

Rubén Carrión
6/3/03.

T
621.56
CAN
0.2



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y,
Ciencias de la Producción**

" DISEÑO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO USANDO VISUAL BASIC"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

MANUEL ELIAS CANDELARIO VERA

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

2000



D-21190

AGRADECIMIENTO

ING FRANCISCO ANDRADE

Director de Tesis,

por su ayuda y colaboración para

la realización de este trabajo

DEDICATORIA

A Dios


A Mi Familia

A Mis Amigos


TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIM



Ing Francisco Andrade S.
DIRECTOR DE TESIS



Ing Rodolfo Paz M.
VOCAL

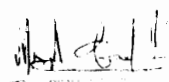
RESUMEN

En el presente trabajo se analiza los tipos de torres de enfriamiento, así como, sus componentes y su modo de operación. Para una torre de tiro inducido, se determinan las propiedades de la mezcla agua-aire sin recurrir al uso de cartas psicrométricas. Se construye un programa en Visual Basic para la obtención de éstas propiedades. Así mismo, se obtiene la selección de los componentes tomando en consideración tanto las especificaciones técnicas como los costos de operación .

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Manuel Candelario Vera

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XI
INTRODUCCION.....	XII
CAPITULO 1: FUNDAMENTOS DEL METODO DE ENFRIAMIENTO	
1.1 Operaciones de humidificación.....	3
1.2 Enfriamiento por evaporación.....	4
1.3 Sistemas de operación gas-líquido.....	6
CAPITULO 2 : TIPOS DE TORRES Y COMPONENTES	
2.1 Distribuidor de agua a la entrada de la torre	9
2.2 Distribución de flujo por gravedad.....	9
2.3 Rellenos o empaques.....	9
2.4 Tipos de rellenos.....	11
2.5 Propiedades	
2.5.1. Rellenos de plástico.....	11

2.5.2. Rellenos de metal.....	12
2.6 Boquillas de rociado de las torres de enfriamiento.....	13
2.7 Estanques o depósitos de rociada.....	16
2.8 Tipos de torres de enfriamiento.....	16
2.8.1 Torres atmosféricas de agua.....	18
2.8.1.1 Eliminadores de arrastre.....	19
2.8.1.2 Lumbreras de admisión de aire.....	21
2.8.1.2.1 Velocidad del viento.....	21
2.8.1.2.2 Altura de la torre.....	22
2.8.1.2.3 Temperatura de bulbo húmedo.....	22
2.8.2 Torres de tiro natural o hiperbólico.....	23
2.8.2.1 Ventajas de las torres de tiro natural.....	24
2.8.2.2 Desventajas de las torres de tiro natural.....	24
2.8.3 Torres de tiro mecánico.....	24
2.8.3.1 Torres de tiro inducido.....	27
2.8.3.1.1 Ventaja de las torres de tiro inducido.....	27
2.8.3.1.2 Desventajas de las torres de tiro inducido.....	28
2.8.3.2 Torres de tiro forzado	28
2.8.3.2.1 Ventajas de las torres de tiro forzado.....	29
2.8.3.2.2 Desventajas de las torres de tiro forzado.....	30

2.9 Elementos formadores de residuos.....	30
2.10 Prevención contra la formación de escamas.....	31
2.11 Corrosión por picaduras.....	34
2.12 Eliminación o purga de agua.....	36
2.13 Determinación de niveles aceptables de corrosión.....	38
2.14 Prevención contra la formación de protuberancias.....	39

CAPITULO 3 : DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

3.1 Planteamiento del problema.....	41
3.2 Cálculo de propiedades de la mezcla en el sistema de enfriamiento.....	42
3.3 Ecuaciones para el diseño de la torre.....	44
3.3.1 Eficiencia y característica de las torres de enfriamiento.....	53
3.3.2 Ecuación para determinar el flujo de aire que circula por la torre.....	60
3.3.2.1 Determinación del flujo de aire que circula por la torre.....	61
3.3.3 Determinación de la concentración de agua.....	62
3.3.4 Ecuación para determinar el área de la sección transversal de la torre.....	63
3.3.5 Ecuación para determinar la cantidad de agua de compensación.....	68
3.3.5.1 Determinación de la cantidad de agua	

de compensación.....	70
3.3.5.2 Determinación de la cantidad de agua a purgarse del sistema.....	68
3.3.6 Determinación del coeficiente de transferencia de masa.....	70
3.4 Determinación, selección y dimensionamiento de los componentes del sistema.....	77
3.4.1 Selección del ventilador.	77
3.4.2 Selección del colector de agua	81
 CAPITULO 4: ANALISIS ECONOMICO	
4.1 Análisis de costo de la torre.....	83
4.2 Comparación de costos con la torre importada.....	86
 CAPITULO 5 : ELABORACION DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	
5.1 Variables predeterminadas por el programa.....	87
5.2 Fórmulas especificadas del programa.....	91
5.3 Codificación del programa.....	92
5.4 Datos de entrada.....	150
5.5 Datos de salida.....	150

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	164
APENDICES.....	166
BIBLIOGRAFIA.....	172

Abreviaturas

a_p = superficie interfacial por unidad de volumen de empaquetadura m^2 / m^3 .

c = calor húmedo de la mezcla a la entrada de la torre

$C_{pyentra}$ capacidad calorífica del aire entrante

C_{pl} = capacidad calorífica del agua

costagrepos = costo anual de agua de compensación

costagelim = costo anual de agua de eliminación

costdeselim = $60 * relim * hopertorre * factorcarga * costagelim$

costratquim = costo anual de tratamiento químico de agua

costotales = costo total de consumo de agua

costhpb = costo total anual de consumo de energía

costhpb = costo anual de consumo de energía de la bomba

costhpbv = costo anual de consumo de energía del ventilador

E_v = presión de vapor local

denso = densidad del aire a la temperatura de operación

G_s = flujo de gas que circula en el sistema

G' = velocidad superficial de masa de aire

GPM = flujo de agua en galones por minuto

h_{xa} = coeficiente de transferencia de calor en la fase líquida

h_{ya} = coeficiente de transferencia de calor en la fase gaseosa

H_w = entalpía del agua

H' = entalpía de una mezcla vapor-gas

H^* = entalpía de una mezcla saturada en equilibrio con el flujo líquido

H_{OG} = altura de una unidad de transferencia húmeda de entalpía gaseosa

K_{ya} = coeficiente de transferencia de masa

L = flujo de líquido a circular en el sistema

L' = velocidad superficial de masa líquida

M = flujo de líquido de compensación

mcm = metros cúbicos por minuto de aire

m_y = flujo de aire seco

NTOG = número global de una unidad húmeda de transferencia

PH = potencial de hidrógeno del agua.

PHs = valor de pH a la cual el agua está en equilibrio con el CaCO_3 sólido.

Rep = Reposición de agua

Q_R = calor removido en el condensador

Q_S = energía que se desprende del sistema

Q_w = energía que se desprende del agua

rcompy = rapidez de compensación de agua anual

Sal = índice de saturación

Stl = índice de estabilidad

T_D = temperatura de bulbo seco del aire

T_W = temperatura de bulbo húmedo del aire

T_{L1} = temperatura del líquido que sale del sistema

T_{L2} = temperatura del líquido que entra al sistema

T_M = temperatura del líquido de compensación

T_o = temperatura en el medio de operación

T_R = temperatura de referencia

T_v = temperatura virtual

ψ = humedad absoluta

λ : calor de vaporización para agua

v_y = volumen específico de la mezcla a la salida de la torre

X = diferencial de orificio

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribuidor de agua a la entrada	2-9
Figura 2 Rellenos para la distribución de líquido	2-10
Figura 3 Variación del coeficiente de transferencia de masa con el flujo en plásticos.....	2-13
Figura 4 Variación del coeficiente de transferencia de masa con el flujo en metales.....	2-14
Figura 5 Diferentes tipos de boquillas.....	2-15
Figura 6 Torre atmosférica de agua	2-19
Figura 7 Variación de la presión en la zona de descenso.....	2-20
Figura 8 Variación de la concentración del agua.....	2-33
Figura 9 Esquema de funcionamiento de la torre.....	3-42
Figura 10 Comportamiento de la mezcla en el sistema de enfriamiento...3-58	
Figura 11 Ajuste de temperatura de agua caliente.....	3-60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los niveles de corrosión.....	2-38
Tabla 2 Sumatoria inverso de entalpías.....	3-76

INTRODUCCION

Al enfriar agua es importante tener en cuenta ciertas consideraciones que mejorarán el modo de enfriamiento del agua y que pueden significar un mayor rendimiento en el proceso industrial. Por esta razón los métodos de enfriamiento pueden ser mejorados en base a estudios preliminares que cumplan con las normas existentes.

La forma clásica de enfriamiento consiste en exponer el agua a la acción de una corriente de aire más fría, que la atraviesa por un tiempo suficiente dentro de un recinto en particular. De hecho, para obtener la temperatura de agua enfriada deseada va estar en función del dimensionamiento del equipo.

Debe controlarse la concentración del agua a la salida del equipo , ya que en éste tramo de su recorrido experimenta una mayor dureza debido al contacto que experimenta con aquellos elementos internos que intervienen para su enfriamiento debiéndose realizar extracciones para muestreo.

En el presente trabajo se realiza el análisis y selección de los elementos que conforman el equipo, asimismo, se realiza un análisis de la concentración del agua en función del caudal de circulación. Se tiene además la seguridad de recuperación del capital invertido en la adquisición del sistema, basado en un análisis económico del mismo, así como comprobar que el sistema diseñado representa una ventaja económica comparado con el equipo importado si se

toman en cuenta todas las consideraciones de diseño.

Se puede rediseñar el sistema con la ayuda de un programa por computadora, variando los parámetros que intervienen para el diseño para ello se debe tener en cuenta las variaciones permisibles de cada propiedad para obtener un dimensionamiento óptimo.

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS DEL METODO DE ENFRIAMIENTO

Para una operación apropiada, todas las plantas de vapor, ya sea plantas que operen a base de combustibles fósiles necesitan de un sistema de circulación de agua para remover el exceso de calor del sistema de vapor a fin de condensarlo y transferir aquel calor al medio ambiente.

Algunas plantas de poder usualmente localizadas sobre esteros o ríos, usan torres de enfriamiento como un método de enfriamiento de agua de circulación en la cual ha ganado calor el condensador.

La mayoría de las plantas de poder que no descargan al estero o río necesitan de torres de enfriamiento para remover el exceso de calor del sistema de agua circulante.

1.1. Operaciones de humidificación

Las torres de enfriamiento tienen una sola función:

- Remover el calor a partir del agua de descarga desde el condensador para que el agua pueda ser descargada al río u otro tipo de sumidero o usada de nuevo en el proceso.

Puede afirmarse que una torre de enfriamiento es un dispositivo que transpira, esto es, libera calor a los alrededores por evaporación el cual se enfría porque las moléculas de agua de mayor temperatura se escapan mientras que el agua que se enfría permanece en la torre.

1.2 Enfriamiento por evaporación

Los procesos de enfriamiento por agua son los más antiguos y simples que se conocen, Todo lo que se requiere para enfriar el agua es exponer su superficie al aire. Algunos de estos procesos son lentos, como el enfriamiento del agua de la superficie de un estanque, mientras otros son relativamente rápidos, como cuando se rocía agua al aire. Todos estos procesos comprenden la exposición de la superficie del agua al aire con grado de eficiencia que varía.

El uso principal del agua en la industria es la remoción del calor para condensar y enfriar varios productos. El agua después de haberse usado en esta forma queda caliente y puede ser descargada o enfriada y luego recirculada.

La transmisión del calor comprende una transmisión del calor latente debido al cambio de estado, de líquido a vapor de una pequeña porción del agua, y una transmisión del calor sensible debido a la diferencia de las temperaturas del agua y el aire.

Para evaporar 1 kg. de agua se necesitan 600 Cal, que bastan para enfriar 100 kg. de agua a 6 °C. Por consiguiente, por cada 6 °C de efecto refrigerante se pierde aproximadamente el 1 % del agua, por evaporación. Hay además una pérdida debida al rociado del agua no mayor al 0.2% en las torres de enfriamiento de tiro natural o mecánico, bien proyectadas.

En las torres de enfriamiento en las que el agua está más caliente que el aire, el calor quitado al agua y transmitido al aire es la suma del calor sensible y del calor latente de evaporación. El calor sensible es pequeño en relación al calor latente transmitido.

Es evidente que el agua no puede enfriarse por debajo de la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra. Dicha temperatura o sea, la temperatura de saturación adiabática, representa la mínima que el agua puede alcanzar con un tiempo infinito de contacto entre el agua y el aire en una torre de enfriamiento.

1.3 Sistemas de operación gas - líquido

Por cada libra de agua que una torre de enfriamiento evapora, remueve cerca de 1000 BTU del agua que permanece. Para que tome lugar mayor evaporación, más calor debe ser removido. El calor restante es absorbido por el aire debido a su incremento de temperatura pero éste intercambio de calor sensible es menor comparado con el componente latente proporcionado por el cambio de fase del agua.

Para que la evaporación se lleve a cabo se coloca agua caliente con el aire del medio ambiente que debe tener una humedad relativa baja, se lo realiza en equipos u otros elementos expuestos al ambiente.

Si se desea reducir la temperatura de grandes cantidades de agua de un modo controlado y eficiente, las torres de enfriamiento sirven para este propósito ya que los parámetros que intervienen en ellas están diseñados para que cumplan su función específica.

Una torre de enfriamiento de uso convencional funciona como sigue:

Por una tubería situada en la parte superior de la torre que va conectada a un distribuidor circula el agua caliente a una temperatura T_{L2} luego es distribuida en pequeñas gotas en dispositivos diseñados para éste propósito, éstos dispositivos vienen en rellenos de diferentes tipos y calidades, variando desde maderas curadas hasta materiales de fibrocemento, polivinilcloruro

(pvc), cerámica, etc; los cuales son ubicados en forma de mallas o en forma de panales que le dan cierta desviación a la trayectoria de la corriente de agua al pasar por ellas y además se obtiene un área de máxima transferencia con el aire atmosférico, el cual entra por la parte inferior de la torre debido a la succión que realiza el ventilador desde la parte superior con una temperatura T_{G1} de bulbo seco y de una humedad absoluta ψ Kgs de vapor de agua / Kg de aire seco.

Cuando se produce el descenso de la temperatura del agua dentro de la torre, al pasar por ella, sólo una pequeña fracción de agua se pierde por evaporación en el fenómeno de transferencia de calor, la mayor parte del agua que se pierde por evaporación es por transferencia de masa, la cual se produce cuando el aire que circula en contracorriente entra en contacto con el agua llevando consigo parte de ésta hasta el medio ambiente. El remanente de agua al llegar al final de la torre se la recoge en un colector o sumidero para ser succionada por una bomba para ser usada vuelta en el proceso.

A la diferencia de temperaturas que existe a la entrada y salida de la torre se le llama rango de enfriamiento. Si se enfría agua con aire dentro de una torre como es nuestro caso, la cuestión aquí es saber si la temperatura final del agua alcanzará realmente la temperatura deseada.

CAPITULO 2

TIPOS DE TORRES Y COMPONENTES

2.1. Distribuidor de agua a la entrada de la torre

El agua que entra a la torre se distribuye en dos formas: Por gravedad y por presión. Para éste tipo de distribución, usualmente se emplea un recipiente grande ubicado en la parte superior de la torre, el recipiente está expuesto al medio ambiente y está lo suficientemente abierto con el propósito de realizar el mantenimiento adecuado. El agua llega al colector por medio de bombeo y ésta a su vez se distribuye en pequeñas boquillas que las descomponen en pequeños chorros. Para que se logre una transferencia de calor y de masa de un modo más efectivo, se colocan empaques o rellenos para la dispersión del agua y para que se distribuya en pequeñas gotas.

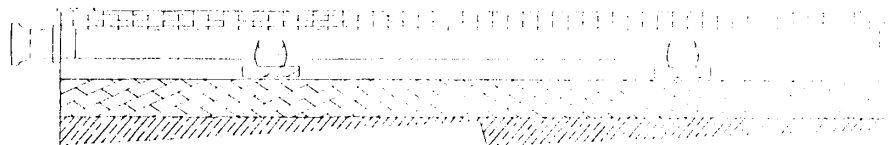


Fig .1 Distribuidor de agua a la entrada

2.2. Distribución de flujo por gravedad

En este caso, el agua que pasa por las boquillas se dispersa en pequeñas gotas debido a que el agua entra a mayor presión. Para este modo de circulación hay que considerar el tamaño de las boquillas con respecto al flujo de agua porque se puede dar el caso de que los separadores de gotas no alcancen a retener el agua y pueda haber un exceso de pérdida de agua.

2.3. Rellenos o empaques

Estos son elementos que la mayoría poseen formas geométricas.

El propósito de los rellenos es aumentar la superficie de contacto disponible ya sea distribuyendo el líquido sobre una superficie considerable o retardando de algún modo la caída de las gotas dentro del equipo.

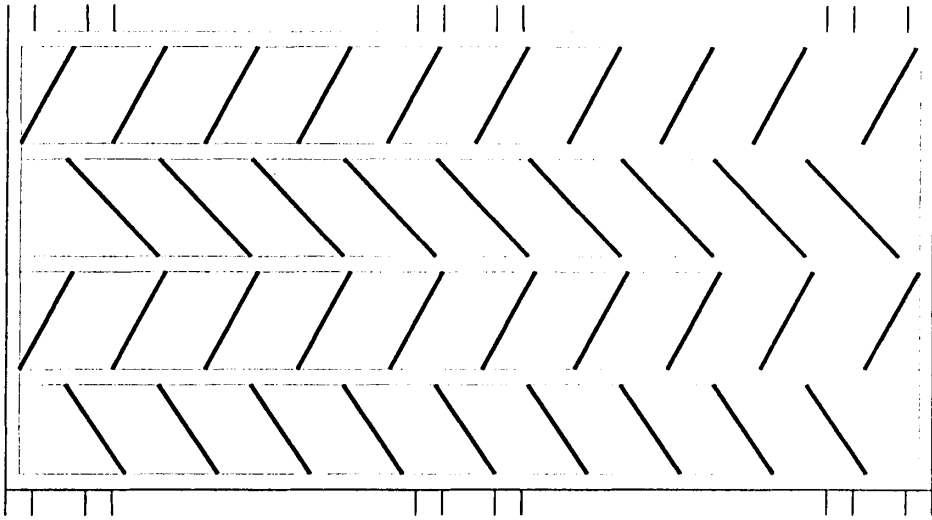


Fig .2 Rellenos para la distribución de líquido

Los rellenos de la torre deben ofrecer las siguientes características:

- 1.- Proporcionar una superficie interfacial grande entre líquido y gas. La superficie de relleno por unidad de volumen de espacio relleno a_p debe ser grande, pero no en sentido microscópico.
- 2.- Poseer características convenientes de flujo de fluido. El relleno debe permitir el pasaje de grandes volúmenes de fluido a través de secciones transversales pequeñas de torre, sin carga o inundación y con una baja caída de presión para el gas.
- 3.- Ser químicamente inerte a los fluidos con los que se ha de operar.

4.- Tener solidez estructural para permitir que sean fáciles tanto el manipuleo como la instalación.

5.- Tiene que tener un bajo costo.

Desde el punto de vista del diseño y de propiedades, éstos deben poseer un alto coeficiente de transferencia de calor, una superficie lo menos susceptible a la formación de escamas, corrosión, así como baja resistencia al flujo de aire.

Por lo general, los rellenos se clasifican en dos tipos: En rellenos de salpicadura y rellenos por contacto laminar.

2.4 Tipos de rellenos

Los rellenos o empaquetaduras son una de las características determinantes en el correcto funcionamiento de la torre, ya que dependiendo de su forma y distribución interna se le dará al flujo de agua y aire el uso adecuado. Para ello se hace un breve análisis de sus propiedades.

2.5 Propiedades

2.5.1. Rellenos de plástico

Muchos de los rellenos son de polivinilcloruro plástico, especialmente formulado para aplicaciones de torres de enfriamiento. Por lo general el material es de tipo celular de sección corrugada transversal con estrías orientadas 30 grados con respecto a la dirección del flujo de aire. Para una

mejor distribución del flujo circulante de agua se ha determinado un ancho de estrías máximo de 1.10 pulgadas.

