTENIDO EN LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA AL

NIVEL DEL MAR ⁽⁹⁾

(lb vapor de agua / lb aire seco)

Temp. °F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	.01827	.01843	.01859	.01874	.01890	.01906	.01923	.01940	.01957	.01974
71	.01839	.01855	.01871	.01887	.01903	.01920	.01937	.01954	.01971	.01988
72	.01851	.01867	.01883	.01899	.01915	.01932	.01949	.01966	.01983	.02000
73	.01863	.01879	.01895	.01911	.01927	.01944	.01961	.01978	.01995	.02012
74	.01875	.01891	.01907	.01923	.01939	.01956	.01973	.01990	.02007	.02024
75	.01888	.01904	.01920	.01936	.01952	.01969	.01986	.02003	.02020	.02037
76	.01901	.01917	.01933	.01949	.01966	.01983	.02000	.02017	.02034	.02051
77	.020183	.02033	.02048	.02063	.02078	.02093	.02108	.02123	.02138	.02153
78	.020864	.02093	.02107	.02121	.02135	.02150	.02164	.02179	.02193	.02208
79	.021565	.02166	.02179	.02192	.02205	.02218	.02231	.02244	.02257	.02270
80	.022332	.02247	.02261	.02275	.02289	.02303	.02317	.02331	.02345	.02359
81	.023190	.02337	.02354	.02371	.02388	.02405	.02422	.02439	.02456	.02473
82	.023893	.02397	.02414	.02431	.02448	.02465	.02482	.02499	.02516	.02533
83	.024710	.02479	.02497	.02514	.02531	.02548	.02565	.02582	.02599	.02616
84	.025533	.02563	.02575	.02587	.02600	.02612	.02625	.02637	.02650	.02663
85	.026422	.02651	.02661	.02671	.02681	.02691	.02701	.02711	.02721	.02731
86	.027318	.02741	.02751	.02761	.02771	.02781	.02791	.02801	.02811	.02821
87	.028242	.02833	.02843	.02853	.02863	.02873	.02883	.02893	.02903	.02913
88	.029195	.02929	.02939	.02948	.02958	.02968	.02978	.02988	.02998	.03007
89	.030177	.03027	.03037	.03047	.03057	.03067	.03077	.03087	.03097	.03107
90	.031182	.03129	.03139	.03149	.03159	.03169	.03179	.03189	.03199	.03209
91	.032233	.03233	.03243	.03253	.03263	.03273	.03283	.03293	.03303	.03313
92	.033039	.03313	.03323	.03333	.03343	.03353	.03363	.03373	.03383	.03393
93	.034118	.03421	.03431	.03441	.03451	.03461	.03471	.03481	.03491	.03501
94	.035561	.03567	.03578	.03589	.03600	.03611	.03622	.03633	.03644	.03655
95	.038739	.03885	.03897	.03909	.03921	.03933	.03945	.03957	.03969	.03981
96	.039731	.03985	.03997	.04009	.04021	.04033	.04045	.04057	.04069	.04081
97	.039205	.03933	.03946	.03958	.03971	.03984	.03997	.04010	.04023	.04035
98	.040436	.04056	.04070	.04083	.04096	.04109	.04122	.04135	.04148	.04161
99	.041826	.04195	.04209	.04223	.04236	.04250	.04263	.04276	.04289	.04302
100	.043196	.04333	.04347	.04361	.04375	.04389	.04403	.04417	.04431	.04446
101	.044699	.04483	.04497	.04511	.04525	.04539	.04553	.04567	.04581	.04595
102	.046066	.04621	.04636	.04651	.04666	.04681	.04696	.04711	.04726	.04741
103	.047567	.04771	.04787	.04802	.04817	.04833	.04848	.04864	.04880	.04895
104	.049114	.04927	.04943	.04958	.04974	.04990	.05006	.05022	.05038	.05054
105	.050709	.05087	.05104	.05121	.05137	.05154	.05171	.05188	.05205	.05222
106	.052323	.05250	.05267	.05285	.05302	.05320	.05337	.05355	.05372	.05390
107	.054047	.05421	.05439	.05456	.05473	.05491	.05509	.05526	.05544	.05561
108	.055794	.05597	.05615	.05632	.05650	.05668	.05686	.05704	.05723	.05741
109	.057595	.05778	.05796	.05814	.05833	.05851	.05870	.05888	.05907	.05926
110	.059511	.05969	.05988	.06007	.06026	.06045	.06064	.06083	.06102	.06121
111	.061365	.06155	.06174	.06193	.06212	.06231	.06250	.06269	.06288	.06307
112	.063338	.06353	.06373	.06393	.06413	.06433	.06453	.06473	.06493	.06513
113	.065372	.06557	.06578	.06598	.06619	.06640	.06661	.06682	.06703	.06723
114	.067470	.06768	.06789	.06811	.06832	.06854	.06875	.06897	.06919	.06941
115	.069632	.06985	.07007	.07029	.07051	.07073	.07094	.07117	.07141	.07163
116	.071863	.07209	.07231	.07254	.07277	.07300	.07323	.07346	.07369	.07393
117	.074175	.07440	.07463	.07487	.07510	.07534	.07557	.07581	.07605	.07629
118	.076536	.07677	.07701	.07725	.07750	.07774	.07798	.07822	.07847	.07871
119	.078983	.07923	.07948	.07973	.07998	.08023	.08048	.08072	.08097	.08121
120	.081507	.08176	.08202	.08228	.08254	.08279	.08306	.08332	.08358	.08384
121	.084112	.08437	.08464	.08490	.08517	.08544	.08571	.08598	.08625	.08652
122	.086799	.08707	.08734	.08761	.08789	.08817	.08845	.08873	.08901	.08929
123	.089571	.08985	.09013	.09041	.09070	.09099	.09127	.09156	.09185	.09214
124	.092433	.09272	.09301	.09330	.09360	.09389	.09419	.09449	.09478	.09508
125	.095386	.09568	.09598	.09629	.09659	.09689	.09720	.09751	.09781	.09812
126	.098434	.09874	.09905	.09936	.09968	.09999	.10031	.10062	.10094	.10126
127	.101581	.10190	.10223	.10255	.10289	.10321	.10355	.10389	.10423	.10457
128	.104831	.10516	.10549	.10582	.10615	.10649	.10683	.10718	.10752	.10786
129	.108166	.10852	.10887	.10921	.10955	.10990	.11025	.11060	.11095	.11130
130	.111652	.11200	.11235	.11271	.11307	.11342	.11378	.11414	.11450	.11486
131	.115231	.11559	.11595	.11632	.11669	.11706	.11743	.11780	.11818	.11855
132	.119211	.11957	.12003	.12040	.12078	.12115	.12153	.12191	.12229	.12267
133	.12333	.12371	.12413	.12455	.12498	.12541	.12584	.12627	.12670	.12713
134	.128703	.12916	.12961	.13007	.13053	.13100	.13147	.13194	.13241	.13288
135	.130787	.131203	.131620	.132039	.132459	.132878	.133304	.133728	.134154	.134581
136	.135010	.135440	.135871	.136304	.136739	.137175	.137612	.138051	.138491	.138933
137	.139377	.139821	.140268	.140716	.141165	.141616	.142069	.142523	.142978	.143435
138	.143894	.144354	.144816	.145279	.145744	.146211	.146679	.147149	.147620	.148093
139	.148568	.149044	.149522	.150001	.150482	.150965	.151450	.151936	.152424	.152913