Los rellenos de plásticos tienen la característica de ser livianos y resistentes al rompimiento. La disponibilidad de formulaciones de polímeros avanzados con resistencia térmica y química han extendido su aplicación a sistemas que operan a temperaturas de hasta 200°C. Independientemente de la forma del empaque se ha determinado que en éste tipo de material se presenta una baja caída de presión.

2.5.2. Rellenos de metal

Los rellenos de metal son más livianos y resisten mejor la fractura que los rellenos de cerámica, haciendo éste material apropiado para la instalación en lechos profundos. Debido a la naturaleza de este tipo de material, se tiene una geometría de empackado que da eficiencias más altas que los rellenos de cerámica o plásticos

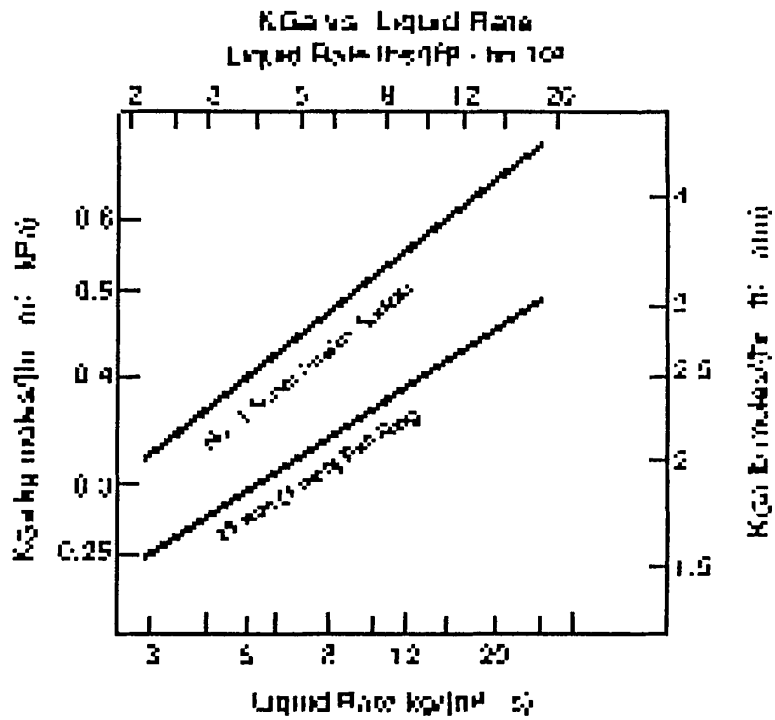


Fig 3 Variación del coeficiente de transferencia de masa con el flujo en plásticos

2.6 Boquillas de rociado de las torres de enfriamiento

En los sistemas de distribución con lanzado ascendente es práctica corriente una presión de 0.49 kg/cm^2 ; sin embargo, es adecuada la de 0.35 kg/cm^2 .

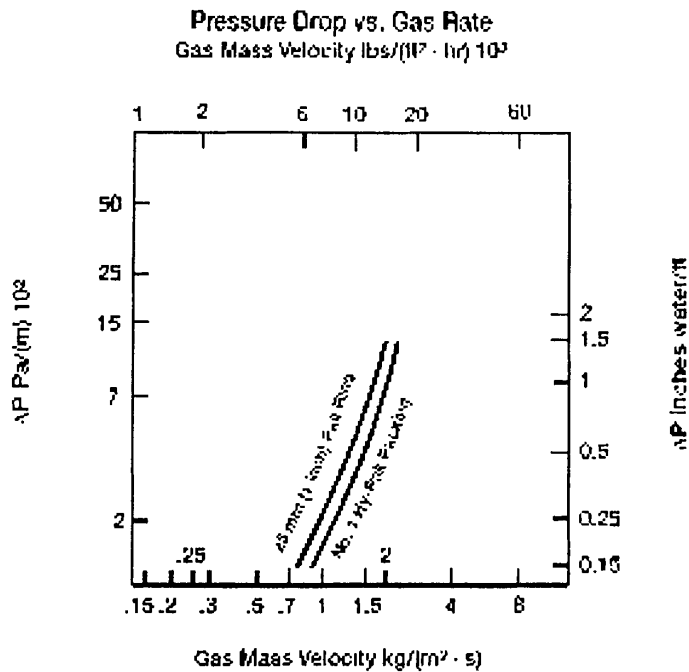


Fig. 4 Variación del coeficiente de transferencia de masa con el flujo en metales

No solo se basa en pequeños orificios para conseguir tamaños mínimos de las gotas, sino más bien en la fuerza centrífuga. El agua toma un efecto en espiral; la forma de cúpula en la proximidad del orificio de derrame, aumenta el efecto en espiral a medida que el agua se aproxima a dicho orificio. Este efecto de remolino, el cual desarrolla la velocidad para que el chorro se divida en fina lluvia, conduce a un tamaño uniforme de las gotas y a la distribución eficaz del agua sobre su superficie máxima.

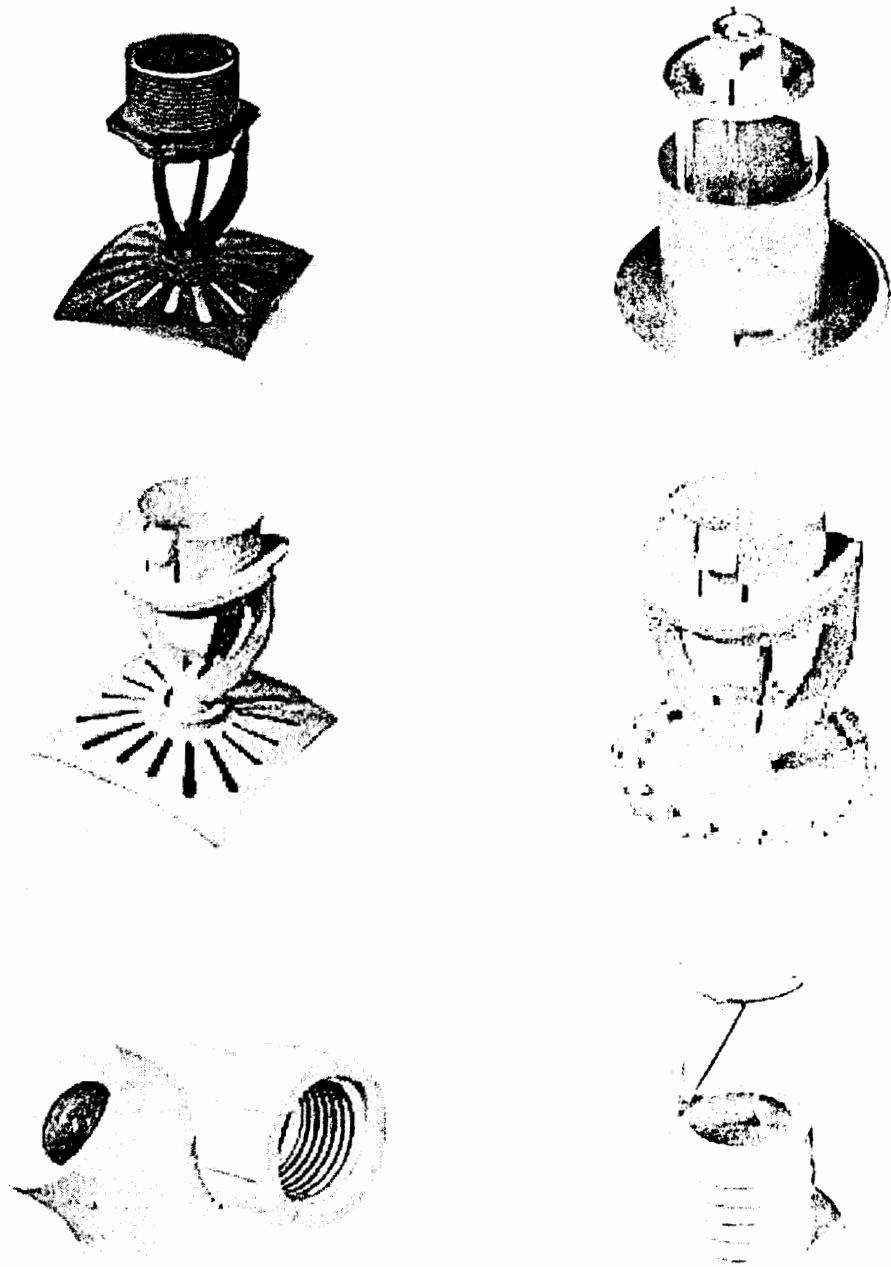


Fig 5 diferentes tipos de boquillas

La formación de estas pequeñas gotas uniformes asegura el máximo contacto con el aire que proporciona un alto rendimiento en el enfriamiento.

2.7 Estanques o depósitos de rociada

Donde haya espacio disponible, el agua circulante se enfría rociándola en el aire. El contacto de la lluvia de agua con el aire, antes de que ella alcance la superficie del estanque, es relativamente limitado y en consecuencia, solo es posible el enfriamiento dentro de un pequeño intervalo.

La instalación de las boquillas debe prever que las nubes de rociado de una de ellas no estorben a las procedentes de otras. Esto permitirá que el aire húmedo se desprenda del estanque y tome su lugar aire seco. Las tuberías se soportan de ordinario a 60 cm por encima del nivel del agua y el propio estanque deberá tener una profundidad de unos menos 90 cm, y habrá de ser lo suficientemente grande para tener en cuenta los desvíos del viento, o en otro caso, llevara persianas o rejillas de ventilación.

Ha habido considerables perfeccionamientos en las boquillas de rociado, principalmente con el invento de boquillas que no se obstruyen.

2.8. Tipos de torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento más altas, de convección natural, de forma de reloj de arena no requiere de ventiladores para transferir el exceso de calor

del sistema de agua circulante hacia el aire. En vez, la tendencia natural del aire caliente al ascender, remueve el exceso de calor a medida que el agua circulante desciende dentro de la torre de enfriamiento.

En la actualidad, hay dos tipos de torres de enfriamiento que son de uso general: La de tiro atmosférico y la de tiro mecánico. Los aparatos más antiguos para agua de enfriamiento, como los estanques de rociada y las torres de chimenea de tiro natural, han sido casi completamente sustituidos por aquellos dos tipos.

Las objeciones contra los estanques de rociada son los resultados limitados que proporciona y los perjuicios originados por la gran pérdida de agua que se produce durante ciertas estaciones del año.

Las objeciones a las torres de tiro natural son su elevado costo inicial y la seria reducción de sus resultados durante las épocas calurosas. Las torres atmosféricas y las de tiro mecánico pueden enfriar el agua hasta las mismas temperaturas mínimas. El tipo a seleccionar lo indicaran la situación económica, las condiciones atmosféricas que prevalezcan, la aproximación que se desee a la temperatura de bulbo húmedo y la cantidad de espacio disponible.

2.8.1 Torres atmosféricas de agua

En éste tipo de torres, el agua se bombea a su parte superior de donde se derrama por un sistema de distribución. Cuando el agua comienza a descender, esta se divide y se redistribuye por las cubiertas que contienen la empaquetadura de la torre. Esta descubre continuamente nuevas superficies de enfriamiento al aire que encuentra. La redistribución asegura una concentración uniforme del agua por la torre durante toda la caída.

Aunque el costo total de una torre atmosférica de enfriamiento es casi el mismo que el de una de tiro mecánico, ciertas limitaciones importantes rigen sus resultados de funcionamiento. Tiene que tener orientado su costado ancho hacia el viento que prevalezca en forma que exponga cierta área.

Cualquier tipo de estructura, colina u otro obstáculo a su alrededor la bloquearán y separarán el viento. Originalmente, la principal objeción a las torres atmosféricas fue la excesiva pérdida del agua rociada durante los periodos de fuertes vientos. Esta alta pérdida era causada porque no había un procedimiento para separar del aire el agua arrastrada en la torre común del tipo de persianas de ventilación.

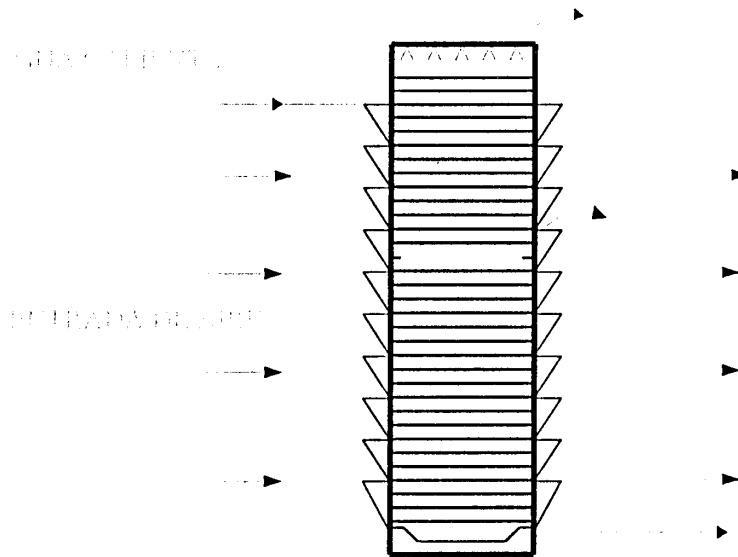


Fig 6 Torre atmosférica de agua

2.8.1.1 Eliminadores de arrastre

Son desviadores colocados adecuadamente en la parte superior de la zona empacada para minimizar las pérdidas de pequeñas cantidades de agua no evaporada, arrastrada en forma de pequeñas gotas por el aire que circula a través del equipo de enfriamiento.

Básicamente, los separadores de gotas forzan a la corriente de aire que sale a efectuar cambios bruscos de dirección. La fuerza centrífuga resultante separa las

gotas del aire y las retiene en los separadores, en donde se forma una fina película de agua que fluya al interior del sistema.

Los separadores de gotas deben ofrecer mínimas resistencia al flujo de aire, mientras retienen máxima humedad al aire que sale. Los materiales utilizados para su construcción varían desde maderas tratadas hasta materiales de hierro galvanizado, aluminio, fibra de vidrio, etc.

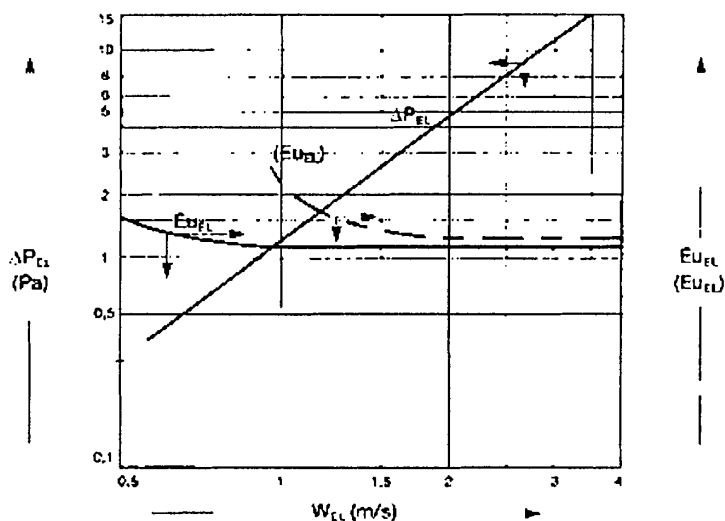


Fig 7 Variación de la presión en la zona de descenso

2.8.1.2. Lumbreras de admisión de aire

Las lumbreras de admisión de aire son diseñadas para distribuir adecuadamente el aire que entra en la unidad y para prevenir las pérdidas de aire.

Cuando el aire circula a baja velocidad con mínima caída de presión, ésta se distribuye adecuadamente sin presentarse el fenómeno de acumulación, en virtud de lo cual, se aumenta la eficiencia de enfriamiento y se reduce la recirculación del aire expulsado por el extractor.

En consecuencia, la mayoría de los fabricantes resuelven ahora este problema incorporando a las persianas eliminadores del tiro. El funcionamiento de este tipo de torres depende de:

2.8.1.2.1 Velocidad del viento. Cuanto más alta es la velocidad del viento, mayor es la cantidad de aire que atraviesa la torre. Esto conduce a un mayor enfriamiento. Sin embargo, cuando aumente la velocidad del viento,

puede aumentarse la concentración y obtenerse todavía igual enfriamiento.

2.8.1.2.2 Altura de la torre. En general, resulta tanto en las torres atmosféricas como en las de tiro mecánico que cuanto mayor sea el rango de enfriamiento y más pequeña la aproximación a la temperatura de bulbo húmedo, mas alta será la torre necesaria para que haya tiempo de contacto suficiente entre el agua y el aire para alcanzar el enfriamiento deseado.

2.8.1.2.3 Temperatura de bulbo húmedo.

Teóricamente, una torre no puede enfriar el agua a temperatura inferior a la de bulbo húmedo que prevalezca. Debido a esta limitación, se convierte en un factor importante la aproximación económica de la temperatura del agua fría a la del bulbo húmedo. El aire tiene mayor capacidad para absorber calor a temperaturas más altas de bulbo húmedo. A temperatura más bajas se tiene dificultad en remover calor, pero se

considera aceptable el enfriamiento del agua de 15.7 a 6.7 °C de la temperatura del bulbo húmedo.

2.8.2 Torres de tiro natural o hiperbólico

Las torres de tiro natural operan de la misma manera que la chimenea de un horno. El aire se calienta en la torre por el agua caliente con el que entra en contacto, de manera que su densidad baja. La diferencia entre la densidad del aire en la torre y en el exterior origina un flujo natural de aire frío en la parte inferior y una expulsión de aire caliente menos denso en la parte superior. Para promover este efecto, las torres de tiro natural deben ser altas y deben tener también sección transversal grande debido a la baja velocidad con que el aire circula comparada con las torres de tiro mecánico.

La forma hiperbólica de la torre realza el ascenso aerodinámico debido a las corrientes de aire que pasan sobre ella, el cual incrementa el flujo volumétrico del aire.

Además de incrementarse el flujo volumétrico de aire, la forma hiperbólica de éste tipo de torre de enfriamiento proporciona una resistencia superior, ya que se necesitan

para su construcción pocos materiales con respecto a otros modelos de torres.

2.8.2.1 Ventajas de las torres de tiro natural

Los ventiladores proporcionan un mejor control del movimiento del aire que las torres de enfriamiento de tiro natural.

2.8.2.2 Desventajas de las torres de tiro natural

La recirculación y la formación de neblina son problemas comunes para las torres de enfriamiento hiperbólicas accionadas con ventiladores.

2.8.3 Torres de tiro mecánico

Hoy en día se usan hoy dos tipos de torres de tiro mecánico: La de tiro forzado y la de tiro inducido. Ambas utilizan un ventilador para remover el aire.

Los ventiladores usados en torres de enfriamiento de tiro mecánico deben mover grandes volúmenes de aire a velocidades relativamente bajas (menores de 2000 rpm) con una caída de presión menor de una pulgada de agua (3). Los ventiladores usados en torres de enfriamiento de

tiro forzado son de tipo centrífugo, mientras que para las torres de tiro inducido son de flujo axial.

La caída del agua es interrumpida por las rejillas del tipo de listones a medida que circula a contracorriente del aire. En la circulación a contracorriente, el agua más fría está en contacto con el aire más seco y la más caliente con el más húmedo. Se obtiene así los mejores resultados de funcionamiento, puesto que la temperatura de toda el agua fría se aproxima a la del bulbo húmedo del aire que entra. Esto no sucedía en las antiguas torres de los tipos de corriente cruzadas y paralelas (o del mismo sentido).

Los resultados del funcionamiento de un tipo determinado de torre de enfriamiento los rige la relación de los pesos del aire, el agua y el tiempo en contacto de éstos elementos.

Si el tiempo de contacto fuera insuficiente, ningún aumento de la relación del aire al agua podrá producir el enfriamiento deseado. Es por tanto necesario que la torre tenga cierta altura mínima. Cuando se requiera temperatura de aproximación de 8° a 11°C a la

temperatura de bulbo húmedo y un rango de enfriamiento de 14° a 20°C bastará una torre relativamente baja.

Será suficiente una torre en la que el agua recorra de 4.5 a 6m desde el sistema de distribución al depósito. Cuando se necesite una aproximación moderada de 4° a 8°C y un rango de enfriamiento de 14° a 20°C será adecuado una torre en la que el agua recorra de 7.5 a 9m. Cuando se quiera una aproximación más estrecha de 2° a 4°C con un rango de enfriamiento de 14° a 20°C se necesitara una torre en la que el agua recorra de 11 a 12m. De hecho, no es económico proyectar una torre con aproximación menor de 2.2°C, pero se puede realizar satisfactoriamente con una torre en el que el agua recorra de 11 a 12m.

2.8.3.2 Torres de tiro inducido

Las torres de tiro inducido usan un ventilador propulsor para extraer el aire a través de la torre mientras que el agua fluye hacia abajo en una configuración de flujo cruzado. El agua fluye por gravedad desde los reservorios de recolección o toberas de dispersión en la parte superior de la torre

luego pasa a través del empaquetado hacia un estanque en la base de la torre. Exceptuando la localización de los ventiladores, las características estructurales y de funcionamiento de los dos tipos de tiro mecánico son en esencia las mismas. La humedad arrastrada se elimina del aire de escape por un eliminador de arrastres que se coloca justamente encima de la cámara de rociado bajo el ventilador. El agua se bombea al distribuidor principal situado en la parte superior de la torre que la reparte a las diversas boquillas o toberas.

El agua es rociada desde arriba de manera semejante a como se hace en los estanques de rociada y se mezcla íntimamente con el aire de escape antes de que caiga a los estanques de abajo.

2.8.3.1 Ventaja de las torres de tiro inducido

1. Alta eficiencia, la mayoría de las torres de tiro inducido están diseñadas para enfriar dentro

de un intervalo de 5 °F de la temperatura de bulbo húmedo.

2. El diseño le permite al aire fluir a una velocidad relativamente alta, impidiendo la contención del flujo de aire húmedo.
3. Más económico que las torres de tiro natural para flujos de agua menores que 19200 galones por minuto (gpm).

2.8.3.2.1 Desventajas de las torres de tiro inducido

1. Se requiere de un ventilador, Este es el costo de operación más grande de la torre de enfriamiento.
2. El diseño del aire inducido ubica al ventilador en la parte superior de la torre. Esto conduce a problemas de estructura y a la formación de ruidos.

2.8.3.2 Torres de tiro forzado

La mayoría de las torres de tiro forzado usan ventiladores centrífugos a la entrada de la torre para forzar el aire hacia arriba a través de l torre

mientras que el agua fluye hacia abajo a través del relleno en una configuración de contraflujo, es decir, que el flujo de aire es paralelo y opuesto en la dirección del flujo de agua siendo enfriado. Esto da como resultado una eficiencia térmica más grande que el diseño de flujo cruzado.

Los ventiladores centrífugos están formados por un impulsor, el cual gira dentro de una carcasa en forma de voluta y es forzado a salir tan pronto como abandona la paleta. En conclusión, el aire entra en forma axial, gira en ángulo recto a través de las aletas y es descargado en forma radial.

2.8.3.2.1 Ventajas de las torres de tiro forzado

1. Pueden operar a velocidades más altas que las torres de contraflujo. Esto conduce a consumo de potencia más bajo.
2. Las torres de flujo cruzado son construidas con bases más anchas y más cortas que las torres de contraflujo. Esto conduce a consumo de bombeo más bajo.

3. Son de fácil de mantenimiento.

2.8.3.2.2 Desventajas de las torres de tiro forzado

1. El aire circula a través de una trayectoria más corta que las torres de contraflujo. Esto nos lleva a tener una eficiencia térmica más baja.
2. El aire más frío no entra en contacto con el agua más fría. Esto nos lleva a tener una eficiencia térmica más baja.

2.9. Elementos formadores de residuos

El proceso de formación de escamas y de corrosión son similares, porque ambos se producen por los cambios en el enlace molecular de la dureza en el agua. Este cambio ocurre cuando los iones cargados positivamente, tales como el calcio, magnesio, e hierro se combinan con los iones cargados negativamente tales como sulfatos, silicio, y oxígeno. Una vez que éstos se combinan forman nuevos compuestos que cada vez mas hacen difícil al agua mantenerse en la solución. Cuando se introduce calor, el agua pierde la poca habilidad que le queda para mantener éstos compuestos en solución y ocurre

la acumulación. Esta acumulación promueve la formación de escamas y corrosión.

Las torres de enfriamiento y sistemas de condensación son muy vulnerables a la formación de corrosión, formación de escamas, y a la formación de protuberancias debido a lo siguiente:

- Saturación de oxígeno disuelto en el agua de reposición
- Corrosión galvánica causado por metales disímiles en el sistema
- Corrosión en lugares puntuales causado por la acumulación de elementos
- Formación de deposito de escamas debido a la circulación cíclica de minerales en el sistema
- Formación de contaminantes en los lugares de admisión de aire causando acumulación
- Condiciones ideales para la formación de algas, hongos, y bacterias.

2.10. Prevención contra la formación de escamas

La formación de escamas es causada por minerales disueltos en el sistema de reposición de agua de la torre de enfriamiento. El principal compuesto de formación de escamas es el carbonato de calcio, el cual tiene una solubilidad de alrededor de 15 ppm y esta formado por la descomposición del carbonato de calcio. La cantidad máxima de bicarbonato de calcio que está presente en la solución depende de la temperatura y del contenido de bióxido

de carbono libre del agua. Aumentando la temperatura o disminuyendo el bióxido de carbono libre a su punto de equilibrio formará la deposición de escamas. Si se añaden agentes (tales como ácido sulfúrico) para convertir una porción del bicarbonato de calcio en sulfato de calcio, la concentración resultante de sulfato de calcio no debería exceder 1200 ppm (expresados como CaCO_3). Por otro lado, las escamas de sulfato pueden comenzar a formarse, la cual es muy densa y bastante difícil de remover. El agua evaporada que sale de la torre es agua pura, así, la concentración de minerales de agua que queda rezagada se incrementa. Es importante realizar extracciones de minerales formadores de escamas desde el sistema de reposición antes de que se puedan concentrar en el punto de formación de depósitos. El proceso de pérdida controlada de agua a partir de la torre para impedir la formación de escamas se llama extracción de agua o sangrado.

La ecuación de Langelier puede ser usada para determinar la estabilidad del carbonato, o las propiedades corrosivas del agua de enfriamiento para una temperatura específica cuando los sólidos disueltos, el contenido de calcio total, la alcalinidad total, y los valores de pH sean conocidos.

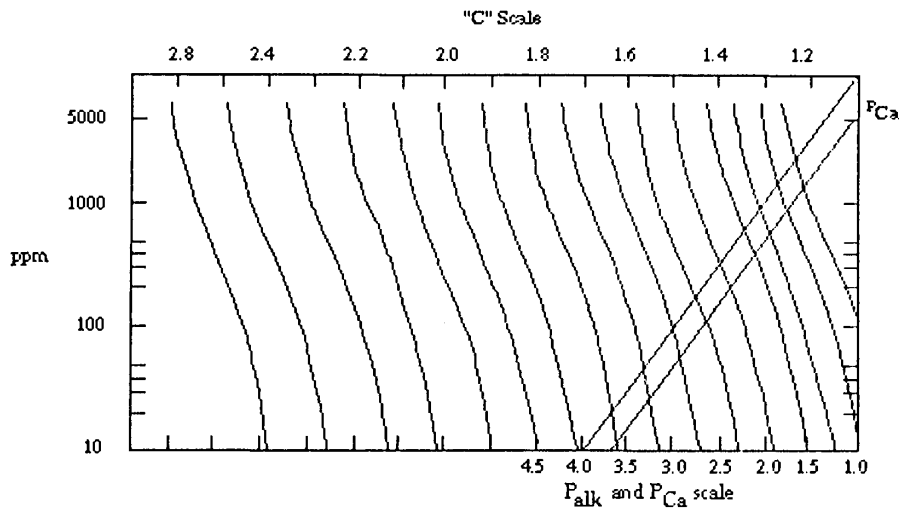


Fig 8 Variación de la concentración del agua

Se ha estimado que una torre que aporta con 43 ton bajo condiciones estacionarias evapora un galón de agua cada minuto- 60 galones por hora. Si se asume que el agua de reposición que entra al sistema es de 10 granos por millón y que tanto los colectores de recepción de agua a la entrada como a la salida de la torre son de 60 galones, si no hubiere extracción o sangrado, la dureza del agua sería el doble cada hora. Las escamas comenzarían a formarse en el intercambiador de calor en una o dos horas. 2 libras de escamas se acumularan cada día, 14 libras en una semana, 60 libras al mes, 730 libras al año , y así sucesivamente.

La formación de depósitos de escamas dará como resultado en una pérdida en la eficiencia de la transferencia de enfriamiento, viéndose reflejado

directamente en los costos de enfriamiento. El agua sin tratamiento contiene cantidades variables de sales minerales tales como calcio, magnesio, hierro y silicio.

2.11 Corrosión por picaduras

La corrosión por picaduras en su forma más común empieza cuando el oxígeno se concentra sobre las superficies del metal y crea celdas de potencial de oxígeno diferencial. Una celda eléctricamente desbalanceada causa un flujo de electrones negativos. Posteriormente éstos iones de hierro forman cargas positivas desbalanceadas y buscan combinarse con iones OH negativos. Estos forman óxidos de hierro y herrumbre.

También existe corrosión por pérdida de metal base el cual ocurre cuando no existe un recubrimiento protector entre el metal y el agua. Para poder desarrollar un recubrimiento protector, la superficie del metal debe estar limpia, y el sistema debe tener alta alcalinidad y alto pH.

Aunque la calidad del aire en cualquier sitio en particular puede ser la causa de factores adversos tanto para la vida útil de las torres de enfriamiento como su habilidad para operar térmicamente, aquello mismo quizás pone de manifiesto un inesperado e indeseable cambio en la calidad del agua. Esto se debe a que las torres de enfriamiento tienen una fuerte tendencia de limpiar el aire. Los avances tecnológicos, además de mejorar el

funcionamiento térmico de la torre también sirven para incrementar su eficiencia para limpiar el aire. Por consiguiente, la calidad del agua siendo circulada sobre una torre, rápidamente refleja la calidad del aire con la cual está en contacto. Por lo tanto se da por hecho que el aire a la salida de la torre estará mucho más limpio que su estado en el cual entró.

Esta limpieza constante del aire entrante mas las características de base del suministro de agua de reposición son los parámetros que establecen la calidad determinante del flujo de agua en movimiento continuo, que se complica por el hecho de que el proceso de evaporación tiene la habilidad de causar renovados niveles de contaminación que se concentran de manera abrumadora.

A fin de establecer una base para la utilización de materiales de construcción standard se han definido las siguientes condiciones para el agua "normal":

Agua circulante con un pH entre 6 y 8; un contenido de cloro (como NaCl) menor a 750 ppm; un contenido de sulfato (SO₄), un contenido de bicarbonato de sodio (NaHCO₃) menor a 200 ppm; una temperatura máxima de 120°F, no se admite para nuestro caso una contaminación significativa con químicos no tradicionales o sustancias ajenas: y un tratamiento adecuado de agua para minimizar la corrosión y la formación de escama.

Si se usa cloro, debe estar libre de residuos, añadir de modo intermitente y en periodos cortos que no exceda 1 ppm. Para las condiciones que no están dentro de éstos límites, se tendrá que hacer otro tipo de análisis del efecto combinado sobre cada material que compone la torre. En muchos casos se encontró que muy pocos componentes requieren cambios de materiales. Los componentes plásticos y los compuestos de madera por ejemplo resisten bien los excesos de los componentes químicos que están demás. Por el contrario los elementos de aceros al carbono no toleran estos excesos.

2.12 Eliminación o purga de agua

Como se indicó anteriormente, el agua de evaporación a la salida de la torre en un estado de vapor de agua puro deja atrás toda su carga de sólidos disueltos para concentrarse en la masa de agua recirculante. Si no se realizó ningún control, el nivel de sólidos disueltos en el agua circulante se incrementará tremendamente comprometiendo no solamente a la torre de enfriamiento sino también al intercambiador de calor, y a todos los componentes relacionados a los circuitos de agua.

Un método apropiado para controlar las concentraciones de sólidos disueltos se llama "eliminación", para controlar la formación de sólidos disueltos dentro del agua de enfriamiento, debe de aplicarse una extracción continua de agua para desecharla del sistema de circulación, desde un punto mas alto

que el nivel de agua estático, a una rapidez de aproximadamente el 20% de la reposición que se aplica cada hora debido a las pérdidas por evaporación para suministros de agua que son clasificadas como dura. Para suministros de agua naturalmente blandas, o ablandadas artificialmente la rapidez puede ser reducida a un 10%.

La carga de calor se define como: $(\text{GPM} \times 8.33 \times \text{rango de enfriamiento}) = \text{BTU}$ por minuto. El nivel aproximado en la cual los contaminantes pueden concentrarse en el agua circulante está determinada por la siguiente fórmula:

$$C = (E + D + B) / (D + B)$$

Donde: E= rapidez de evaporación en GPM (si no se la conoce de manera exacta, la evaporación puede ser aproximada multiplicando el flujo de agua total en GPM por el rango de enfriamiento por 0.0008).

D = Rapidez de pérdida de flujo en GPM (si no se la conoce de manera exacta, la rapidez de pérdida de flujo puede ser aproximada multiplicando el flujo de agua total en GPM por 0.0002).

B = rapidez de eliminación, GPM.

Sin embargo, como se puede predeterminar el nivel de concentración, el operador está más interesado en la cantidad de eliminación necesaria para mantener aquella concentración, por lo tanto se usa la siguiente fórmula:

$$B = (E - [(C-1) * D]) / (C-1)$$

2.13. Determinación de niveles aceptables de corrosión

No es posible tener cero corrosión en cualquier sistema. Así, el ritmo de crecimiento de formación de corrosión debe ser comparado con respecto a la vida proyectada del equipo para determinar si son o no aceptables.

Tabla 1

Características Corrosivas Clasificados por Indices			
Características Corrosivas	Indice de Langelier	Indice Agresivo	Indice de Fuerza Motriz
Altamente Agresivo	< 2.0	<10.0	<0.01
Moderadamente agresivo	2.0 a 10.0	10.0a 12.0	0.01 a 1
No Agresivo	>0.0	>12.0	>1
*Son valores aproximados			

A menudo, las rapidezces de formación de corrosión son incongruentes, por ejemplo, si se examina un condensador típico, el cual tiene un tubo de acero de bajo carbono y cobre admiralty presentes. En este ejemplo, el sistema tiene 0.5 pulgadas de espesor de pared y los tubos del elemento enfriador 0.035 pulgadas de espesor de pared. A una rapidez de corrosión de 0.1 mil/año, la vida media del admiralty sería de 175 años. Los metales y la cañería excederán el tiempo de vida de utilidad del sistema.

2.14. Prevención contra la formación de protuberancias

Los microorganismos, algas, hongos y bacterias causan problemas al equipo. Todos los ingredientes necesarios para el crecimiento biológico tales como la humedad, calentamiento, oscuridad, claridad, nutrientes están presentes en un sistema de circulación abierto. Los organismos pueden corroer metales, descomponer la madera, y obstruir los intercambiadores de calor y generalmente promueven la formación de suciedad.

Dentro del equipo, las algas no viven mucho tiempo. Son simples plantas que se desarrollan en un ambiente cálido, en el que halla suficiente oxígeno, luz solar y agua; la cual contiene nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo. Las algas contienen clorofila y son usualmente de color verde. Crecen en áreas expuestas a la luz solar, aunque en lo posible éstas áreas expuestas deberían estar techadas.

Las bacterias y hongos consumen polen, solventes, y polvos orgánicos a través del aire hasta la torre. Sin embargo, el aire sucio no necesariamente promueve su crecimiento. Los organismos pueden vivir lo suficiente sobre algas muertas. El objeto de cada programa de prevención es inhibir el crecimiento biológico manteniendo condiciones de rechazo entre ellas. El desafío es entonces inhibir cualquier crecimiento visible. Se han creado agentes activos superficiales que reducen la formación de algas, bacterias, y

hongos e impide a los materiales externos entrar a la célula y a los materiales internos le impide filtrarse. El metabolismo de la célula se rompe y muere.

Sin considerar la cuestión técnica en el proceso de operación de una torre, se puede tener otro tipo de problemas precisamente por la acumulación de agentes externos ajenos al proceso. Durante la operación normal del agua de una torre se forman aerosoles, los cuales son llevados por el ambiente a través de la salida de la torre. Si el mal de Legionella o Legionnaires que es una bacteria que está presente en el agua de la torre, la inhalación del aerosol (gotitas muy finas de agua) puede causar una infección que tiene síntomas similares a la neumonía. Existen mas de veinte especies de Legionella de las cuales la Legionella pneumophilia es la responsable de la mayoría de los casos. La infección no se transmite por contagio ni se la adquiere a través del agua que contiene la bacteria. Las bacterias están ampliamente distribuidas en el ambiente a una temperatura entre 20°C y 45°C y han sido encontradas en esteros, ríos y en ciertos sedimentos.

Análisis comparativo en el tratamiento de agua de la torre de enfriamiento

Con tratamiento químico

Alto costo recurrente de químicos
 Promueve la contaminación
 Formación de corrosión
 Requiere de inhibidores de escamas
 Mantenimiento frecuente
 Riesgo para la salud
 Operación eficiente-regular-pobre

Con ozono

Sólo se presupuesta por una sola vez
 Libre de contaminación
 Reduce la corrosión
 Reduce la formación de escamas
 Bajo mantenimiento
 Reduce riesgo de salud
 Operación eficiente-buena-excelente

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

3.1 Planteamiento del problema

El sistema de enfriamiento se diseñará para un flujo de agua de 15 kg / seg con una temperatura de bulbo húmedo de 24° C y una temperatura de bulbo seco 30°C. Para ello, además se necesita conocer para el proceso de enfriamiento lo siguiente.

Temperatura del agua a la entrada de la torre

Temperatura del agua a la salida de la torre

Localización con respecto al nivel del mar

Todos los valores anteriores conocidos deberán proporcionar entre otros parámetros el flujo mínimo de aire que se necesita para operar.

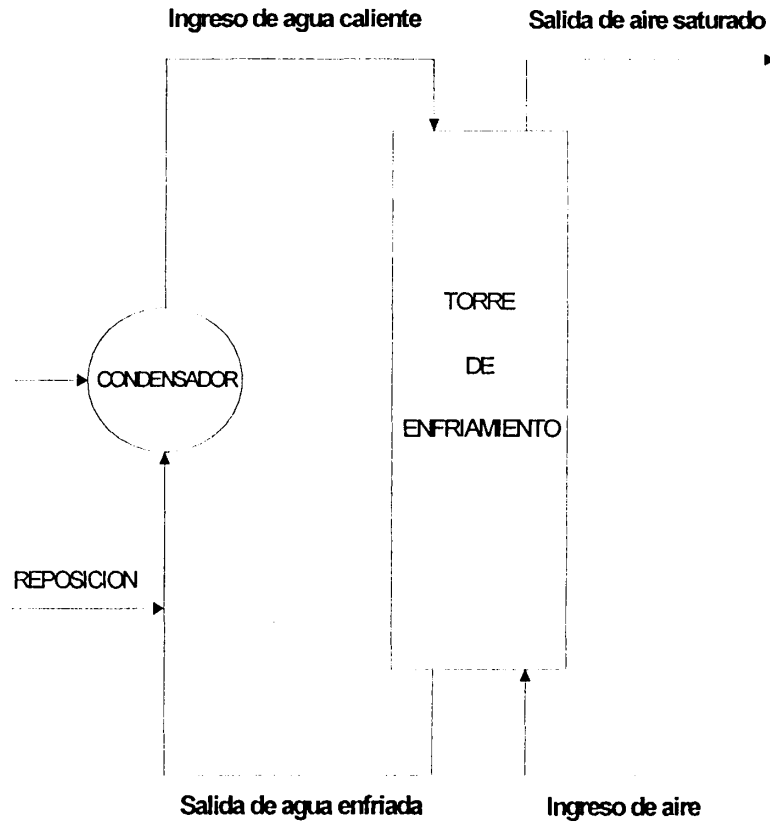


Fig. 9 Esquema de funcionamiento de la torre

3.2 Cálculo de propiedades de la mezcla en el sistema de enfriamiento

Primero se calcula la humedad específica de la mezcla a la entrada de la torre, se lo obtiene tomando como datos de entrada del programa $T_{W1}=24\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_D=30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\psi_1 = 0.019 \text{ Kg de agua / Kg de aire}$$

Para determinar la entalpía del aire a la entrada de la torre se lo obtiene a partir de las ecuaciones de humidificación, conociendo de antemano la temperatura del bulbo seco y la temperatura del bulbo húmedo del aire a la entrada.

$$H_1 = 1005 + C_p * (T_G - T_{REF}) + \lambda * \psi_1 \quad (\text{Ec.3.1})$$

En donde;

$$C_p = 1884$$

$$T_G = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{REF} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 2500800 - 2370 * T_{D1}$$

$$\psi_1 = 0.019 \text{ Kg agua / kg aire}$$

$$H_1 = 78.130 \text{ KJ/Kg}$$

Para determinar la humedad del aire a la salida de la torre se asume la temperatura de salida del aire en la torre. Se considera además, que éste volumen de aire saliente tiene una temperatura menor que la temperatura del agua a la entrada de la torre.