ANEXO K

TABLA: VAPOR DE AGUA CONTENIDO EN LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA AL NIVEL DEL MAR ⁽⁹⁾
(lb vapor de agua / lb aire seco)

Temp.*F	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
140	1.53405	1.53898	1.54392	1.54889	1.55387	1.55887	1.56388	1.56891	1.57396	1.57903
141	1.58412	1.58922	1.59434	1.59948	1.60464	1.60982	1.61501	1.62022	1.62545	1.63070
142	1.63597	1.64124	1.64652	1.65181	1.65712	1.66245	1.66779	1.67316	1.67854	1.68394
143	1.68967	1.69515	1.70062	1.70611	1.71161	1.71712	1.72264	1.72817	1.73372	1.73928
144	1.74531	1.75088	1.75646	1.76205	1.76765	1.77326	1.77888	1.78451	1.79016	1.79582
145	1.80227	1.80885	1.81546	1.82208	1.82863	1.83521	1.84181	1.84842	1.85505	1.86169
146	1.86825	1.87486	1.88149	1.88812	1.89478	1.90145	1.90813	1.91483	1.92154	1.92826
147	1.93475	1.94138	1.94802	1.95468	1.96135	1.96803	1.97472	1.98142	1.98813	1.99485
148	1.99977	2.00643	2.01310	2.01978	2.02647	2.03317	2.03988	2.04660	2.05332	2.06005
149	2.05582	2.06263	2.06944	2.07626	2.08309	2.08993	2.09678	2.10364	2.11051	2.11738
150	2.12512	2.13199	2.13887	2.14576	2.15266	2.15957	2.16649	2.17342	2.18036	2.18731
151	2.19179	2.20444	2.21710	2.22977	2.24245	2.25514	2.26784	2.28055	2.29326	2.30598
152	2.27187	2.27951	2.28716	2.29482	2.30248	2.31015	2.31782	2.32549	2.33317	2.34085
153	2.34861	2.35756	2.36651	2.37546	2.38441	2.39336	2.40231	2.41126	2.42021	2.42916
154	2.43046	2.43872	2.44701	2.45530	2.46359	2.47188	2.48017	2.48846	2.49675	2.50504
155	2.51458	2.52317	2.53176	2.54035	2.54894	2.55753	2.56612	2.57471	2.58330	2.59189
156	2.60214	2.61109	2.62004	2.62899	2.63794	2.64689	2.65584	2.66479	2.67374	2.68269
157	2.69334	2.70267	2.71199	2.72132	2.73065	2.73998	2.74931	2.75864	2.76797	2.77730
158	2.78537	2.79510	2.80483	2.81456	2.82429	2.83402	2.84375	2.85348	2.86321	2.87294
159	2.88274	2.89317	2.90360	2.91403	2.92446	2.93489	2.94532	2.95575	2.96618	2.97661
160	2.99085	3.00143	3.01201	3.02259	3.03317	3.04375	3.05433	3.06491	3.07549	3.08607
161	3.09677	3.10822	3.11967	3.13112	3.14257	3.15402	3.16547	3.17692	3.18837	3.20000
162	3.21151	3.22306	3.23461	3.24616	3.25771	3.26926	3.28081	3.29236	3.30391	3.31546
163	3.32701	3.34143	3.35585	3.37027	3.38469	3.39911	3.41353	3.42795	3.44237	3.45679
164	3.45223	3.46527	3.47831	3.49135	3.50439	3.51743	3.53047	3.54351	3.55655	3.56959
165	3.58188	3.59492	3.60796	3.62100	3.63404	3.64708	3.66012	3.67316	3.68620	3.70000
166	3.71489	3.73022	3.74555	3.76088	3.77621	3.79154	3.80687	3.82220	3.83753	3.85286
167	3.85866	3.87321	3.88776	3.90231	3.91686	3.93141	3.94596	3.96051	3.97506	3.98961
168	4.00743	4.02271	4.03800	4.05328	4.06856	4.08384	4.10002	4.11620	4.13238	4.14856