Conociendo el valor de la temperatura de salida, asumiendo que la presión local se mantiene constante se obtiene que:

$$\psi_2 = 0.052 \text{ Kg agua / kg aire}$$

Una vez determinada la humedad del aire a la salida de la torre y conociendo que el calor de vaporización del aire cambia con la temperatura se obtiene :

$$H_2 = 1005 + C_p * (T_W - T_{REF}) + \lambda * \psi_2 \quad (\text{Ec 3.2})$$

En donde;

$$C_p = 1884$$

$$T_{W2} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{REF} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 2500800 - 2370 * T_{W2}$$

$$\psi_2 = 0.052 \text{ Kg agua / kg aire}$$

$$H_2 = 168.499 \text{ KJ/Kg}$$

3.3 Ecuaciones para el diseño de la torre

Otro modo de averiguar que tan bien la torre puede remover calor proveniente del agua es a través de un balance de energía sobre el sistema. Este paso permitirá conocer otro tipo de información aunque dos de ellas son de nuestro interés. El primero es si la torre le permite a la energía escapar del proceso o entrar en él. Para este caso es cierto para la torre tener que la energía abandone la misma porque el propósito de la torre es

que la energía abandone la torre. Si la energía entra en la torre, entonces es contraproducente para el proceso y la torre debería estar aislada. El segundo punto de interés es saber cuanta energía se libera del agua cuando el flujo másico de agua no es constante. Se necesita de éste balance de energía para probar uno de los parámetros de la torre de enfriamiento: el flujo másico de agua.

Para obtener el calor removido por el condensador se procede de la siguiente manera:

$$Q=L \cdot C_L \cdot (T_{L2}-T_{L1}) \quad \text{ec (3-3)}$$

en donde;

$$L= 15 \text{ kg/seg}$$

$$C_L= 4.187 \text{ KJ / Kg-}^\circ\text{C}$$

$$T_{L2}=45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{L1}=29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q=15 \cdot 4.187 \cdot (45-29)$$

$$Q=1004.88 \text{ Kilovatios}$$

Podemos usar la temperatura de aproximación y el rango de enfriamiento para examinar todos los otros parámetros, excepto el flujo másico de agua ya que la temperatura del agua a la entrada también variará. Esto hace que la energía que se desprende del agua no solamente sea proporcional a la

temperatura de aproximación y a la rapidez de enfriamiento sino también a la rapidez de flujo másico de agua mismo. Usando un balance de energía, ésta rapidez de flujo másico de agua variable será tomada en cuenta en los cálculos.

Para hacer un balance de energía sobre el sistema, deberán encontrarse los flujos másicos de todas las corrientes. Se suele usar un medidor orificio para comparar la caída de presión a través de la abertura de la parte superior de la torre con respecto al flujo másico de aire seco:

$$m_y = 0.017 \left(\frac{X}{v_{ysal}} \right)^{0.5} \quad \text{Ec. (3-4)}$$

Donde

m_y : flujo másico de aire seco (kg/seg)

X : Diferencial de orificio (mm de agua)

v_{ysale} : volumen húmedo específico del aire saliente (m^3 / seg)

El volumen húmedo específico del aire saliente puede obtenerse usando la forma reducida de la ley del gas ideal.

$$v_{ysal} = (1/29 + H_{ysal}/18) * 2.45 \quad \text{Ec. (3-5)}$$

Donde

v_{ysale} = volumen húmedo específico del aire saliente (m^3 /kg)

H_{ysale} = humedad específica del aire saliente (kg de agua / kg de aire seco)

Considerando un diferencial de orificio de 10 mm de agua y un volumen específico de la mezcla a la salida de la torre de 0.913 kg / m^3 , resultado de los datos anteriormente ingresados, obtenemos un flujo de aire seco de 0.0453 kg / seg .

Este flujo másico no cambiará a través de la columna porque está basado sobre una cantidad de aire seco. El caudal de agua entrante puede leerse en un rotámetro, pero a diferencia del aire, el flujo de agua cambiará a través de la columna debido a la evaporación de alguna parte del agua. Por lo tanto, la siguiente ecuación se usa para calcular la rapidez de flujo másico de agua saliente:

$$m_{x\text{sale}} = m_{x\text{entra}} - \Delta m_{\text{repos}} / \Delta t \quad \text{Ec. (3 - 6)}$$

Donde

$m_{x\text{sale}}$ = rapidez de flujo másico de agua saliente (kg / seg)

$m_{x\text{entra}}$ = rapidez de flujo másico de agua entrante (kg / seg)

Δm_{repos} = masa de agua de reposición añadida al sistema (kg)

Δt = intervalo de tiempo sobre el cual el agua de reposición fue añadido (s).

Además se necesitan las entalpías de cada etapa para completar el balance de energía. Las entalpías del agua son fácilmente encontradas multiplicando

la capacidad de calor del agua por la diferencia entre la temperatura del agua y la temperatura de referencia.

$$H_{xentra} = C_{pl} (T_{L2} - T_{ref}) \quad \text{ec. (3-7)}$$

$$H_{xsale} = C_{pl} (T_{L1} - T_{ref}) \quad \text{ec. (3-8)}$$

Donde

H_{xentra} = entalpía del agua entrante (kJ / kg)

C_{pl} = capacidad calorífica del agua (kJ / kg)

T_{L2} = temperatura del agua entrante (° C)

T_{ref} = Temperatura de referencia (° C)

H_{xsale} = entalpía del agua saliente (kJ / kg)

T_{L1} = temperatura de agua a la salida (° C)

Para calcular la entalpía de la corriente de aire, la capacidad calorífica está basada sobre una cantidad de aire seco que debe ser determinada. Estas capacidades caloríficas están basados en la humedad de cada corriente de aire la cual puede ser determinada usando las temperaturas de bulbo húmedo y seco de la corriente de aire. Usando éstas humedades, las capacidades caloríficas son determinadas con las siguientes ecuaciones:

$$C_{pysale} = (0.558 + 1.046 H_{ysale}) \quad \text{ec. (3-9)}$$

$$C_{pyentra} = (0.558 + 1.046 H_{yentra}) \quad \text{ec. (3-10)}$$

Donde $C_{pyentra}$ capacidad calorífica del aire entrante (kJ / kg°C).

H_{yentra} =humedad específica del aire a la entrada (kg de agua / kg de aire seco)

C_{pysale} = capacidad calorífica del aire a la salida (kJ /kg – °C).

H_{ysale} =humedad específica del aire a la salida (kg de agua / kg de aire seco)

Usando las capacidades y humedades para cada corriente de aire, las entalpías de cada corriente son calculados como sigue:

$$H_{yentra} = C_{pyentra} (T_{yentra} - T_{ref}) + \lambda H_{yentra} \quad \text{ec. (3-11)}$$

$$H_{ysale} = C_{pysale} (T_{ysale} - T_{ref}) + \lambda H_{ysale} \quad \text{ec. (3-12)}$$

Donde

H_{yentra} : entalpía del aire a la entrada (kJ / kg de aire seco)

T_{yentra} : Temperatura del aire a la entrada de la torre (°C)

T_{ref} : Temperatura de referencia (0 °C)

λ : calor de vaporización para agua a (0 °C)

H_{ysale} : entalpía del aire a la salida de la torre (kJ /kg de aire seco)

T_{ysale} : Temperatura de agua a la salida de la torre (°C)

El paso final para un balance de energía del sistema es restando la energía externa del sistema de la energía proveniente del interior del sistema como sigue:

$$m_y H_{yentra} + m_{xentra} H_{xentra} - m_y H_{ysale} - m_{xsale} H_{xsale} = Q_s \quad \text{ec. (3-13)}$$

Donde m_y rapidez de flujo másico de aire seco (kg/ seg)

H_{yentra} entalpía del aire a la entrada (kJ /kg de aire seco)

m_{xentra} : rapidez de flujo másico de agua a la entrada (kg /seg)

H_{xentra} : entalpía del agua a la entrada (kJ / kg de aire seco)

H_{ysale} : entalpía del aire a la salida (kJ / kg de aire seco)

m_{xsale} : rapidez de flujo másico de agua a la salida (kg/seg)

H_{xsale} : entalpía del agua a la salida (kJ / kg de aire seco)

Q_s : energía que sale del sistema (kJ /seg)

Con la información anterior obtenemos la energía que se desprende del sistema

Como sigue :

$$Q_s = 0.0453*78.130 + 15*188.41 - 0.0453*168.499 - 14.622*121.423$$

$$Q_s = 1046.27 \text{ Kilovatios}$$

Para encontrar la cantidad exacta de energía que se desprende del agua, la energía del agua a la salida se resta de la energía del agua a la entrada como sigue:

$$m_{xentra}H_{xentra} - m_{xsale}H_{xsale} = Q_w \quad \text{ec. (3-14)}$$

Donde m_{xentra} : rapidez de flujo másico de agua a la entrada (kg /seg)

H_{xentra} : entalpía del agua a la entrada (kJ / kg de aire seco)

$m_{x\text{sale}}$: rapidez de flujo másico de agua a la salida (kg/seg)

$H_{x\text{sale}}$: entalpía del agua a la salida (kJ / kg de aire seco)

Q_w : energía que se desprende del agua (kJ /seg)

Asimismo se procede a obtener la cantidad de energía que se desprende del agua tomando en consideración los parámetros anteriores.

$$Q_w = 15 * 188.41 - 14.622 * 121.423$$

$$Q_w = 1050.37 \text{ Kilovatios}$$

El rango de enfriamiento es igual a $(T_{L2} - T_{L1})$ °F y es usada para calcular hasta dónde la temperatura del agua puede cambiar, pero no es una buena definición de eficiencia para la torre, y la aproximación es igual a $(T_{L1} - T_{W1})$ que está definida como la diferencia entre la temperatura del agua existente y la temperatura del bulbo húmedo que ingresa para el aire que ingresa, que reemplazados en la expresión propuesta quedará :

$$\varepsilon = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{T_{L2} - T_{L1} + T_{L1} - T_{W1}} * 100 = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{T_{L2} - T_{W1}} * 100 \quad \text{ec. (3-15)}$$

Esta última expresión pone de manifiesto que el rango de enfriamiento y la aproximación definen los límites del rendimiento de una torre dada. Es decir, que si el agua se enfriara en una instalación ideal, la mínima temperatura que

podría alcanzar sería la temperatura del bulbo húmedo, es decir, $T_{L1} = T_{W1}$ con lo que se obtendría una eficiencia máxima.

Tomando en cuenta los datos de entrada, el rango de enfriamiento es :

$$\varepsilon = ((45 - 29) / (45 - 24)) * 100$$

$$\varepsilon = 76.19 \%$$

La eficiencia de enfriamiento puede ser mejorada aumentando el tiempo de contacto del agua con el aire, lo cual se logra aumentando.

- a.- La cantidad de empaquetadura
- b.- La altura de la torre
- c.- El área de la sección transversal

Por otra parte, la eficiencia de enfriamiento de cualquier torre dada varía con el flujo específico del agua que circula (L'). Se ha determinado experimentalmente que el máximo contacto y rendimiento son obtenidos en una torre por la que circula un flujo específico .

Una vez analizados los tipos de torres de enfriamiento se puede concluir que el tipo inducido permite mejor distribución del aire y mayor eficiencia de enfriamiento. El tiro forzado permite el uso de ventiladores menos costosos y de fácil mantenimiento. El flujo cruzado permite bajas alturas y menor costo

de bombeo de agua y el flujo en contracorriente provee mayor eficiencia de enfriamiento.

3.3.1 Eficiencia y característica de las torres de enfriamiento

La eficiencia de las torres de enfriamiento de éstas unidades está dada en general por la siguiente relación (3):

$$\varepsilon = \frac{\text{enfriamiento real}}{\text{enfriamiento ideal}} * 100 \quad \text{ec. (3-16)}$$

El enfriamiento real esta dado por el rango de enfriamiento, y el enfriamiento ideal está dado por la suma del rango de enfriamiento y la aproximación.

La temperatura y el rango de enfriamiento son útiles en parámetros donde el flujo másico del agua no cambia considerablemente a través del ensayo. Como el caudal no cambia de modo considerable, la energía que sale del agua es proporcional al rango de enfriamiento, y la eficiencia a la cual la energía sale es proporcional a la temperatura de aproximación.

La temperatura de aproximación y el rango de enfriamiento serán usados posteriormente para evaluar el efecto de flujo másico de aire, la carga de enfriamiento, la carga de

precalentamiento de aire, la temperatura del agua, y la humedad del aire. Cambiando solo una de estas variables y manteniendo las otras constantes, solo se puede conocer el efecto de esa sola variable. Usando el rango de enfriamiento y la temperatura de aproximación podemos encontrar donde la torre trabaja mejor para aquel parámetro.

El rango de enfriamiento debería ser maximizado, porque a mayor rango de enfriamiento, se tiene una temperatura más baja del agua en la torre. La temperatura de aproximación debería ser minimizado, porque a menor temperatura de aproximación, se tiene una mayor columna.

En cuanto a la característica de la torre. Este movimiento de calor puede ser modelado con una relación conocida como la Ecuación de Merkel:

$$\frac{KaV}{L} = \int_{T_{l,1}}^{T_2} \frac{h_w - h}{T_{l,2} - T_{l,1}} \quad \text{Ec. (3-17)}$$

Donde:

KaV/L = característica de la torre

K = coeficiente de transferencia de masa

V = volumen de enfriamiento activo / área definida

L = flujo de agua

T_{L2} = temperatura de agua caliente

T_{L1} = temperatura de agua fría

T_i = temperatura de agua en cualquier lugar de sistema

h_w = entalpía de la mezcla aire- agua a la temperatura correspondiente a T_i .

h = entalpía de la mezcla aire - agua a la temperatura de bulbo húmedo .

Desde el punto de vista termodinámico, se dice que el calor removido del agua debe ser igual al calor absorbido por el aire circundante.

$$L(T_{L2} - T_{L1}) = G(h_2 - h_1)$$

$$\frac{L}{G} = \frac{h_2 - h_1}{T_{L2} - T_{L1}} Ec(3-18)$$

Donde

L/G = relación de flujo de líquido a gas

T_{L2} = temperatura de agua caliente

T_{L1} = temperatura de agua fría

h_w = entalpía de la mezcla aire - agua a la temperatura

correspondiente T_i .

h = entalpía de la mezcla aire - agua a la temperatura de bulbo húmedo.

El valor de la característica de la torre puede ser calculada resolviendo la ecuación de Merkel con el método numérico de Chebyshev:

Por lo tanto se determina el valor de la característica de la torre de la siguiente forma

$$\frac{KaV}{L} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{h_w - h} = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{4} \left(\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} \right) \quad \text{Ec (3-19)}$$

Por la aproximación de Tchevishev se tiene :

$$A = (T_{L2} - T_{L1}) / 4 * (1 / \Delta h_1 + 1 / \Delta h_2 + 1 / \Delta h_3 + 1 / \Delta h_4)$$

Donde:

$$\Delta h_1 = \text{valor de } h^* - h_1 \text{ a } T_{L1} + 0.1(T_{L2} - T_{L1})$$

$$\Delta h_2 = \text{valor de } h^* - h_2 \text{ a } T_{L1} + 0.4(T_{L2} - T_{L1})$$

$$\Delta h_3 = \text{valor de } h^* - h_3 \text{ a } T_{L2} - 0.4(T_{L2} - T_{L1})$$

$$\Delta h_4 = \text{valor de } h^* - h_4 \text{ a } T_{L2} - 0.1(T_{L2} - T_{L1})$$

Evaluando se obtiene ;

$$\Delta h_1 = T_1 + 0.1 (T_{L2} - T_{L1})$$

$$\Delta h_1 = 29 + 0.1 * (45-29)$$

$$\Delta h_1 = 30.6 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$\Delta h_2 = T_1 + 0.4 (T_{L2} - T_{L1})$$

$$\Delta h_2 = 29 + 0.4 * (45 - 29)$$

$$\Delta h_2 = 35.4 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$\Delta h_3 = T_2 - 0.4 (T_{L2} - T_{L1})$$

$$\Delta h_3 = 45 - 0.4 * (45-29)$$

$$\Delta h_3 = 38.6 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$\Delta h_4 = T_2 - 0.1 (T_{L2} - T_{L1})$$

$$\Delta h_4 = 45 - 0.1 * (45-29)$$

$$\Delta h_4 = 43.4 \text{ }^\circ\text{C.}$$

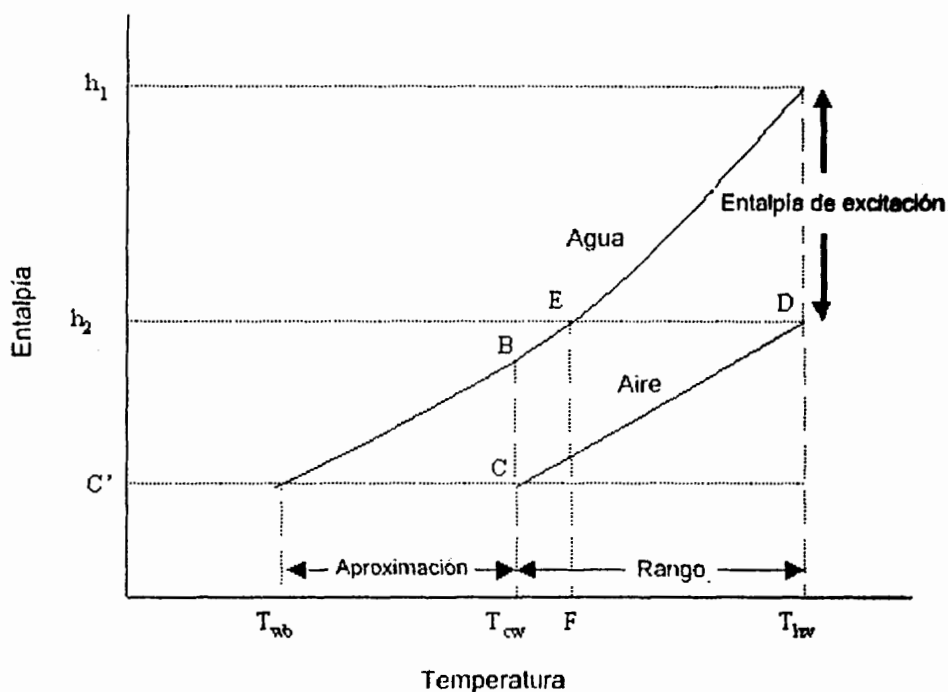


Fig. 10 Comportamiento de la mezcla en el sistema de enfriamiento

El gráfico nos indica:

C' = entalpía del aire a la entrada a la temperatura de bulbo húmedo T_w

BC= entalpía inicial de fuerza impulsora

CD= línea de operación del aire con pendiente L/G

DEF= proyección del aire saliente sobre la línea de operación del agua y sobre el eje de temperatura que muestra la temperatura del bulbo húmedo del aire a la salida.

Como se encontró en la ecuación de Merkel, encontrando el área entre ABCD del gráfico, podemos encontrar la característica de la torre. Un

incremento en la carga de calor tendrá los siguientes efectos sobre el diagrama de la figura:

1. Con incrementos de la longitud de la línea CD, la línea CD cambiará a la derecha.
2. Incrementos de las temperaturas de agua caliente y agua fría
3. Incrementos en las áreas del rango de enfriamiento y la temperatura de aproximación.

Se produce un aumento de la carga de calor debido a un aumento de la temperatura del agua caliente que por una disminución de la misma en el área comprendida entre la línea de operación del aire y la línea de operación del agua en el equilibrio, en realidad por encima de los $37.77\text{ }^{\circ}\text{C}$, disminuye 2% por cada 5.5°C de aumento de la temperatura de agua caliente. Para dar cuenta de ésta disminución, se usa en el diseño de una torre de enfriamiento una "temperatura ajustada de agua caliente".

Se espera que cambie el área encerrada por las líneas de operación de los fluidos cuando cambie la relación L/G , este es un factor importante en el diseño de torres de enfriamiento.

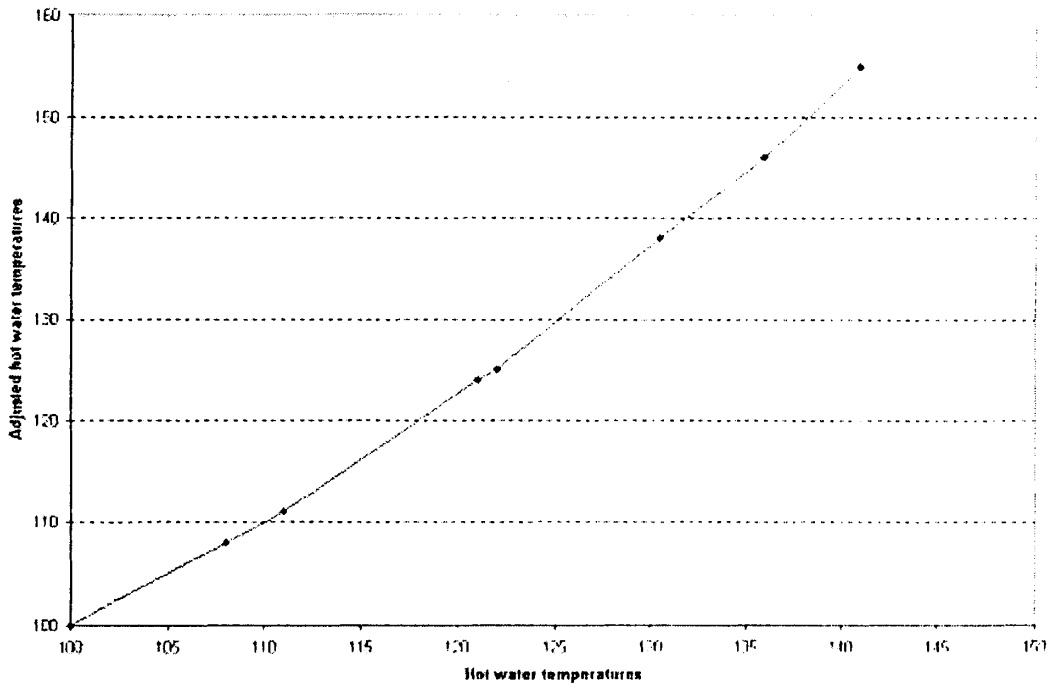


Fig. 11 Ajuste de temperatura de agua caliente

En un enfriador de agua como es el caso de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente, la transferencia de calor toma lugar a través del agua a la interface, por lo tanto para nuestro caso si tomamos pendientes negativas iguales a través tanto de la línea de saturación como la línea de operación, las temperaturas intersectadas en ambas líneas tienen un valor significativo.

3.3.2 Ecuación para determinar el flujo de aire que circula por la torre

Para obtener la expresión que permita calcular el valor del flujo másico G_s , se parte del análisis anterior.

Si reordenamos el valor E obtenido y luego se despeja G_s , se obtiene lo deseado:

$$G = \frac{E}{(Y'_s - Y'_1)} \quad \text{ec. (3-20)} \quad \text{y reemplazando } E \text{ queda:}$$

$$G_s = \frac{\frac{Q}{Y'_s - Y'_1} - C_M(T_M - T_0)}{Y'_s - Y'_1} = \frac{Q}{(H'_2 - H'_1) - C_M(T_M - T_0)(Y'_s - Y'_1)} \quad \text{ec. (3-21)}$$

3.3.2.1 Determinación del flujo de aire que circula por la torre

Teniendo en cuenta que los valores de saturación de la entalpía forman una curva que son los valores del aire saturado a la temperatura del agua y los que se pueden considerar que existen en la película de aire en la superficie del agua, ya que las entalpías de saturación también incluyen las humedades de saturación (7).

Para la obtención de la cantidad de aire que se necesita, la línea de operación a obtenerse probablemente intersecte a la curva de saturación, lo

que al evaluarse en las ecuaciones posteriores dará una fuerza de excitación muy pequeña o una altura de torre muy grande. Para ello, se toma una constante de proporcionalidad multiplicada a ésta cantidad de aire obtenida para asegurar que no ocurra la intersección (2). Con el calor, humedades y entalpías obtenidas, y, variando la temperatura de $T_{L1} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{L2} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ se obtiene.

3.3.3 Determinación de la concentración de agua

Se debe agregar agua fresca al equipo de enfriamiento para reemplazar la pérdida por acarreo, ésto es, arrastre por la corriente, por evaporación y por eliminación. Como el sistema está expuesto a la atmósfera, el agua absorbe ciertas impurezas que se van acumulando dentro del equipo. Pudiéndose predeterminar la concentración de sólidos en el sistema, se asume una mayor concentración de los mismos en los elementos auxiliares del equipo debido a que es difícil removerlos con desinfectantes. Dentro de éstos elementos auxiliares para asegurar una distribución de agua normal, para torres pequeñas se ha estimado que la concentración máxima es alrededor de 2000 ppm. Así

mismo, dentro del equipo principal de enfriamiento de agua se estima una concentración menor. De modo que para nuestro caso escogemos una concentración de sólidos máxima de 2000 ppm y una concentración del agua al pasar por el equipo principal 500 ppm.

3.3.4 Ecuación para determinar el área de la sección transversal de la torre.

En la construcción de torres de enfriamiento de tiro inducido flujo en contracorriente, se ha determinado experimentalmente que el flujo específico del agua que recicla varía desde uno hasta seis galones por minuto por pie cuadrado (3) en donde para obtener el área de la sección transversal de la unidad de enfriamiento, se procederá a dividir el flujo total que circula por el sistema (L Kg/seg), para el flujo específico (L' Kg/seg*m²) el cual se lo obtiene a partir de la geometría y propiedades de los rellenos , por tanto :

$$\text{Área total} = \frac{\text{Flujo_total_de_agua(kg/seg)}}{\text{Flujo_especifico_ (kg/seg * m^2)}} = \text{m}^2 \quad \text{ec. (3-22)}$$

3.3.5 Ecuación para determinar la cantidad de agua de compensación.

Considerando el diagrama 9, el que consta una torre de enfriamiento operando con una fuente de calor en circuito cerrado, en donde el agua del depósito de la torre es bombeada a través de un condensador. El agua caliente regresa a la torre junto con el agua de compensación, la que se usa para retribuir la pérdida por evaporación en el sistema debido a la saturación del aire al pasar por la torre.

Para obtener la ecuación que permita determinar la cantidad de agua que se pierde por evaporación se debe hacer un balance total de calor y de masa entre los puntos 1 y 2 de la parte inferior y la parte superior respectivamente, figura 10 y luego del sistema de ecuaciones que se obtenga, se despeja el valor de E.

$$Q + m * C(T_M - T_O) + G_S * H_1' = G_S * H_2' \quad \text{Ec. (3-23)}$$

Haciendo un balance de calor se obtiene:

reordenando términos,

$$Q + m * C(T_M - T_0) = G_S(H_2' - H_1') \quad \text{Ec. (3-24)}$$

haciendo un balance de masa entre el agua y el aire se tiene:

$$m + G_S * \psi_1 = G_S * \psi_2 \quad \text{Ec. (3-25)}$$

En ésta parte, para efecto de cálculo, es importante anotar que es necesario asumir que la humedad absoluta con que sale el aire de la torre ψ_2 se encuentra saturada, según esto:

$$\psi_2 = \psi_s \quad \text{Ec. (3-26)}$$

Reemplazando el valor de ψ_2 por ψ_s se tiene:

$$E = G_S (\psi_s - \psi_1) \quad \text{ec. (3-27)}$$

Despejando el valor de G_S de la ecuación (3-24),

$$G_S = \frac{Q + MC_{Al}(T_M - T_0)}{H_2' - H_1'} \quad \text{ec. (3-28)}$$

Reemplazando el valor de G_S en la ecuación (3-27), se tiene:

$$E = \frac{Q * (\psi_s - \psi_1)}{(H_2' - H_1') - C_{Al} * (T_M - T_0)(\psi_2 - \psi_1)} \quad \text{Ec. (3-29)}$$

Expresando toda la ecuación en función de E, se tiene:

$$E = \frac{Q(\psi_s - \psi_1)}{(H_2' - H_1') - C_{Al}(T_M - T_0)(\psi_s - \psi_1)} \quad \text{ec. (3-30)}$$

Dividiendo numerador y denominador por $(\psi_s - \psi_1)$,

la ecuación (3-29) queda:

$$E = \frac{Q}{\frac{H_2' - H_1'}{\psi_2 - \psi_1} - C_{Al}(T_M - T_0)} \quad \text{ec. (3-31)}$$

3.3.5.1 Determinación de la cantidad de agua de compensación.

Para ello se deberá determinar el flujo de agua que se pierde por evaporación, el flujo de agua que se pierde por arrastre, así como el flujo de agua que se pierde por eliminación; ésta última, debido a la extracción que se debe hacer para análisis. Conocidas las propiedades de la mezcla agua-aire tanto a la entrada como a la salida de la torre se procede a obtener el flujo de agua de evaporación como sigue :

$$Q = 1004.88 \text{ Kilovatios}$$

$$\psi_1 = 0.019 \text{ Kg de agua/ Kg de aire}$$

$$\psi_2 = 0.052 \text{ Kg de agua/ Kg de aire}$$

$$H_1 = 78.130 \text{ KJ / Kg de aire}$$

$$H_2 = 168.499 \text{ KJ / Kg de aire}$$

$$T_M = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = \frac{Q_{REMOCOND}}{\frac{HAIRS - HAIRE}{SHAIS - SHAIENT} - CAL(TREPOS - TREF)}$$

$$E = 0.369 \text{ Kg / seg.}$$

En la mayoría de los casos el flujo de agua viene dado en unidades de gal / min para ello se realiza la conversión como sigue:

$$\text{Gal / min} = 16030.2 * (\text{flujo de agua / densidad del fluido})$$

Para nuestro caso tenemos:

$$\text{Flujo} = 16030.2 * (15 / 990.43)$$

$$\text{Flujo} = 242.77 \text{ gal / min.}$$

La rapidez de pérdida por arrastre se lo obtiene mediante una aproximación, se estima que se pierde alrededor de 0.2 % del flujo total de agua en un momento dado. Por lo tanto, se tiene:

$$D = 0.0002 * \text{gal} / \text{min}$$

$$D = 0.0002 * 242.77$$

$$D = 0.049 \text{ gal} / \text{min}$$

3.3.5.2 Determinación de la cantidad de agua a purgarse del sistema

En cuanto a la rapidez de eliminación, usualmente se tiene predeterminado el nivel adecuado de la concentración, por lo tanto se está más interesado en la cantidad de eliminación necesaria para mantener aquella concentración. Para ello se tiene la siguiente fórmula:

$$B = (E - [(C-1) * D]) / (C-1) \quad \text{ec. (3-32)}$$

En donde:

B = Rapidez de eliminación en gal / min

D = Rapidez de arrastre en gal / min

E = Rapidez de evaporación en gal / min

C = Relación de concentración de sólidos disueltos en ppm.

Para nuestro caso, para un flujo de 242.77 gal/min y un rango de enfriamiento de 16 °C asumimos que el nivel de cloruros en el agua de reposición es de 500 ppm, y que no queremos que el nivel no vaya mas allá de 2000 ppm en el agua circulante. Las concentraciones permisibles son

$2000 / 500 = 4$. Aplicando éstos valores a la fórmula

(3-32) se tiene :

$$B = (E - [(C-1) * D]) / (C-1)$$

$$B = (5.942 - [(4 - 1) * 0.049]) / (4 - 1)$$

$$B = 0.074 \text{ gal / min.}$$

Por lo tanto, tomando en consideración todas las pérdidas producidas en el sistema, la rapidez de compensación está dada por la suma de éstas pérdidas.

$$\text{Rep} = B + E + D$$

$Rep = 6.06 \text{ gal / min.}$

3.3.6 Determinación del coeficiente de transferencia de masa

Aire con una humedad ψ_1 y una temperatura T_w entra por la base de la torre y sale por la parte superior a ψ_2 y a una temperatura T_{w2} . El agua entra por la parte superior a T_{L2} y sale por el fondo de la torre a una temperatura T_{L1} . El flujo de aire es G' kg por segundo por metro cuadrado. Los flujos de agua son G_{xin} y G_{xsal} $G \text{ kgs / seg} \cdot \text{m}^2$ a la entrada y a la salida respectivamente. Asumamos que dz sea la altura de una pequeña sección de la torre a una distancia Z con respecto a la base de la zona de contacto. Asumamos además que el flujo de agua así como la humedad, la temperatura del agua y la temperatura del aire actúan sobre este diferencial. Sea en la interfase entre el aire y las fases de agua la temperatura T_i y la humedad ψ_i . La sección transversal de la torre es S metros cuadrados, y la altura de la zona de contacto Z_T metros. Asumamos que el agua está más caliente que el aire. Las siguientes ecuaciones pueden ser escritas sobre un pequeño volumen $S dz$.

El balance de entalpía es:

$$G'_y * dh_y = d(G_s h_x) \quad \text{Ec. (3-33)}$$

donde h_y y h_x son las entalpías totales del aire y el agua respectivamente.

La tasa de transferencia de calor del agua a la interfase es:

$$d(G_s h_x) = h_x(T_x - T_i) a_M dz \quad \text{Ec. (3-34)}$$

donde h_x es el coeficiente de transferencia de calor del agua a la interfase y a_M es el área de transferencia de calor. La tasa de transferencia de calor de la interfase al aire es

$$G'_y c_p dT_y = h_y(T_i - T_y) a_M dz \quad \text{ec. (3-35)}$$

La tasa de transferencia de masa de vapor de agua de la interfase al aire es

$$G'_y dH = k'_y (H_i - H) a_M dz \quad \text{Ec. (3-36)}$$

Donde a_M es el área de transferencia de masa, en m^2/m^3 de volumen de contacto. Los factores a_M y a_H no son necesariamente iguales. Si el contactor está empacado con un empaque sólido, el agua no puede humedecer por completo el empaque, y el área

disponible para transferencia de calor, la cual es toda el área del empaque, es mayor que el área para transferencia de masa, el cual está limitado a la superficie que está en realidad mojada.

La relación de Lewis para agua-aire es

$$\frac{h_y}{k_y} = c_s \quad \text{Ec. (3-37)}$$

Estas ecuaciones pueden ser simplificadas y reordenadas. Primero, asumiendo que el cambio de G_x con la altura es pequeño y escribiendo la entalpía del agua como

$$h_x = c_L(T_x - T_0) \quad \text{Ec. (3-38)}$$

donde c_L es el calor específico del líquido y T_0 es la temperatura base para el cálculo de la entalpía. Entonces

$$d(G_x h_x) = G_x dh_x = G_x c_L dT_x \quad \text{Ec. (3-39)}$$

Sustituyendo $d(G_x h_x)$ de la ecuación 3-39 en la ecuación 3-34 da

$$G_x c_L dT_x = h_x(T_x - T_i) a_1 dz$$

La cual puede ser escrita como

$$\frac{dT_x}{T_x - T_i} = \frac{h_{xa} a_M}{G_x c_{p,x}} dz \quad \text{Ec. (3 - 40)}$$

Segundo, la ecuación 3-35 puede ser reordenada así :

$$\frac{dT_y}{T_i - T_y} = \frac{h_{ya} a_M}{G_y c_{p,y}} dz \quad \text{Ec. (3 - 41)}$$

Tercero, la ecuación 3-36 puede ser escrita

$$\frac{dH}{H_i - H} = \frac{k_y a_M}{G_y} dz \quad \text{Ec. (3 - 42)}$$

Finalmente, usando la ecuación 3-33, la ecuación 3-39 puede ser escrita así :

$$\frac{dh_y}{dT_x} = \frac{G_x c_{p,x}}{G_y} \quad \text{Ec (3 - 43)}$$

El tamaño de la torre puede ser calculado si se conocen los coeficientes individuales h_{xa} i k_y . Los puntos sobre la curva de la figura 10 se calculan a partir de la ecuación (3-2), usando una temperatura de referencia de 0°C. Con esta temperatura base, se asume un equilibrio interfacial entre el agua y el aire. De la ecuación (3-43),

$$dh_y = \frac{G_x * c_l}{G_y} * dt_x$$

Esta ecuación puede ser integrada sobre la base de la torre.

$$\int_{h_{yb}}^{h_y} dh_y = \frac{G_x * c_l}{G_y} \int_{t_{xb}}^{t_x} dt_x$$

De donde :

$$h_y = \frac{G_x * c_l}{G_y} * (t_x - t_{xb}) + h_{yb} \quad \text{Ec. (3-44)}$$

La ecuación 3.44 dibujada sobre la figura 10 en función de h_y y T_L da una línea de operación. Bajo la hipótesis de que G_x es constante, la pendiente de la línea de operación también lo es. Integrando sobre toda la torre, el balance de entalpía global es :

$$h_{ya} - h_{yb} = \frac{G_x * c_l}{G_y} * (t_{xa} - t_{xb})$$

A partir de los valores de $h_i - h_y$ la altura de la sección empacada puede ser calculada integrando la ecuación (3-44).

$$\int_{h_{yb}}^{h_{ya}} \frac{dh_y}{h_i - h_y} = \frac{k'_y a}{G_y} * Z_T = \frac{h_{ya}}{G_y * c_s} * Z_T \quad \text{Ec. (3-45)}$$

De la ecuación (3-45) se obtiene que

$$K_y a = \frac{L}{Z} \int_{T_{11}}^{T_{12}} \frac{dt_1}{H^* - H}$$

Para poder evaluar el valor de la integral, se procede como sigue :

- 1.- Se construye una tabla de temperaturas para el agua, tomando como base la temperatura de salida hasta la temperatura de entrada. El intervalo se lo toma a conveniencia.
- 2.- Con las ecuaciones descritas anteriormente se determina las diferencias de temperaturas en la interfase.
- 3.- Una vez determinadas las diferencias de entalpías se obtienen, el valor inverso, la media, y la diferencia de entalpías final e inicial.
- 4.- Se determina el valor de la integral

Tabla 2 Calculo del inverso de la diferencia de entalpias

Temp Liq.	Entalp Satur	Entalp Oper	Inv Entalp
29.00	94.65	78.13	0.06052762
29.50	97.28	80.92	0.06112165
30.00	99.96	83.71	0.06152231
30.50	102.70	86.50	0.06171739
31.00	105.50	89.29	0.06169849
31.50	108.35	92.08	0.0614615
32.00	111.26	94.87	0.06100691
32.50	114.23	97.66	0.06033984
33.00	117.26	100.45	0.05946987
33.50	120.36	103.24	0.05841063
34.00	123.51	106.03	0.05717914
34.50	126.74	108.82	0.05579509
35.00	130.03	111.60	0.05428001
35.50	133.39	114.39	0.0526564
36.00	136.81	117.18	0.05094692
36.50	140.31	119.97	0.0491737
37.00	143.88	122.76	0.04735776
37.50	147.52	125.55	0.04551849
38.00	151.24	128.34	0.04367342
38.50	155.03	131.13	0.04183794
39.00	158.91	133.92	0.04002533
39.50	162.86	136.71	0.03824669
40.00	166.89	139.50	0.03651111
40.50	171.00	142.29	0.03482575
41.00	175.20	145.08	0.03319609
41.50	179.49	147.87	0.03162605
42.00	183.86	150.66	0.03011825
42.50	188.32	153.45	0.02867418
43.00	192.88	156.24	0.02729439
43.50	197.52	159.03	0.02597865
44.00	202.26	161.82	0.02472611
44.50	207.10	164.61	0.02353542
45.00	212.03	167.40	0.02240486

3.4 Determinación , selección y dimensionamiento de los componentes del sistema.

Para el correcto funcionamiento del equipo es necesario que cada uno de sus componentes operen de acuerdo a las especificaciones dadas, para que, una vez conectadas entre sí se logre una eficiencia óptima.