169	4.16371	4.17977	4.19583	4.21189	4.22795	4.24401	4.26007	4.27613	4.29219	4.30825
170	4.32802	4.34419	4.36036	4.37653	4.39270	4.40887	4.42504	4.44121	4.45738	4.48325
171	4.50095	4.51822	4.53549	4.55276	4.57003	4.58730	4.60457	4.62184	4.63911	4.65638
172	4.68315	4.70191	4.72067	4.73943	4.75819	4.77695	4.79571	4.81447	4.83323	4.85199
173	4.87333	4.89315	4.91297	4.93279	4.95261	4.97243	4.99225	5.01207	5.03189	5.05171
174	5.07228	5.09220	5.11212	5.13204	5.15196	5.17188	5.19180	5.21172	5.23164	5.25156
175	5.29227	5.31500	5.33773	5.36046	5.38319	5.40592	5.42865	5.45138	5.47411	5.49684
176	5.52027	5.54324	5.56621	5.58918	5.61215	5.63512	5.65809	5.68106	5.70403	5.72700
177	5.76098	5.78552	5.81006	5.83460	5.85914	5.88368	5.90822	5.93276	5.95730	5.98184
178	6.01878	6.04319	6.06763	6.09207	6.11651	6.14095	6.16539	6.18983	6.21427	6.23871
179	6.26878	6.31944	6.37010	6.42076	6.47142	6.52208	6.57274	6.62340	6.67406	6.72472
180	6.75860	6.80682	6.85504	6.90326	6.95148	6.99970	7.04792	7.09614	7.14436	7.19258
181	6.88790	6.93814	6.98838	7.03862	7.08886	7.13910	7.18934	7.23958	7.28982	7.33996
182	7.21865	7.25298	7.28731	7.32164	7.35597	7.39030	7.42463	7.45896	7.49329	7.52762
183	7.57305	7.60899	7.64493	7.68087	7.71681	7.75275	7.78869	7.82463	7.86057	7.89651
184	7.93535	7.97228	8.00921	8.04614	8.08307	8.12000	8.15693	8.19386	8.23079	8.26772
185	8.30334	8.40604	8.49966	8.59328	8.68690	8.78052	8.87414	8.96776	9.06138	9.15500
186	8.90549	9.01164	9.11779	9.22394	9.33009	9.43624	9.54239	9.64854	9.75469	9.86084
187	9.72879	9.83401	9.93923	10.04445	10.14967	10.25489	10.36011	10.46533	10.57055	10.67577
188	10.68038	10.78571	10.89104	10.99637	11.10170	11.20703	11.31236	11.41769	11.52302	11.62835
189	11.63369	11.74033	11.84697	11.95361	12.06025	12.16689	12.27353	12.38017	12.48681	12.59345
190	1.098713	1.10521	1.11170	1.11819	1.12468	1.13117	1.13766	1.14415	1.15064	1.15713
191	1.163529	1.17074	1.17795	1.18516	1.19237	1.19958	1.20679	1.21400	1.22121	1.22842
192	1.241248	1.24914	1.25712	1.26510	1.27308	1.28106	1.28904	1.29702	1.30500	1.31298
193	1.322959	1.33219	1.34157	1.35095	1.36033	1.36971	1.37909	1.38847	1.39785	1.40723
194	1.415594	1.42571	1.43583	1.44595	1.45607	1.46619	1.47631	1.48643	1.49655	1.50667
195	1.518998	1.52977	1.54055	1.55133	1.56211	1.57289	1.58367	1.59445	1.60523	1.61601
196	1.632747	1.64441	1.65608	1.66775	1.67942	1.69109	1.70276	1.71443	1.72610	1.73777
197	1.766687	1.78034	1.79371	1.80710	1.82049	1.83388	1.84727	1.86066	1.87405	1.88744
198	1.917328	1.93351	1.95009	1.96629	1.98248	1.99867	2.01486	2.03105	2.04724	2.06343
199	2.091322	2.110218	2.129407	2.148901	2.168707	2.188832	2.209293	2.230069	2.251198	2.272677

ANEXO L

TABLA: VAPOR DE AGUA CONTENIDO EN LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A

VARIAS ALTITUDES⁽⁹⁾

(lb vapor de agua / lb aire seco; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
0	.0076	.0079	.0082	.0085	.0088	.0091	.0095	.0098	.0102	.0106
1	.0080	.0083	.0086	.0089	.0093	.0096	.0100	.0103	.0107	.0112
2	.0084	.0087	.0091	.0094	.0097	.0101	.0105	.0109	.0113	.0118
3	.0089	.0092	.0095	.0099	.0103	.0107	.0111	.0115	.0119	.0124
4	.0093	.0097	.0100	.0104	.0108	.0112	.0116	.0121	.0125	.0130
5	.0098	.0102	.0106	.0110	.0114	.0118	.0123	.0127	.0132	.0137
6	.0104	.0107	.0111	.0115	.0120	.0124	.0129	.0134	.0139	.0145
7	.0109	.0113	.0117	.0122	.0126	.0131	.0136	.0141	.0146	.0152
8	.0115	.0119	.0123	.0128	.0133	.0138	.0143	.0148	.0154	.0160
9	.0121	.0125	.0130	.0134	.0140	.0145	.0150	.0156	.0162	.0168
10	.0127	.0132	.0136	.0141	.0147	.0152	.0158	.0164	.0170	.0177
11	.0133	.0138	.0143	.0149	.0154	.0160	.0166	.0173	.0179	.0186
12	.0140	.0145	.0151	.0156	.0162	.0168	.0175	.0181	.0188	.0196
13	.0147	.0153	.0158	.0164	.0170	.0177	.0184	.0191	.0198	.0206
14	.0155	.0161	.0166	.0173	.0179	.0186	.0193	.0200	.0208	.0216
15	.0163	.0169	.0175	.0181	.0188	.0195	.0203	.0210	.0219	.0227
16	.0171	.0177	.0184	.0191	.0198	.0205	.0213	.0221	.0230	.0239
17	.0179	.0186	.0193	.0200	.0208	.0215	.0224	.0232	.0241	.0250
18	.0188	.0195	.0203	.0210	.0218	.0226	.0235	.0244	.0253	.0263
19	.0198	.0205	.0213	.0221	.0229	.0237	.0246	.0256	.0266	.0276
20	.0208	.0215	.0223	.0231	.0240	.0249	.0259	.0269	.0279	.0290
21	.0218	.0226	.0234	.0243	.0252	.0262	.0272	.0282	.0293	.0304
22	.0229	.0237	.0246	.0255	.0264	.0274	.0285	.0296	.0307	.0319
23	.0240	.0249	.0258	.0267	.0277	.0287	.0298	.0309	.0320	.0332
24	.0251	.0261	.0270	.0280	.0291	.0302	.0313	.0325	.0338	.0351
25	.0264	.0273	.0283	.0294	.0305	.0316	.0329	.0341	.0354	.0368
26	.0276	.0287	.0297	.0308	.0320	.0332	.0344	.0358	.0371	.0386
27	.0290	.0300	.0311	.0323	.0335	.0348	.0361	.0375	.0389	.0405
28	.0304	.0315	.0326	.0338	.0351	.0364	.0378	.0392	.0407	.0423
29	.0318	.0330	.0342	.0355	.0368	.0382	.0396	.0412	.0428	.0444
30	.0333	.0345	.0358	.0372	.0385	.0400	.0415	.0431	.0448	.0465
31	.0349	.0362	.0375	.0389	.0404	.0419	.0435	.0452	.0469	.0488
32	.0365	.0379	.0393	.0407	.0423	.0439	.0456	.0473	.0491	.0511