Se debe notar que de las propiedades de los fluidos incidirá en las dimensiones del sistema de enfriamiento, además dependiendo del material y geometría del relleno tendremos un flujo específico de agua puntual.

3.4.1 Selección del ventilador

Para seleccionar el ventilador para el sistema de enfriamiento es necesario conocer los siguientes datos; (a) flujo de aire que circulará por la torre, y (b) la presión estática o presión de resistencia contra la que debe operar el ventilador .

Como se analizó anteriormente, el tipo de ventiladores a utilizarse en torres de enfriamiento de tiro inducido, flujo en contracorriente es de flujo axial con varias aletas, pudiendo ser éstas fijas o de ángulo de inclinación variable.

Como el flujo de aire apropiado es $G_s = 11.257 \text{ kg / seg}$, para determinar los metros cúbicos por minuto (mcm) de aire que circulan por el equipo, para la densidad del aire a la temperatura de operación se tiene :

$$\text{Mcm} = G_s (\text{kg / seg}) / \text{denso} \quad \text{ec (3-46)}$$

Para determinar la densidad del aire a la temperatura de operación, es necesario conocer la temperatura virtual, que es una temperatura ficticia que toma en cuenta la humedad del aire. La definición formal de temperatura virtual es la temperatura que el aire seco tendría si su presión y volumen específico fuesen iguales a aquellas dadas en la muestra de aire húmedo. En nuestro caso, se considera la presión de vapor del medio, la temperatura de la mezcla con la que sale de la torre ; para esto, conociendo el valor de la humedad absoluta ψ en Kg de vapor de agua por Kg de aire seco y asumiendo que el aire se encuentra cercanamente saturado se obtiene :

$$T_v = \frac{T_D}{\left(1 - \left(\frac{E_v}{P}\right) * (1 - Z)\right)} \quad \text{Ec (3-47)}$$

T_v = Temperatura virtual

T_D = Temperatura en el medio de operación

E_v = Presión de vapor local

P = Presión barométrica

Z = Constante de operación

Con ésta referencia, evaluando cada uno de los parámetros que intervienen en el sistema la temperatura virtual es :

$$T_K = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = PVSATD$$

$$P = PRLOCAL$$

$$Z = 0.622$$

$$T_v = \frac{TWSAL}{\left(1 - \left(\frac{PVSATD}{PRLOCAL}\right) * (1 - 0.622)\right)}$$

$$T_v = 33 \text{ }^\circ\text{C}$$

Luego de este cálculo, la densidad del aire local se determina de la siguiente manera.

$$\rho_{aire} = \frac{presionlocal}{(T_v * k)} \quad \text{Ec (3 - 48)}$$

En donde k es la constante de los gases.

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{PR_{\text{LOCAL}}}{TV_{\text{VIRTUAL}} * CUG}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 1.202 \text{ Kg / m}^3$$

Una vez obtenida las propiedades anteriores , podemos obtener los metros cúbicos por minuto que circulan por la torre como sigue.

$$\text{mcm} = G_s \text{ (kg / seg) / denso} \quad ; \quad \text{mcm} = 60 * 11.257 / 1.202$$

$$\text{mcm} = G_s \text{ (kg / seg) / denso} \quad \text{mcm} = 561.7 \text{ m}^3 / \text{min}$$

Con respecto a la caída de presión estática, contra la que debe operar el ventilador, se vió que en torres de este tipo era menor que dos pulgadas de agua (3), por lo tanto, tomando en consideración la resistencia ofrecida al paso del aire por la zona de relleno y los separadores de gotas, se considera suficiente utilizar el valor de 1.5 pulgadas de agua valor que está dentro del rango de caídas de presiones para éste tipo de ventiladores (0.3 hasta 2 pulgada de agua). Con el análisis y descripción anterior podemos evaluar la potencia con que debe operar el ventilador considerando que el flujo de aire obtenido fué para una relación de 1.5 veces el flujo de aire mínimo y una caída de

presión de 1.5 pulgadas de agua. Ya que la potencia del ventilador variará de acuerdo al cambio de flujo de aire como de caída de presión principalmente.

La ecuación que se considera para la obtención de la potencia en el motor del ventilador.

$$vhp = pcm * \text{deltapresion} * \text{densairto} / 33000 * 12$$

Considerando lo anterior y tomando en cuenta las respectivas conversiones se tiene que la potencia del motor en el ventilador es 0.737 hp.

3.4.2 Selección del colector de agua

Para determinar las dimensiones de la piscina para la torre de enfriamiento se debe conocer el tiempo que demora el agua en circular a través del condensador y retornar al distribuidor de agua caliente.

Si se asume que el ciclo demora un minuto, se parte del dato de que la piscina deberá tener una capacidad mayor a 35.292 m^3 para evitar que ésta se quede sin líquido, se requiere que la piscina sea lo suficientemente resistente para que pueda

soportar la torre. Como nos podemos dar cuenta lo que se trata es de seleccionar las dimensiones para la piscina para un correcto funcionamiento y un costo apropiado.

CAPITULO 4

Análisis Económico

4.1 Análisis de costo de la torre

Para ésta parte del análisis de la torre se procede a determinar una evaluación de costos.

A fin de obtener un análisis de costos, se debe obtener el costo de cada uno de los elementos que forman parte del equipo de enfriamiento, para ello se considera:

Una vez obtenido los materiales para armar el equipo, se proceden a su construcción tomando en cuenta cada una de las especificaciones técnicas declaradas anteriormente.

Se considera los costos de operación; esto es, una estimación del valor del agua de reposición así como el consumo de energía.

En lo que respecta a la construcción, se indagará acerca de los costos de los materiales para ello, se determina el costo de los componentes como sigue:

Material de relleno

Cuerpo de distribución de agua

En lo respecta a la empaquetadura a ser instalada dentro de la torre, una manera de mantener un tiempo de contacto prolongado entre el agua y el aire independiente del tipo de material a utilizar, es colocar los empaques de forma vertical paralelos entre si y con un espaciamiento mínimo de manera de minimizar la caída de presión ya que puede darse una mayor caída de presión en los eliminadores de arrastre.

En lo que respecta al consumo de agua se hace un analisis de costo de los insumos que se necesitan para su tratamiento. El costo de la recirculación del agua va a depender de la dureza permisible existente y de la cantidad de agua de evaporación que es el parametro mas significativo.

Se asume un factor de carga de 0.3, además se asume que la torre opera 6000 horas anuales. Asimismo, se estima que el costo de tratamiento químico promedio es de 20000 sucres por cada 1000 galones de agua con lo cual la rapidez de compensación de agua anual será de 2199392.50 galones por año lo que dará un costo de 70380560.29 sucres. Con los datos anteriores tambien se tiene que el costo de agua por eliminación será de 72022960.48 sucres. En resumen:

$r_{compy} = 2199.392.5 \text{ gal / año}$

$cost_{agrepos} = 26392701.10 \text{ sucres / año}$

$cost_{agelim} = 8923.8 \text{ sucres / año}$

$cost_{deselim} = 72022960.48 \text{ sucres / año}$

$cost_{ratquim} = 266295826.57 \text{ sucres / año}$

$cost_{totales} = 602245888.16 \text{ sucres / año}$

$cost_{hpb} = 7388651.08 \text{ sucres / año}$

$cost_{hpv} = 2522104.036 \text{ sucres / año}$

$cost_{energ} = 9910755.12 \text{ sucres / año}$

En lo que respecta a costo de los empaques, se toma en cuenta las dimensiones de los mismos y el espaciamiento que ocupan dentro del recinto. Esto va a incidir en la cantidad de empaques que se necesitan para el llenado.

Si consideramos un empaque de 30 cm de longitud, 20 cm de altura, 0.3 cm de espesor separados 1 cm y tomando un valor de 5000 sucres por pieza, tendremos:

$num_{pisos} = 35.35$

$num_{piezas} = 1096$

$vol_p = 180 \text{ cm}^3$

$vol_t = 197258 \text{ cm}^3$

costotp = 986292185.11 sucres

4.2 Comparación de costos con la torre importada

Es de considerar que resulta costoso el mantenimiento de un equipo de tiro mecánico , Un modo de reducir costos es la construcción de equipos pilotos con el objeto de obtener una altura de unidad de transferencia coherente ya que ello ayuda a una correcta distribución del relleno. El equipo importado solo da el modelo del relleno suministrado en el equipo sin aportar con especificaciones técnicas. Conocido el flujo de aire que se necesita para el enfriamiento se puede seleccionar el ventilador que cumpla con las características de diseño.

CAPITULO 5

ELABORACION DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

5.1 Variables predeterminadas por el programa

ALT : altura de la torre

ALTP : altura del empaque

ANCHOP : ancho del empaque

Ap : área específica del empaque

$A=KaV/L$: característica de la torre

BHP : potencia de la bomba

CAL : calor específico del agua

CPD : calor específico del aire seco

CPV : calor específico de vapor de agua

CICLOS : ciclos de concentración

CONC : relación de concentración de la dureza del agua

CUG : constante universal de los gases

CCAG : capacidad calorífica del agua

CCAIRE : capacidad calorífica del aire a la entrada

CCAIRS : capacidad calorífica del aire a la salida

COSTAGUNID : costo de agua tratada de la unidad

COSTRATQUIMPROM : costo de tratamiento químico promedio

COSTKWH : costo de kilovatio - hora

COSTOP : costo del empaque

CVAG : calor de vaporización para agua

DENSAIRTO : densidad del aire a la temperatura de operación

DENSG : densidad del aire en condiciones normales

DENSL : densidad del agua

DISTCENT : distancia entre empaques

DORIF : diferencial de orificio

DT : intervalo de tiempo sobre el cual se añade el agua de reposición

ELEV: altura sobre el nivel del mar

EFIC : eficiencia de la torre de enfriamiento

EFICBC : eficiencia de la bomba

FACTORCARGA : factor de carga de operación

FACTCONV : factor de conversión

GAIR: flujo de aire real que circula por la torre

GAIRMIN: flujo de aire mínimo que circula por la torre

GAIRPRIMA: flujo específico de aire que circula por la torre

GPM : caudal de agua que ingresa a la torre

HAIRE : entalpía del aire a la entrada de la torre

HAIRS : entalpía del aire a la salida de la torre

HENTR : entalpía del agua a la entrada de la torre

HOPERTORRE : horas de operación de la torre

HSAL : entalpía del agua a la salida de la torre

LENTR : flujo de agua que entra a la torre

LSAL : flujo de agua que sale de la torre

LONGP : longitud del empaque

LPRIMA : concentración de agua en la torre

MAS : flujo másico de aire seco

MY : masa de aire seco

PARR : pérdida por arrastre

PESMOL : peso molecular del aire

PRVSATDB : presión de vapor de saturación de bulbo seco

PRVSATWB : presión de vapor de saturación de bulbo húmedo

QSAL : energía que sale del sistema

QWSAL : energía que sale del agua

QREMOCOND: calor de remoción en el condensador

R : constante

RCOMP : rapidez de compensación

REL: relación agua - aire dentro de la torre

RELIM : rapidez de eliminación

RENF : rango de enfriamiento

REVAP : rapidez de evaporación

R2PRIMA : relación de mezcla vapor - agua

RW : relación de mezcla de saturación para el bulbo húmedo

SHAIENT : humedad específica del aire a la entrada de la torre

SHAIS : humedad específica del aire a la salida de la torre

TAPROX : temperatura de aproximación

TAWENTR : temperatura absoluta del bulbo húmedo a la entrada

TDENTR : temperatura de bulbo seco del aire a la entrada de la torre

TENTR : temperatura del agua a la entrada de la torre

TPR : temperatura del punto de rocío

TREF : temperatura de referencia

TREPOS : temperatura del agua de reposición

TSAL : temperatura del agua que sale de la torre

TWENTR : temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre

TWSAL : temperatura del bulbo húmedo del aire a la salida de la torre

VHP : potencia del ventilador

VOLHUMS : volumen húmedo específico del aire a la salida

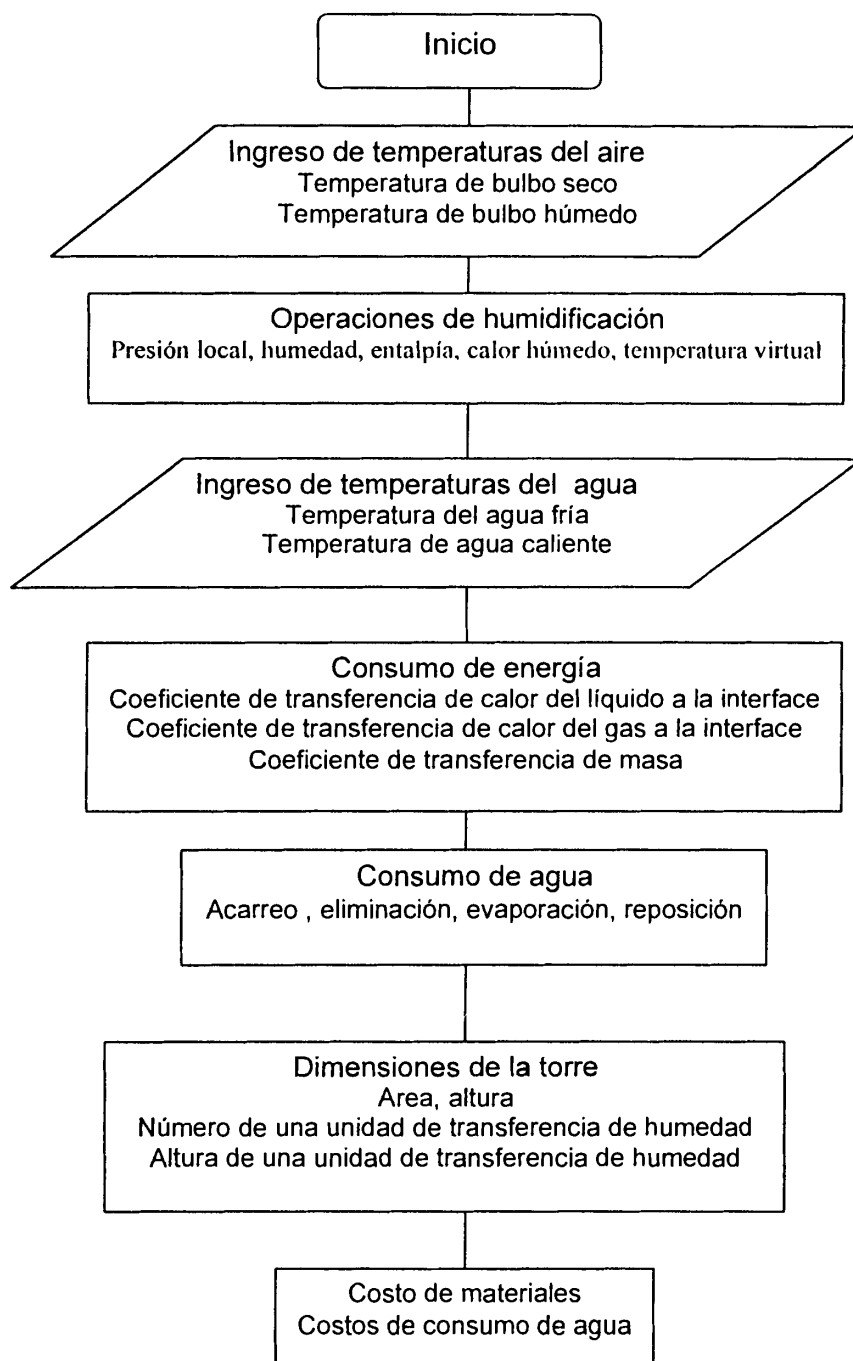
X : factor de conversión

XPARC : fracción peso de dureza en el agua circulante

XENT : fracción peso de dureza en el agua de compensación

Z : masa molecular de vapor de agua a masa molecular de aire seco

5.2 Fórmulas especificadas del programa



5.3 Codificación del programa

Se ha considerado conveniente con objeto de mejor visualización dividir tanto las entradas como las salidas del programa de acuerdo a las propiedades de los fluidos, así como las dimensiones de la torre, costos de agua de reposición y costos de energía.

Global DirPrograma As String

'Entrada de datos BOTON : Humidificación

Global ELEV As Double 'Altura sobre el nivel del mar

Global TWENTR As Double 'Temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre

Global TDENTR As Double 'Temperatura de bulbo seco del aire a la entrada de la torre

Global TWSAL As Double 'Temperatura del bulbo húmedo del aire a la salida de la torre en °C

'Entrada de datos BOTON : Energía

Global TENTR As Double 'Temperatura del agua a la entrada de la torre

Global TSAL As Double 'Temperatura del agua a la salida de la torre

Global TREPOS As Double 'Temperatura del agua de reposición

Global LENTR As Double 'Flujo de agua que entra a la torre

Global XPARC As Double 'Fracción peso de dureza en el agua circulante

Global DORIF As Double 'Diferencial de orificio

Global XENT1 As Double 'Fracción peso de dureza en el agua de compensación

Global LPRIMA As Double 'Flujo específico del Agua

'Entrada de datos BOTON : Tabla de diagrama de operación

' No se necesitan datos de entrada adicionales

'Entrada de datos BOTON : Dimensiones de la torre

' No se necesitan datos de entrada adicionales

'Entrada de datos Costos BOTON : Costos de consumo de agua

Global FACTORCARGA As Double ' factor de carga de operación de la torre

Global COSTAGUNID As Double ' Costos de agua tratada de la unidad
 Global HOPERTORRE As Double ' Horas anuales de operación de la torre
 Global COSTRATQUIMPROM As Double ' Costo de tratamiento químico promedio
 Global COSTKWH As Double ' Costo de kilowatio-hora

'Entrada de datos Costos BOTON : Costos Materiales
 Global LONGP As Double ' Longitud del empaque
 Global ANCHOP As Double ' Ancho del empaque
 Global ALTP As Double ' Altura del empaque
 Global DISTCENT As Double ' Distancia entre empaques
 Global COSTOP As Double ' Costo del empaques

' Salida de datos BOTON : Humidificación
 'Humedades , Entalpías , Volumen específico
 Global PRLOCAL As Double ' Presión atmosférica local
 Global SHAIS As Double ' Humedad específica del aire a la salida
 Global SHAIENT As Double ' Humedad específica del aire a la entrada de la torre
 Global HAIRE As Double ' Entalpía del aire a la entrada de la torre
 Global HAIRS As Double ' Entalpía del aire a la salida de la torre
 Global VOLHUME As Double ' Volumen húmedo específico a la entrada
 Global VOLHUMS As Double ' Volumen húmedo específico a la salida
 Global CALHUMI As Double ' Calor húmedo
 Global TPR As Double ' Temperatura del punto de rocío
 Global RELHUM As Double ' Humedad relativa
 Global TVIRTUAL As Double ' Temperatura virtual en el medio de operación

' Salida de datos BOTON : Propiedades del agua
 Global PARR As Double ' Pérdida por arrastre
 Global REVAPGPM As Double ' Rapidez de evaporación
 Global REVAP As Double ' Rapidez de evaporación
 Global RELIM As Double ' Rapidez de eliminación
 Global RCOMP As Double ' Rapidez de compensación
 Global HENTR As Double ' Entalpía del agua a la entrada de la torre
 Global HSAL As Double ' Entalpía del agua a la salida de la torre

' Salida de datos BOTON : Energía
 Global QREMOCOND As Double ' Calor de remoción en el condensador
 Global QS As Double ' Energía que sale del sistema
 Global QW As Double ' Energía que sale del agua
 Global VHP As Double ' Potencia del ventilador
 Global BHP As Double ' Potencia de la bomba

Global KYAI As Double ' Coeficiente de transferencia de masa
 Global Le As Double ' Número de Lewis
 Global HXA As Double ' Coeficiente de transferencia de calor del
 líquido
 Global HYA As Double ' Coeficiente de transferencia de calor del gas

' Salida de datos BOTON : Tabla de diagrama de operación

Global CTSAL As Double ' Diferentes temperaturas del agua
 Global HSATUR As Double ' Entalpía de saturación de la mezcla
 vapor-aire
 Global HENTALPIA As Double ' Entalpía de operación de la mezcla
 vapor-aire
 Global DIFENT As Double ' Inverso de diferencia de entalpías