33	.0381	.0395	.0409	.0424	.0440	.0457	.0474	.0493	.0512	.0532
34	.0398	.0411	.0426	.0442	.0458	.0476	.0494	.0513	.0533	.0554
35	.0412	.0428	.0443	.0460	.0477	.0495	.0514	.0534	.0555	.0578
36	.0429	.0445	.0462	.0479	.0497	.0516	.0535	.0556	.0577	.0600
37	.0447	.0463	.0480	.0498	.0517	.0537	.0557	.0579	.0601	.0625
38	.0465	.0482	.0500	.0518	.0538	.0558	.0580	.0602	.0625	.0650
39	.0483	.0501	.0520	.0539	.0560	.0581	.0603	.0626	.0651	.0676
40	.0503	.0521	.0541	.0561	.0582	.0604	.0627	.0651	.0677	.0703
41	.0523	.0542	.0562	.0583	.0605	.0628	.0652	.0678	.0704	.0731
42	.0544	.0564	.0585	.0607	.0629	.0653	.0678	.0705	.0732	.0761
43	.0565	.0586	.0608	.0631	.0654	.0679	.0705	.0733	.0761	.0791
44	.0588	.0609	.0632	.0656	.0680	.0706	.0733	.0762	.0791	.0822
45	.0611	.0633	.0657	.0681	.0707	.0734	.0762	.0792	.0822	.0853
46	.0635	.0658	.0682	.0708	.0735	.0763	.0792	.0823	.0855	.0888
47	.0659	.0684	.0709	.0736	.0763	.0792	.0825	.0858	.0892	.0926
48	.0685	.0710	.0737	.0764	.0793	.0823	.0858	.0892	.0927	.0963
49	.0711	.0738	.0765	.0794	.0824	.0855	.0888	.0922	.0958	.0996
50	.0739	.0766	.0794	.0824	.0855	.0888	.0922	.0958	.0995	.1033
51	.0767	.0795	.0825	.0856	.0888	.0922	.0958	.0995	.1034	.1074
52	.0796	.0826	.0856	.0889	.0922	.0958	.0994	.1033	.1073	.1116
53	.0826	.0857	.0889	.0922	.0957	.0994	.1032	.1072	.1114	.1158
54	.0858	.0889	.0923	.0957	.0994	.1032	.1071	.1112	.1157	.1202
55	.0890	.0923	.0958	.0994	.1031	.1071	.1112	.1155	.1201	.1248
56	.0923	.0958	.0994	.1031	.1070	.1111	.1154	.1199	.1246	.1295
57	.0958	.0994	.1031	.1070	.1110	.1153	.1197	.1244	.1293	.1344
58	.0994	.1031	.1069	.1110	.1152	.1196	.1242	.1290	.1341	.1394
59	.1031	.1069	.1109	.1151	.1195	.1240	.1288	.1339	.1391	.1446
60	.1069	.1108	.1150	.1193	.1239	.1286	.1336	.1388	.1443	.1500
61	.1108	.1149	.1192	.1237	.1285	.1334	.1386	.1440	.1496	.1556
62	.1149	.1192	.1238	.1287	.1338	.1391	.1447	.1503	.1562	.1624
63	.1191	.1235	.1282	.1330	.1381	.1434	.1490	.1548	.1609	.1673
64	.1234	.1280	.1328	.1379	.1431	.1486	.1544	.1604	.1666	.1734
65	.1279	.1327	.1377	.1429	.1483	.1540	.1600	.1663	.1729	.1798
66	.1325	.1375	.1426	.1481	.1537	.1596	.1659	.1724	.1792	.1863
67	.1373	.1424	.1478	.1534	.1593	.1654	.1719	.1787	.1857	.1931
68	.1422	.1475	.1531	.1589	.1650	.1714	.1781	.1851	.1924	.2001
69	.1473	.1528	.1586	.1646	.1709	.1775	.1845	.1917	.1993	.2073

ANEXO L

TABLA: VAPOR DE AGUA CONTENIDO EN LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A

VARIAS ALTITUDES (A)

(lb vapor de agua / lb aire seco; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
70	.01528	.01543	.01642	.01705	.01771	.01839	.01911	.01986	.02065	.02148
71	.01538	.01553	.01652	.01715	.01781	.01849	.01921	.01996	.02075	.02158
72	.01638	.01653	.01752	.01815	.01881	.01949	.02021	.02096	.02175	.02258
73	.01693	.01708	.01807	.01870	.01936	.02004	.02076	.02155	.02234	.02317
74	.01743	.01758	.01857	.01920	.01986	.02054	.02126	.02205	.02284	.02367
75	.01814	.01829	.01928	.01991	.02057	.02125	.02197	.02276	.02355	.02438
76	.01878	.01893	.01992	.02055	.02121	.02189	.02261	.02340	.02419	.02502
77	.01943	.01958	.02057	.02120	.02186	.02254	.02326	.02405	.02484	.02567
78	.02010	.02025	.02124	.02187	.02253	.02321	.02393	.02472	.02551	.02634
79	.02080	.02095	.02194	.02257	.02323	.02391	.02463	.02542	.02621	.02704
80	.02152	.02167	.02266	.02329	.02395	.02463	.02535	.02614	.02693	.02776
81	.02228	.02243	.02342	.02405	.02471	.02539	.02611	.02690	.02769	.02852
82	.02302	.02317	.02416	.02479	.02545	.02613	.02685	.02764	.02843	.02926
83	.02381	.02396	.02495	.02558	.02624	.02692	.02764	.02843	.02922	.03005
84	.02462	.02477	.02576	.02639	.02705	.02773	.02845	.02924	.03003	.03086
85	.02545	.02560	.02659	.02722	.02788	.02856	.02928	.03007	.03086	.03169
86	.02631	.02646	.02745	.02808	.02874	.02942	.03014	.03093	.03172	.03255
87	.02720	.02735	.02834	.02897	.02963	.03031	.03103	.03182	.03261	.03344
88	.02812	.02827	.02926	.02989	.03055	.03123	.03195	.03274	.03353	.03436
89	.02906	.02921	.03020	.03083	.03149	.03217	.03289	.03368	.03447	.03530
90	.03004	.03019	.03118	.03181	.03247	.03315	.03387	.03466	.03545	.03628
91	.03104	.03119	.03218	.03281	.03347	.03415	.03487	.03566	.03645	.03728
92	.03205	.03220	.03319	.03382	.03448	.03516	.03588	.03667	.03746	.03829
93	.03314	.03329	.03428	.03491	.03557	.03625	.03697	.03776	.03855	.03938
94	.03424	.03439	.03538	.03601	.03667	.03735	.03807	.03886	.03965	.04048
95	.03537	.03552	.03651	.03714	.03780	.03848	.03920	.03999	.04078	.04161
96	.03654	.03669	.03768	.03831	.03897	.03965	.04037	.04116	.04195	.04278
97	.03774	.03789	.03888	.03951	.04017	.04085	.04157	.04236	.04315	.04398
98	.03898	.03913	.04012	.04075	.04141	.04209	.04281	.04360	.04439	.04522
99	.04028	.04043	.04142	.04205	.04271	.04339	.04411	.04490	.04569	.04652
100	.04157	.04172	.04271	.04334	.04400	.04468	.04540	.04619	.04698	.04781
101	.04283	.04298	.04397	.04460	.04526	.04594	.04666	.04745	.04824	.04907
102	.04413	.04428	.04527	.04590	.04656	.04724	.04796	.04875	.04954	.05037
103	.04547	.04562	.04661	.04724	.04790	.04858	.04930	.05009	.05088	.05171
104	.04675	.04690	.04789	.04852	.04918	.04986	.05058	.05137	.05216	.05299
105	.04818	.04833	.04932	.04995	.05061	.05129	.05201	.05280	.05359	.05442
106	.04964	.04979	.05078	.05141	.05207	.05275	.05347	.05426	.05505	.05588
107	.05114	.05129	.05228	.05291	.05357	.05425	.05497	.05576	.05655	.05738
108	.05266	.05281	.05380	.05443	.05509	.05577	.05649	.05728	.05807	.05890
109	.05422	.05437	.05536	.05599	.05665	.05733	.05805	.05884	.05963	.06046
110	.05578	.05593	.05692	.05755	.05821	.05889	.05961	.06040	.06119	.06202
111	.05736	.05751	.05850	.05913	.05979	.06047	.06119	.06198	.06277	.06360
112	.05896	.05911	.06010	.06073	.06139	.06207	.06279	.06358	.06437	.06520
113	.06058	.06073	.06172	.06235	.06301	.06369	.06441	.06520	.06599	.06682
114	.06224	.06239	.06338	.06401	.06467	.06535	.06607	.06686	.06765	.06848
115	.06391	.06406	.06505	.06568	.06634	.06702	.06774	.06853	.06932	.07015
116	.06560	.06575	.06674	.06737	.06803	.06871	.06943	.07022	.07101	.07184
117	.06732	.06747	.06846	.06909	.06975	.07043	.07115	.07194	.07273	.07356
118	.06906	.06921	.07020	.07083	.07149	.07217	.07289	.07368	.07447	.07530
119	.07082	.07097	.07196	.07259	.07325	.07393	.07465	.07544	.07623	.07706
120	.07259	.07274	.07373	.07436	.07502	.07570	.07642	.07721	.07800	.07883
121	.07438	.07453	.07552	.07615	.07681	.07749	.07821	.07900	.07979	.08062
122	.07618	.07633	.07732	.07795	.07861	.07929	.08001	.08080	.08159	.08242
123	.07799	.07814	.07913	.07976	.08042	.08110	.08182	.08261	.08340	.08423
124	.07982	.07997	.08096	.08159	.08225	.08293	.08365	.08444	.08523	.08606
125	.08167	.08182	.08281	.08344	.08410	.08478	.08550	.08629	.08708	.08791
126	.08354	.08369	.08468	.08531	.08597	.08665	.08737	.08816	.08895	.08978
127	.08542	.08557	.08656	.08719	.08785	.08853	.08925	.09004	.09083	.09166
128	.08732	.08747	.08846	.08909	.08975	.09043	.09115	.09194	.09273	.09356
129	.08924	.08939	.09038	.09101	.09167	.09235	.09307	.09386	.09465	.09548
130	.09118	.09133	.09232	.09295	.09361	.09429	.09501	.09580	.09659	.09742
131	.09314	.09329	.09428	.09491	.09557	.09625	.09697	.09776	.09855	.09938
132	.09512	.09527	.09626	.09689	.09755	.09823	.09895	.09974	.10053	.10136
133	.09712	.09727	.09826	.09889	.09955	.10023	.10095	.10174	.10253	.10336
134	.09914	.09929	.10028	.10091	.10157	.10225	.10297	.10376	.10455	.10538
135	.10118	.10133	.10232	.10295	.10361	.10429	.10501	.10580	.10659	.10742
136	.10324	.10339	.10438	.10501	.10567	.10635	.10707	.10786	.10865	.10948
137	.10532	.10547	.10646	.10709	.10775	.10843	.10915	.10994	.11073	.11156
138	.10742	.10757	.10856	.10919	.10985	.11053	.11125	.11204	.11283	.11366
139	.10954	.10969	.11068	.11131	.11197	.11265	.11337	.11416	.11495	.11578