' Salida de datos BOTON : Dimensiones de la torre

Global AREA As Double ' Area de la torre
 Global ALTI As Double ' Altura de la torre
 Global VOL As Double ' Volumen de la torre
 Global HTOGI As Double ' Altura Global de una unidad de transferencia
 Global NTOG As Double ' Número global de un unidad de transferencia

' Salida de datos BOTON : Costos de agua de reposición

Global COSTAGELIM ' Costo de agua de eliminación
 Global COSTDESELIM ' Costo de desecho de eliminación
 Global COSTRATQUIM ' Costo de tratamiento químico del agua
 Global COSTOTALES ' Costos totales de reposición de agua
 Global COSTENERG ' Costo anual de energía
 Global COSTHPB ' Costo de operación de la bomba
 Global COSTHPV ' Costo de operación de ventilador

' Salida de datos BOTON : Costos de empaques

Global COSTOTP ' Costo total de empaques

' Salida de datos BOTON : Operación de la torre

Global A As Double ' Característica de la torre
 Global EFIC As Double ' Eficiencia de la torre de enfriamiento
 Global CICLOS As Double ' Ciclos de concentración
 Global GAIR As Double ' Flujo de aire que circula por la torre
 Global RENF As Double ' Rango de enfriamiento
 Global TAPROX As Double ' Temperatura de aproximación
 Global REL As Double ' Relación agua-aire
 Global VELAIR As Double ' Velocidad del aire

Global Z, CPD, CPV, CUG, CAL, R, EFICB, SPGR, PESMOL As Double
Global TAWENTR, TADENTR, TAWSAL As Double
Global TREF, TASAL, PRLOCALPA, DENSAIR, DENSAIRTO, DENSAIRTOI
As Double
Global RDA, CUAGE, CPAGS, PRVSATWB, RW, RPRIMA, RPRIMANT,
RPRIMACT, PRVAPOR, X As Double
Global CVAGE, CVAGS, PRVSATDB, PRVAPORKPA, PRVSAWBS, RWS,
RPRIMAS As Double
Global RPROMAES, PRVAPORKPAS, DELTAH1 As Double
Global TAENTR, PRVSATNBS, R2PRIMAS, RPRIMAES, DELTAH2,
DELTAH3, DENSL As Double
Global PARRK6, CONC, PRVSATWOS, PRVAPORS, DELTAH4 As Double
Global PRVSATWBS, HAGUAS As Double
Global CVAGEE, PRVSATWBA, RWA, RPRIMAA, RPRIMAANT,
RPRIMAECT, PRVAPORA, PRVAPORKPAA, SHSATUR As Double
Global GAIRPRIMAP, GAIRPRIMAPI As Double
Global LPRIMAI, CALHUMIPROI, PENDIENTE As Double
Global DELTAPRESION, CALHUMEI, CALHUMPROI As Double
Global HSATURINI, PRLOCALKPA, GPM, GAIRPRIMA, LSAL, SUMADIFER
As Double
Global NUMPISOS, NUMPIEZAS, VOLT, VOLP, NUMPP, LONGT As Double
Global EPSILON As Double

'Global Humedad()

Type Registro
CCTSAL As Double
CHSATUR As Double
CHENTALPIA As Double
CDIFENT As Double
End Type

Public Tabla1(1 To 40) As Registro
Public TotalRegs As Integer

Public Sub Humedad()

' Declaración de constantes

Z = 0.62197
CPD = 1006.3
CPV = 1850#
CUG = 8.314
CAL = 4187#

R = 287#
EFICB = 0.85
SPGR = 1#
PESMOL = 18.016
DELTAPRESION = 1.5
TREF = 0#
DENSAIR = 1.202
CALHUMEI = 0.25
TotalRegs = 0
EPSILON = 0.00001

' Conversiones utilizadas en las fórmulas

TAWENTR = TWENTR + 273#
TADENTR = TDENTR + 273#
TAWSAL = TWSAL + 273#
TASAL = TSAL + 273#
TAENTR = TENTR + 273#

' Procedimiento para calcular humidificación

PRLOCALKPA = $101.325 * \text{Exp}(-0.0001184 * \text{ELEV})$
PRLOCAL = $\text{PRLOCALKPA} * 1000\# / 101.325$
CVAGE = $2500800 - 2370 * \text{TWENTR}$
CVAGS = $2500800 - 2370 * \text{TWSAL}$
PRVSATWB = $6.112 * \text{Exp}((17.67 * \text{TWENTR}) / (243.5 + \text{TWENTR}))$
RW = $(Z * \text{PRVSATWB}) / (\text{PRLOCAL} - \text{PRVSATWB})$
RPRIMA = $\text{RW} / 2$
RPRIMACT = $\text{RW} + ((\text{CPD} + \text{RPRIMA} * \text{CPV}) / \text{CVAGE}) * (\text{TWENTR} - \text{TDENTR})$
Do
RPRIMANT = RPRIMACT
RPRIMA = $(\text{RPRIMACT} + \text{RW}) / 2$
RPRIMACT = $\text{RW} + ((\text{CPD} + \text{RPRIMA} * \text{CPV}) / \text{CVAGE}) * (\text{TWENTR} - \text{TDENTR})$
Loop Until $(\text{Abs}(\text{RPRIMACT} - \text{RPRIMANT}) < \text{EPSILON})$

PRVAPOR = $\text{RPRIMACT} * \text{PRLOCAL} / (Z + \text{RPRIMACT})$
X = $\text{Log}(\text{PRVAPOR} / 6.112)$
TPR = $243.5 * X / (17.67 - X)$
PRVSATDB = $6.112 * \text{Exp}(17.67 * \text{TDENTR} / (243.5 + \text{TDENTR}))$
RELHUM = $(\text{PRVAPOR} / \text{PRVSATDB}) * 100$
TVIRTUAL = $\text{TADENTR} / (1 - (\text{PRVAPOR} / \text{PRLOCAL}) * (1 - Z))$
PRVAPORKPA = $101.325 * \text{PRVAPOR} / 1000$
SHAIENT = $(\text{PRVAPORKPA} * \text{PESMOL}) / (\text{CUG} * \text{TAWENTR})$

```

HAIRE = ((1005 + (1884 * SHAIENT)) * TDENTR + (CVAGE *
SHAIENT)) / 1000
PRLOCALPA = PRLOCALKPA / 1000
CALHUMI = (0.24 + 0.45 * SHAIENT)
CALHUMPROI = (CALHUMEI + CALHUMI) / 2
DENSAIRTO = 10 * PRLOCALPA / R * TVIRTUAL
DENSAIRTOI = DENSAIRTO / 16.019
RDA = DENSAIR / DENSAIRTO
PRVSATWBS = 6.112 * Exp((17.67 * TWSAL) / (243.5 + TWSAL))
RWS = (Z * PRVSATWBS) / (PRLOCAL - PRVSATWBS)
RPRIMAS = RWS / 2
R2PRIMAS = RWS + ((CPD + RPRIMAS * CPV) / CVAGS) * (0.99 *
TWSAL - TWSAL)
RPRIMAES = (R2PRIMAS + RWS) / 2
PRVAPORS = R2PRIMAS * PRLOCAL / (Z + R2PRIMAS)
PRVAPORKPAS = 101.325 * PRVAPORS / 1000
SHAIS = (PRVAPORKPAS * PESMOL) / (CUG * TAWSAL)
HAIRS = ((1005 + (1884 * SHAIS)) * TWSAL + (CVAGS * SHAIS))
/ 1000
VOLHUMS = ((1 / 29) + SHAIS / 18) * 24.45
VOLHUME = (0.00283 + 0.00456 * SHAIENT) * (TDENTR + 273)
' Fin de procedimiento para calcular humidificación
End Sub

```

Public Sub TablaTorre(PASO As Double) 'PASO As Double)

```

Dim Base As Database, Retable As Recordset
Set Base = Workspaces(0).OpenDatabase(DirPrograma + "\bulbo.mdb")
Set Retable = Base.OpenRecordset("Tbulbo", dbOpenTable)
SUMADIFER = 0#
CTSAL = TSAL

```

```

If Not Retable.EOF Then
    If Retable.RecordCount > 0 Then
        Retable.MoveFirst
    End If
End If

```

```

Do While Not Retable.EOF
    Retable.Delete
    Retable.MoveNext
Loop

```



```
' LLenar el control Data y DBgrid de Tabla Humedad
DatosTablaForm.DbgridHumedad.Refresh
```

```
DatosTablaForm.DataHumedad.DatabaseName=DirPrograma+"bulbo.mdb"
```

```
' LLenar el control Data y DBgrid de Tabla Humedades
DatosTablaHumedades.DbgridHumedades.Refresh
DatosTablaHumedades.DataHumedades.DatabaseName = DirPrograma
+ "\bulbo.mdb"
```

```
' LLenar el control Data y DBgrid de Tabla Salida aire
DatosTablaSalAire.DbgridSalAire.Refresh
DatosTablaSalAire.DataSalAire.DatabaseName = DirPrograma +
"\bulbo.mdb"
```

```
While (CTSAL <= TENTR)
  CVAGEE = 2500800 - 2370 * CTSAL
  PRVSATWBA = 6.112 * Exp((17.67 * CTSAL) / (243.5 + CTSAL))
  RWA = (Z * PRVSATWBA) / (PRLOCAL - PRVSATWBA)
  RPRIMAA = RWA / 2
  RPRIMAACT = RWA + ((CPD + RPRIMAA * CPV) / CVAGE) *
  (TWENTR - TDENTR)
  Do
    RPRIMAANT = RPRIMAACT
    RPRIMAA = (RPRIMAACT + RWA) / 2
    RPRIMAACT = RWA + ((CPD + RPRIMAA * CPV) / CVAGE) *
  (TWENTR - TDENTR)
  Loop Until (Abs(RPRIMAACT - RPRIMAANT) < EPSILON)

  PRVAPORA = RPRIMAACT * PRLOCAL / (Z + RPRIMAACT)
  PRVAPORKPAA = PRVAPORA * 101.325 / 1000
  SHSATUR = (PRVAPORKPAA * PESMOL) / (CUG * TASAL)
  HSATUR = ((1005 + (1884 * SHSATUR)) * CTSAL + (CVAGEE *
  SHSATUR)) / 1000
  GAIRMIN = (LENTR * (CAL / 1000) * (TENTR - TSAL)) / (HSATUR -
  HAIRE)
  GAIR = 1.5 * GAIRMIN
  Retable.AddNew
  TotalRegs = TotalRegs + 1
  Retable("CTSAL") = CTSAL
  Retable("HSATUR") = HSATUR
  Retable("HENTALPIA") = 0#
  Retable("DIFENT") = 0#
  Retable("SHSATUR") = SHSATUR
```

```
Retable("GAIR") = GAIR
Retable.Update
CTSAL = CTSAL + PASO 'PASO
Wend
```

```
Retable.MoveFirst
CTSAL = TSAL
```

```
While (CTSAL <= TENTR)
  Retable.Edit
  HENTALPIA = ((LENTR * (CAL / 1000) * (CTSAL - TSAL)) / GAIR) +
  HAIRE
  DIFERENTIAL = (Retable("HSATUR") - HENTALPIA)
  SUMADIFER = SUMADIFER + DIFERENTIAL
  DIFENT = 1 / DIFERENTIAL
  Retable("HENTALPIA") = HENTALPIA
  Retable("DIFENT") = DIFENT
  Retable.Update
  Retable.MoveNext
  CTSAL = CTSAL + PASO 'PASO
Wend
```

```
Retable.Close
Base.Close
End Sub
```

```
Public Sub EnergiaAguaTorre()
```

```
'Escoger primer elemento de la tabla HENTINI y HSATURINI
Dim Base As Database, Retable As Recordset
Set Base = Workspaces(0).OpenDatabase(App.Path + "\bulbo.mdb")
Set Retable = Base.OpenRecordset("Tbulbo", dbOpenTable)
```

```
If Retable.RecordCount > 0 Then
  Retable.MoveFirst
End If
```

```
HENTINI = Retable("HENTALPIA")
HSATURINI = Retable("HSATUR")
```

```
Retable.Close
Base.Close
```

```
MEDIAENT = SUMADIFER / (TENTR - TSAL)
```

' Procedimiento operación de la torre

$$\text{REL} = \text{LENTR} / \text{GAIR}$$

$$\text{RENF} = \text{TENTR} - \text{TSAL}$$

$$\text{TAPROX} = \text{TSAL} - \text{TWENTR}$$

$$\text{EFIC} = ((\text{TENTR} - \text{TSAL}) / (\text{TENTR} - \text{TWENTR})) * 100$$

$$\text{DELTAH1} = \text{TSAL} + 0.1 * (\text{TENTR} - \text{TSAL})$$

$$\text{DELTAH2} = \text{TSAL} + 0.4 * (\text{TENTR} - \text{TSAL})$$

$$\text{DELTAH3} = \text{TENTR} - 0.4 * (\text{TENTR} - \text{TSAL})$$

$$\text{DELTAH4} = \text{TENTR} - 0.1 * (\text{TENTR} - \text{TSAL})$$

$$\text{A} = ((\text{TENTR} - \text{TSAL}) / 4) * (1 / \text{DELTAH1} + 1 / \text{DELTAH2} + 1 / \text{DELTAH3} + 1 / \text{DELTAH4})$$

'Fin de procedimiento operación torre

'Procedimiento dimensiones de la torre

$$\text{AREA} = \text{LENTR} / \text{LPRIMA}$$

$$\text{LONGT} = \text{Sqr}(\text{AREA})$$

$$\text{GAIRPRIMA} = \text{GAIR} / \text{AREA}$$

$$\text{VELAIR} = \text{GAIRPRIMA} * \text{VOLHUME}$$

$$\text{GAIRPRIMA1} = 1.356 * 10^{(3)} * \text{GAIRPRIMA}$$

$$\text{LPRIMA1} = 1.356 * 10^{(3)} * \text{LPRIMA}$$

$$\text{HXAI} = 0.07728 * (\text{GAIRPRIMA1})^{(0.7)} * (\text{LPRIMA1})^{(0.5)}$$

$$\text{HXA} = 5.679 * \text{HXAI}$$

$$\text{HYAI} = 0.2277 * (\text{GAIRPRIMA1})^{(0.7)} * (\text{LPRIMA1})^{(0.07)}$$

$$\text{HYA} = 5.679 * \text{HYAI}$$

$$\text{KYAI} = \text{HYAI} / \text{CALHUMPROI}$$

$$\text{PENDIENTE} = -(\text{HXAI} * \text{CALHUMPROI}) / \text{HYAI}$$

$$\text{NTOG} = (\text{HENTALPIA} - \text{HENTINI}) / (\text{MEDIAENT})$$

$$\text{ALTI} = \text{NTOG} * \text{GAIRPRIMA1} * \text{CALHUMPROI} / \text{HYAI}$$

$$\text{VOL} = (\text{ALTI} / 3.28) * \text{AREA}$$

$$\text{HTOGI} = \text{GAIRPRIMA1} * \text{CALHUMPROI} / \text{HYAI}$$

$$\text{MCM} = (\text{GAIR} / \text{RDA}) * 60$$

$$\text{PCM} = \text{MCM} / 0.02832$$

$$\text{Le} = \text{HYAI} / (\text{KYAI} * \text{CALHUMPROI})$$

'Fin de procedimiento operación de la torre

' Procedimiento para calcular consumo de energía

$$\text{QREMOCOND} = (\text{LENTR} * \text{CAL} * (\text{TENTR} - \text{TSAL})) / 1000$$

$$\text{DENSL} = 4.225 * 10^{-5} * \text{TENTR}^3 - 7.964 * 10^{-3} * \text{TENTR}^2 + 6.017 * 10^{-2} * \text{TENTR} + 1000$$

$$\text{GPM} = (\text{LENTR} / \text{DENSL}) * 16030.2$$

$$\text{PARR} = 0.0002 * \text{GPM}$$

$$\text{CONC} = \text{XENT1} / \text{XPARC}$$

REVAP = (QREMOCOND / (((HAIRS - HAIRE) / (SHAIS - SHAIENT)) -
 (CAL / 1000) * (TREPOS - TREF))) + RCOMPKG
 REVAPGPM = (REVAP / DENSL) * 16030.2
 RELIM = (REVAP - ((CONC - 1) * PARR)) / (CONC - 1)
 RELIMKG = RELIM * DENSL / 16030.2
 RCOMP = PARR + RELIM + REVAPGPM
 RCOMPKG = RCOMP * DENSL / 16030.2
 CICLOS = (REVAP + RELIM) / RELIM
 LSAL = LENTR - RCOMPKG
 MY = 0.0137 * (DORIF / VOLHUMS) ^ 0.5
 HENTR = (CAL * (TENTR - TREF)) / 1000
 HSAL = (CAL * (TSAL - TREF)) / 1000
 QS = MY * HAIRE + LENTR * HENTR - MY * HAIRS - LSAL * HSAL
 QW = LENTR * HENTR - LSAL * HSAL
 VHP = PCM * DELTAPRESION * DENSAIRTOI / 33000 * 12
 BHP = (GPM * 1.4 * ALTI) / (3960 * EFICB * SPGR)
 ' Fin procedimiento para calcular consumo de energía
 End Sub

Public Sub CostosAgua()

' Procedimiento para calcular costos de consumo de agua
 RCOMPY = 60 * RCOMP * HOPERTORRE
 COSTAGREPOS = RCOMPY * COSTAGUNID
 COSTAGELIM = 119415 * RELIM
 COSTDESELIM = 60 * RELIM * HOPERTORRE * FACTORCARGA *
 COSTAGELIM
 COSTRATQUIM = 60 * (RELIM + PARR) * HOPERTORRE *
 FACTORCARGA * COSTRATQUIMPROM
 COSTOTALES = COSTAGREPOS + COSTDESELIM + COSTRATQUIM
 COSTENERG = COSTKWH * HOPERTORRE
 HP = BHP + VHP
 COSTHPB = (BHP * 0.745 / EFICB) * COSTENERG
 COSTHPV = (VHP * 0.745 / EFICB) * COSTENERG
 COSTHP = (HP * 0.745 / EFICB) * COSTENERG
 ' Fin procedimiento para calcular costos de consumo de agua

' Procedimiento para calcular costos torre
 End Sub

Public Sub CostosMateriales()

' Procedimiento para calcular costos de materiales
 NUMPISOS = (ALTI / (ALTP * 3.28))
 LONGP = LONGT - 0.1016
 NUMPP = (LONGP / DISTCENT) + 1

```
NUMPIEZAS = NUMPISOS * NUMPP
VOLP = LONGP * ANCHOP * ALTP
VOLT = NUMPIEZAS * VOLP
COSTOTP = COSTOP * VOLT
End Sub
```