ANEXO L

**TABLA: VAPOR DE AGUA CONTENIDO EN LA MEZCLA AIRE SATURADO-VAPOR DE AGUA A
VARIAS ALTITUDES⁽⁹⁾**

(lb vapor de agua / lb aire seco; altitud en ft)

Temp. °F	-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
140	1.14672	1.13340	1.16051	1.18906	1.17811	1.18469	1.19387	2.0368	2.1420	2.2550
141	1.15147	1.13814	1.16525	1.19380	1.18285	1.18943	1.19861	2.1077	2.2128	2.3317
142	1.15630	1.14300	1.17127	1.19985	1.18890	1.19548	2.0748	2.1815	2.2963	2.4197
143	1.16147	1.14817	1.17695	1.18548	1.19455	2.0426	2.1466	2.2582	2.3782	2.5073
144	1.16673	1.15353	1.18284	1.19170	2.0117	2.1130	2.2215	2.3381	2.4635	2.5987
145	1.17218	1.16030	1.18894	1.19817	2.0804	2.1861	2.2994	2.4213	2.5524	2.6940
146	1.17783	1.16628	1.19528	2.0490	2.1519	2.2621	2.3805	2.5079	2.6452	2.7935
147	1.18369	1.17248	2.0185	2.1188	2.2293	2.3413	2.4658	2.5982	2.7420	2.8976
148	1.18976	1.17891	2.0868	2.1813	2.3033	2.4235	2.5530	2.6925	2.8431	3.0063
149	1.19606	2.0558	2.1577	2.2667	2.3837	2.5094	2.6447	2.7908	2.9488	3.1201
150	2.0259	2.1251	2.2313	2.3451	2.4673	2.5987	2.7404	2.8935	3.0592	3.2392
151	2.0936	2.1971	2.3079	2.4287	2.5544	2.6919	2.8403	3.0008	3.1748	3.3640
152	2.1640	2.2719	2.3875	2.5118	2.6481	2.7981	2.9448	3.1130	3.2958	3.4949
153	2.2371	2.3496	2.4703	2.6000	2.7397	2.8905	3.0535	3.2304	3.4226	3.6323
154	2.3130	2.4305	2.5566	2.6922	2.8384	2.9964	3.1675	3.3533	3.5556	3.7766
155	2.3919	2.5146	2.6464	2.7883	2.9414	3.1071	3.2868	3.4821	3.6952	3.9263
156	2.4740	2.6021	2.7399	2.8885	3.0490	3.2229	3.4116	3.6172	3.8418	4.0880
157	2.5595	2.6933	2.8475	2.9931	3.1614	3.3440	3.5425	3.7591	3.9960	4.2562
158	2.6484	2.7884	2.9393	3.1024	3.2790	3.4709	3.6798	3.9081	4.1583	4.4337
159	2.7410	2.8875	3.0456	3.2166	3.4021	3.6039	3.8239	4.0648	4.3293	4.6210
160	2.8375	2.9908	3.1566	3.3360	3.5310	3.7434	3.9754	4.2298	4.5097	4.8191
161	2.9381	3.0958	3.2726	3.4611	3.6661	3.8898	4.1347	4.4036	4.7002	5.0287
162	3.0421	3.2115	3.3953	3.5923	3.8047	4.0243	4.3024	4.5870	4.9017	5.2510
163	3.1527	3.3294	3.5209	3.7293	3.9567	4.2056	4.4791	4.7808	5.1149	5.4869
164	3.2673	3.4528	3.6540	3.8734	4.1132	4.3761	4.6656	4.9856	5.3410	5.7377
165	3.3870	3.5817	3.7935	4.0247	4.2777	4.5558	4.8626	5.2026	5.5811	6.0048
166	3.5122	3.7169	3.9399	4.1837	4.4511	4.7455	5.0710	5.4327	5.8384	6.2898
167	3.6433	3.8587	4.0937	4.3510	4.6338	4.9459	5.2918	5.6770	6.1083	6.5943
168	3.7807	4.0074	4.2553	4.5272	4.8267	5.1579	5.5259	5.9269	6.3965	6.9205
169	3.9246	4.1637	4.4254	4.7130	5.0305	5.3825	5.7749	6.1938	6.7088	7.2705
170	4.0760	4.3280	4.6046	4.9092	5.2462	5.6207	6.0391	6.5093	7.0411	7.6470
171	4.2348	4.5009	4.7835	5.1165	5.4747	5.8738	6.3211	6.8254	7.3979	8.0531
172	4.4019	4.6831	4.9931	5.3360	5.7172	6.1432	6.6222	7.1641	7.7819	8.4921
173	4.5777	4.8753	5.2040	5.5683	5.9749	6.4204	6.9442	7.5279	8.1961	8.9683
174	4.7630	5.0783	5.4273	5.8153	6.2492	6.7371	7.2895	7.9195	8.6442	9.4662
175	4.9584	5.2929	5.6639	6.0777	6.5417	7.0653	7.6604	8.3421	9.1304	1.00515
176	5.1649	5.5201	5.9152	6.3571	6.8542	7.4173	8.0599	8.7995	9.6595	1.06710
177	5.3832	5.7610	6.1823	6.6550	7.1887	7.7955	8.4912	9.2960	1.02374	1.13524
178	5.6144	6.0187	6.4668	6.9735	7.5475	8.2031	8.9581	9.8567	1.08710	1.21055
179	5.8596	6.2888	6.7704	7.3144	7.9333	8.6433	9.4653	1.04276	1.15665	1.29418
180	6.1201	6.5788	7.0949	7.6803	8.3492	9.1201	1.00179	1.10758	1.23399	1.38759
181	6.3871	6.8879	7.4425	8.0739	8.7985	9.6383	1.06222	1.17900	1.31975	1.49256
182	6.6623	7.2186	7.8157	8.4982	9.2856	1.02032	1.12854	1.25804	1.41561	1.61134
183	6.9457	7.5731	8.2172	8.9570	9.6150	1.08213	1.20169	1.34599	1.52345	1.74681
184	7.2477	7.9536	8.6503	9.3455	1.03926	1.15003	1.28771	1.44440	1.64663	1.90273
185	7.5661	8.3633	9.1188	9.9957	1.10250	1.22495	1.37929	1.55523	1.78518	2.08403
186	7.8943	8.8053	9.6271	1.03963	1.17292	1.29788	1.46399	1.68097	1.94605	2.29742
187	8.2124	9.2840	1.01803	1.12335	1.24878	1.40060	1.58794	1.82478	2.13346	2.55217
188	8.5638	9.8034	1.07845	1.19454	1.33397	1.50442	1.71739	1.99084	2.35452	2.86150
189	8.9456	1.03690	1.14469	1.27322	1.42901	1.62162	1.86568	2.18468	2.61913	3.24458
190	9.3683	1.09871	1.21761	1.36060	1.53570	1.75493	2.07717	2.41385	2.94145	3.73273
191	1.06419	1.16633	1.29277	1.46220	1.63459	1.97188	2.29778	2.68890	3.34258	4.17381
192	1.11944	1.24125	1.38794	1.56768	1.78365	2.08511	2.47551	3.02506	3.85530	5.25375
193	1.18889	1.32396	1.48818	1.69200	1.95150	2.29284	2.76184	3.44511	4.33351	6.53622
194	1.26546	1.41599	1.60097	1.83359	2.13474	2.53962	3.11256	3.98480	5.47449	8.57671
195	1.35030	1.51900	1.72879	1.99656	2.34998	2.83754	3.55293	4.70354	6.85801	9.19729
196	1.44480	1.63503	1.84820	2.21612	2.58634	3.26420	4.12181	5.57083	8.14256	11.0255
197	1.55667	1.76669	2.04315	2.49228	2.91676	3.66642	4.88486	7.20961	9.69946	13.5275
198	1.67007	1.91733	2.23935	2.87579	3.30028	4.26695	5.96184	8.69946	11.5291	16.1458
199	1.80575	2.09132	2.47087	3.29953	3.78601	5.07681	7.59522	10.5291	14.1458	19.1458
200	1.96123	2.29452	2.74813	3.81008	4.42093	6.23613				