'Datos de ingreso sobre humidificación

```
Private Sub Altura_Click()
End Sub
Private Sub Form_Load()
```

```
Me.Width = Screen.Width * 0.8
Me.Height = Screen.Height * 0.8
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
Dim TituloDatErr, EstiloDatErr
'Mensajes para el ingreso de datos errador
Me.Top = (Principal.Height - Me.Height) / 2 - 600
Me.Left = (Principal.Width - Me.Width) / 2
TituloDatErr = "Ingreso de Datos"
EstiloDatErr = vbOKOnly + vbExclamation + vbApplicationModal
End Sub
```

```
Private Sub Frame1_DragDrop(Source As Control, X As Single, Y As Single)
End Sub
Private Sub MELEV_GotFocus()
MELEV.ToolTipText = "0<=Altura<3500"
End Sub
```

```
Private Sub MELEV_LostFocus()
If Not MELEV.Text = "" Then
If Not IsNumeric(MELEV.Text) Then
MsgBox "La Elevacion debe ser Numérica.", vbInformation, "Error"
MELEV.SetFocus
Else
If (Cdbl(MELEV.Text) < 0) Or (Cdbl(MELEV.Text) > 3500) Then
MsgBox "Rango Temperatura: 0<=Temp<3500 ", vbInformation,
"Error"
MELEV.SetFocus
End If
End If
End Sub
```

```
End Sub
Private Sub MTDENTR_GotFocus()
    MTDENTR.ToolTipText = "5<=temperatura<35"
End Sub
```

```
Private Sub MTDENTR_LostFocus()
If Not MTDENTR.Text = "" Then
If Not IsNumeric(MTDENTR.Text) Then
    MsgBox "La Temperatura debe ser Numérica.", vbInformation, "Error"
    MTDENTR.SetFocus
Else
    If (Cdbl(MTDENTR.Text) < 5) Or (Cdbl(MTDENTR.Text) > 35) Then
        MsgBox "Rango Temperatura: 5<=Temp<35 ", vbInformation,
"Error"
        MTDENTR.SetFocus
    End If
End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub MTENTR_GotFocus()
MTENTR.ToolTipText = CStr(Cdbl(MTDENTR.Text)) & "<Temp<60"
End Sub
```

```
Private Sub MTENTR_LostFocus()
If Not MTENTR.Text = "" Then
If Not IsNumeric(MTENTR.Text) Then
    MsgBox "La Temperatura debe ser Numérica.", vbInformation, "Error"
    MTENTR.SetFocus
Else
    If (Cdbl(MTENTR.Text) <= (Cdbl(MTDENTR.Text))) Or
(Cdbl(MTENTR.Text) >= 60) Then
        MsgBox "Rango Altura:" & CStr(Cdbl(MTDENTR.Text)) &
"<Temp<60", vbInformation, "Error"
        MTENTR.SetFocus
    End If
End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub MTSAL_GotFocus()
MTSAL.ToolTipText = CStr(Cdbl(MTWENTR.Text) + 3) & "<=Temp<" &
CStr(Cdbl(MTENTR.Text))
End Sub
```

```

Private Sub MTSAL_LostFocus()
If Not MTSAL.Text = "" Then
If Not IsNumeric(MTSAL.Text) Then
    MsgBox "La Temperatura debe ser Numérica.", vbInformation, "Error"
    MTSAL.SetFocus
    Else
        If (Cdbl(MTSAL.Text) <= (Cdbl(MTWENTR.Text) + 3)) Or
(Cdbl(MTSAL.Text) >= Cdbl(MTENTR.Text)) Then
            MsgBox "Rango Temperatura:" & CStr(Cdbl(MTWENTR.Text) + 3)
& "<=Temp<" & CStr(Cdbl(MTENTR.Text)), vbInformation, "Error"
            MTSAL.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub MTWENTR_GotFocus()
MTWENTR.ToolTipText = "0<Temp<=" & MTDENTR.Text
End Sub

```

```

Private Sub MTWENTR_LostFocus()
If Not MTWENTR.Text = "" Then
If Not IsNumeric(MTWENTR.Text) Then
    MsgBox "La Temperatura debe ser Numérica.", vbInformation, "Error"
    MTWENTR.SetFocus
    Else
        If (Cdbl(MTWENTR.Text) <= 0) Or (Cdbl(MTWENTR.Text) >
Cdbl(MTDENTR.Text)) Then
            MsgBox "Rango Altura: 0<Temp<=" & MTDENTR.Text,
vbInformation, "Error"
            MTWENTR.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub MTWSAL_Change()
If IsNumeric(MTWSAL.Text) Then
    End If
End Sub

```

```

Private Sub MTWSAL_GotFocus()

```

```
MTWSAL.ToolTipText = CStr(CDbI(MTDENTR.Text)) & "<=Temp<" &  
CStr(CDbI(MTENTR.Text))  
End Sub
```

```
Private Sub MTWSAL_LostFocus()  
If Not MTWSAL.Text = "" Then  
If Not IsNumeric(MTWSAL.Text) Then  
    MsgBox "La Temperatura debe ser Numérica.", vbInformation, "Error"  
    MTWSAL.SetFocus  
Else  
    If (CDbl(MTWSAL.Text) <= CDbI(MTDENTR.Text)) Or  
(CDbl(MTWSAL.Text) >= CDbI(MTENTR.Text)) Then  
        MsgBox "Rango Temperatura: " & CStr(CDbI(MTDENTR.Text)) &  
"<=Temp<" & CStr(CDbI(MTENTR.Text)), vbInformation, "Error"  
        MTWSAL.SetFocus  
    End If  
End If  
End Sub
```

'Ingreso de datos sobre consumo de energía

```
Option Explicit  
Private Sub MELEV_Change()  
End Sub
```

```
Private Sub AceptEnergia_Click()  
If (MTREPOS.Text <> "" And MLENTR.Text <> "" And MXPARC.Text <> ""  
And MXENT1.Text <> "" And MDORIF.Text <> "") Then  
TREPOS = CDbI(MTREPOS.Text)  
LENTR = CDbI(MLENTR.Text)  
XPARC = CDbI(MXPARC.Text)  
XENT1 = CDbI(MXENT1.Text)  
DORIF = CDbI(MDORIF.Text)  
LPRIMA = CDbI(MLprima.Text)  
Call TablaTorre(1)  
Call EnergiaAguaTorre  
Unload IngrEnergia  
DatosEnergForm.Show  
Else  
    MsgBox "No se Aceptan Datos Nulos.", vbInformation, "Error"  
End If  
End Sub
```



```
Private Sub Form_Load()  
    Me.Width = Screen.Width * 0.8  
    Me.Height = Screen.Height * 0.8  
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2  
End Sub
```

```
Private Sub Label6_Click()  
End Sub
```

```
Private Sub MDORIF_GotFocus()  
MDORIF.ToolTipText = "0<Orificio<16"  
End Sub
```

```
Private Sub MDORIF_LostFocus()  
If Not MDORIF.Text = "" Then  
    If Not IsNumeric(MDORIF.Text) Then  
        MsgBox "La elevación debe ser numérica.", vbInformation, "Error"  
        MDORIF.SetFocus  
    Else  
        If (Cdbl(MDORIF.Text) <= 0) Or (Cdbl(MDORIF.Text) >= 16) Then  
            MsgBox "Rango Orificio 0<Orificio<16", vbInformation, "Error"  
            MDORIF.SetFocus  
        End If  
    End If  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub MLENTTR_GotFocus()  
MLENTTR.ToolTipText = "0<Flujo<30"  
End Sub
```

```
Private Sub MLENTTR_LostFocus()  
If Not MLENTTR.Text = "" Then  
    If Not IsNumeric(MLENTTR.Text) Then  
        MsgBox "La elevación debe ser numérica.", vbInformation, "Error"  
        MLENTTR.SetFocus  
    Else  
        If (Cdbl(MLENTTR.Text) <= 0) Or (Cdbl(MLENTTR.Text) > 30) Then  
            MsgBox "Rango Flujo 0<Flujo<30", vbInformation, "Error"  
            MLENTTR.SetFocus  
        End If  
    End If  
End If
```

End Sub

```
Private Sub MLprima_GotFocus()  
MLprima.ToolTipText = "0<Flujo<=5"  
End Sub
```

```
Private Sub MLprima_LostFocus()  
If Not MLprima.Text = "" Then  
    If Not IsNumeric(MLprima.Text) Then  
        MsgBox "El flujo especifico debe ser numerico.", vbInformation, "Error"  
        MLprima.SetFocus  
    Else  
        If (Cdbl(MLprima.Text) <= 0) Or (Cdbl(MLprima.Text) > 5) Then  
            MsgBox "Flujo especifico: 0<Flujo<5", vbInformation, "Error"  
            MLprima.SetFocus  
        End If  
    End If  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub MTREPOS_GotFocus()  
MTREPOS.ToolTipText = "0<Temp<=" & CStr(TSAL)  
End Sub
```

```
Private Sub MTREPOS_LostFocus()  
If Not MTREPOS.Text = "" Then  
    If Not IsNumeric(MTREPOS.Text) Then  
        MsgBox "La elevación debe ser numérica.", vbInformation, "Error"  
        MTREPOS.SetFocus  
    Else  
        If (Cdbl(MTREPOS.Text) <= 0) Or (Cdbl(MTREPOS.Text) > TSAL)  
Then  
            MsgBox "Rango Temperatura: 0<Temp<=" & CStr(TSAL),  
vbInformation, "Error"  
            MTREPOS.SetFocus  
        End If  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub MXENT1_GotFocus()  
MXENT1.ToolTipText = "0<Dureza<=2000"  
End Sub
```

```

Private Sub MXENT1_LostFocus()
If Not MXENT1.Text = "" Then
    If Not IsNumeric(MXENT1.Text) Then
        MsgBox "La elevación debe ser numérica.", vbInformation, "Error"
        MXENT1.SetFocus
    Else
        If (Cdbl(MXENT1.Text) <= 0) Or (Cdbl(MXENT1.Text) > 2000)
Then
            MsgBox "Rango Dureza 0<Dureza<=2000", vbInformation, "Error"
            MXENT1.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub MXPARC_GotFocus()
MXPARC.ToolTipText = "0<Flujo<" & MXENT1.Text
End Sub

```

```

Private Sub MXPARC_LostFocus()
If Not MXPARC.Text = "" Then
    If Not IsNumeric(MXPARC.Text) Then
        MsgBox "La elevación debe ser numérica.", vbInformation, "Error"
        MXPARC.SetFocus
    Else
        If (Cdbl(MXPARC.Text) <= 0) Or (Cdbl(MXPARC.Text) >=
Cdbl(MXENT1.Text)) Then
            MsgBox "Rango Flujo 0<Flujo<" & MXENT1.Text, vbInformation,
"Error"
            MXPARC.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub

```

'Salida de datos sobre humidificación

```

Private Sub Command1_Click()
DatosHumiForm.Enabled = False
Resultados.Show
Resultados.Enabled = True
Resultados.SetFocus
End Sub

```

```
Private Sub ComboCalhumi_Click()
If ComboCalhumi.ListIndex = 0 Then LabelCalhumi.Caption =
Format(CALHUMI, "0.000")
If ComboCalhumi.ListIndex = 1 Then LabelCalhumi.Caption =
Format(CALHUMI * 4.187, "0.000")
If ComboCalhumi.ListIndex = 2 Then LabelCalhumi.Caption =
Format(CALHUMI * 4187, "0.000")
If ComboCalhumi.ListIndex = 3 Then LabelCalhumi.Caption =
Format(CALHUMI * 1000, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboHaire_Click()
If ComboHaire.ListIndex = 0 Then LabelHaire.Caption = Format(HAIRE,
"0.000")
If ComboHaire.ListIndex = 1 Then LabelHaire.Caption = Format(HAIRE *
1000, "0.000")
If ComboHaire.ListIndex = 2 Then LabelHaire.Caption = Format((HAIRE *
1000) / 2326, "0.000")
If ComboHaire.ListIndex = 3 Then LabelHaire.Caption = Format((HAIRE *
1000) / 4187, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboHairs_Click()
If ComboHairs.ListIndex = 0 Then LabelHairs.Caption = Format(HAIRS,
"0.000")
If ComboHairs.ListIndex = 1 Then LabelHairs.Caption = Format(HAIRS *
1000, "0.000")
If ComboHairs.ListIndex = 2 Then LabelHairs.Caption = Format((HAIRS *
1000) / 2326, "0.000")
If ComboHairs.ListIndex = 3 Then LabelHairs.Caption = Format((HAIRS *
1000) / 4187, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboPrlocal_Click()
If ComboPrlocal.ListIndex = 0 Then LabelPrlocal.Caption =
Format(PRLOCAL, "0.000")
If ComboPrlocal.ListIndex = 1 Then LabelPrlocal.Caption = Format(PRLOCAL
* 101.325 / 1000, "0.000")
If ComboPrlocal.ListIndex = 2 Then LabelPrlocal.Caption =
Format((PRLOCAL * 101.325) / 6895, "0.000")
If ComboPrlocal.ListIndex = 3 Then LabelPrlocal.Caption =
Format((PRLOCAL * 101325) / 133300, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboShais_Click()
If ComboShais.ListIndex = 0 Then LabelShais.Caption = Format(SHAIS,
"0.000")
If ComboShais.ListIndex = 1 Then LabelShais.Caption = Format(SHAIS,
"0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboTpr_Click()
If ComboTpr.ListIndex = 0 Then LabelTpr.Caption = Format(TPR, "0.000")
If ComboTpr.ListIndex = 1 Then LabelTpr.Caption = Format(((9 / 5) * TPR) +
32, "0.000")
If ComboTpr.ListIndex = 2 Then LabelTpr.Caption = Format(TPR + 273,
"0.000")
If ComboTpr.ListIndex = 3 Then LabelTpr.Caption = Format(((9 / 5) * TPR) +
492, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboVirtual_Click()
If ComboVirtual.ListIndex = 0 Then LabelTvirtual.Caption =
Format((TVIRTUAL - 273), "0.000")
If ComboVirtual.ListIndex = 1 Then LabelTvirtual.Caption = Format(((9 / 5) *
(TVIRTUAL - 273)) + 32, "0.000")
If ComboVirtual.ListIndex = 2 Then LabelTvirtual.Caption =
Format((TVIRTUAL - 273) + 273, "0.000")
If ComboVirtual.ListIndex = 3 Then LabelTvirtual.Caption = Format(((9 / 5) *
(TVIRTUAL - 273)) + 492, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboVolhume_Click()
If ComboVolhume.ListIndex = 0 Then LabelVolhume.Caption =
Format(VOLHUME, "0.000")
If ComboVolhume.ListIndex = 1 Then LabelVolhume.Caption =
Format(VOLHUME * 16.026, "0.000")
If ComboVolhume.ListIndex = 2 Then LabelVolhume.Caption =
Format(VOLHUME * 1000, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboVolhums_Click()
If ComboVolhums.ListIndex = 0 Then LabelVolhums.Caption =
Format(VOLHUMS, "0.000")
If ComboVolhums.ListIndex = 1 Then LabelVolhums.Caption =
Format(VOLHUMS * 16.026, "0.000")
If ComboVolhums.ListIndex = 2 Then LabelVolhums.Caption =
Format(VOLHUMS * 1000, "0.000")
```

End Sub

```
Private Sub Form_Activate()  
LabelShaient.Caption = Format(SHAIENT, "0.000")  
LabelShais.Caption = Format(SHAIS, "0.000")  
LabelHaire.Caption = Format(HAIRE, "0.000")  
LabelHairs.Caption = Format(HAIRS, "0.000")  
LabelVolhume.Caption = Format(VOLHUME, "0.000")  
LabelVolhums.Caption = Format(VOLHUMS, "0.000")  
LabelCalhumi.Caption = Format(CALHUMI, "0.000")  
LabelTpr.Caption = Format(TPR, "0.000")  
LabelRelhum.Caption = Format(RELHUM, "0.000")  
LabelTvirtual.Caption = Format(TVIRTUAL - 273, "0.000")  
LabelPrlocal.Caption = Format(PRLOCAL, "0.000")  
End Sub
```

```
Private Sub Text1_Change()  
End Sub  
Private Sub Label6_Click(Index As Integer)  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
Me.Width = Screen.Width * 0.8  
Me.Height = Screen.Height * 0.8  
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2  
End Sub
```

```
Private Sub LabelShaient_Click()  
End Sub  
Private Sub Picture2_Click()  
End Sub  
Private Sub SalHumi_Click()  
Unload DatosHumiForm  
Principal.Enabled = True  
Principal.Show  
Principal.Energia.Enabled = True  
Principal.MenuEnergia = True  
End Sub
```

'Salida de datos sobre consumo de enrgía

```
Private Sub botonenerg_Click()
```

```
Unload DatosEnergForm
Principal.Enabled = True
Principal.Tablas.Enabled = True
Principal.TablaEntalpia.Enabled = True
Principal.OperTorreForm.Enabled = True
Principal.PropiedadesAgua.Enabled = True
Principal.OperTorre.Enabled = True
Principal.DimenTorreForm.Enabled = True
Principal.CostTorreForm.Enabled = True
Principal.PropAgua.Enabled = True
Principal.MenuEntalpiaOperacion.Enabled = True
Principal.MenuEntalpSatur.Enabled = True
Principal.MenuFuncionTorre.Enabled = True
Principal.MenuRelacionEntalpia.Enabled = True
Principal.OperTorre.Enabled = True
Principal.Dimension.Enabled = True
Principal.Costos.Enabled = True
Principal.TablaHumSat.Enabled = True
Principal.TablaFlujFinal.Enabled = True
Principal.MenuHumEnt.Enabled = True
Principal.Show
End Sub
```

```
Private Sub ComboBhp_Click()
If ComboBhp.ListIndex = 0 Then LabelBhp.Caption = Format(BHP, "0.000")
If ComboBhp.ListIndex = 1 Then LabelBhp.Caption = Format(BHP * 745.7,
"0.000")
If ComboBhp.ListIndex = 2 Then LabelBhp.Caption = Format(BHP * (745.7 /
1000), "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboHxa1_Click()
If ComboHxa1.ListIndex = 0 Then LabelHxa.Caption = Format(HXA, "0.000")
If ComboHxa1.ListIndex = 1 Then LabelHxa.Caption = Format(HXA / 5.679,
"0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboHya_Click()
If ComboHya.ListIndex = 0 Then LabelHya.Caption = Format(HYA, "0.000")
If ComboHya.ListIndex = 1 Then LabelHya.Caption = Format(HYA / 5.679,
"0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboKyai_Click()
```

```
If ComboKyai.ListIndex = 0 Then LabelKyai.Caption = Format(KYAI, "0.000")
If ComboKyai.ListIndex = 1 Then LabelKyai.Caption = Format(KYAI * 1.356 *
0.001, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub Comboqremocond_Click()
If Comboqremocond.ListIndex = 0 Then LabelQremocond.Caption =
Format(KYAI, "0.000")
If Comboqremocond.ListIndex = 1 Then LabelQremocond.Caption =
Format(KYAI * 1000, "0.000")
If Comboqremocond.ListIndex = 2 Then LabelQremocond.Caption =
Format(KYAI * (1000 / 0.2931), "0.000")
If Comboqremocond.ListIndex = 3 Then LabelQremocond.Caption =
Format(KYAI * (1000 / 0.004885), "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboQs_Click()
If ComboQs.ListIndex = 0 Then LabelQs.Caption = Format(QS, "0.000")
If ComboQs.ListIndex = 1 Then LabelQs.Caption = Format(QS * 1000,
"0.000")
If ComboQs.ListIndex = 2 Then LabelQs.Caption = Format(QS * (1000 /
0.2931), "0.000")
If ComboQs.ListIndex = 3 Then LabelQs.Caption = Format(QS * (1000 /
0.004885), "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboQw_Click()
If ComboQw.ListIndex = 0 Then LabelQw.Caption = Format(QW, "0.000")
If ComboQw.ListIndex = 1 Then LabelQw.Caption = Format(QW * 1000,
"0.000")
If ComboQw.ListIndex = 2 Then LabelQw.Caption = Format(QW * (1000 /
0.2931), "0.000")
If ComboQw.ListIndex = 3 Then LabelQw.Caption = Format(QW * (1000 /
0.004885), "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboVhp_Click()
If ComboVhp.ListIndex = 0 Then LabelVhp.Caption = Format(VHP, "0.000")
If ComboVhp.ListIndex = 1 Then LabelVhp.Caption = Format(VHP * 745.7,
"0.000")
If ComboVhp.ListIndex = 2 Then LabelVhp.Caption = Format(VHP * (745.7 /
1000), "0.000")
End Sub
```



```
Private Sub Form_Activate()  
LabelHxa.Caption = Format(HXA, "0.000")  
LabelHya.Caption = Format(HYA, "0.000")  
LabelKyai.Caption = Format(KYAI, "0.000")  
LabelLe.Caption = Format(Le, "0.000")  
LabelQremocond.Caption = Format(QREMOCOND, "0.000")  
LabelQs.Caption = Format(QS, "0.000")  
LabelQw.Caption = Format(QW, "0.000")  
LabelBhp.Caption = Format(BHP, "0.000")  
LabelVhp.Caption = Format(VHP, "0.000")  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
Me.Width = Screen.Width * 0.8  
Me.Height = Screen.Height * 0.8  
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2  
End Sub
```

'Salida de información sobre consumo de agua

```
Private Sub aceptagua_Click()  
Unload DatosAguaForm  
Principal.Enabled = True  
Principal.Show  
End Sub
```

```
Private Sub ComboHentr_Click()  
If ComboHentr.ListIndex = 0 Then LabelHentr.Caption = Format(HENTR,  
"0.000")  
If ComboHentr.ListIndex = 1 Then LabelHentr.Caption = Format(HENTR *  
1000, "0.000")  
If ComboHentr.ListIndex = 2 Then LabelHentr.Caption = Format((HENTR *  
1000) / 2326, "0.000")  
If ComboHentr.ListIndex = 3 Then LabelHentr.Caption = Format((HENTR *  
1000) / 4187, "0.000")  
End Sub
```

```
Private Sub ComboHsal_Click()  
If ComboHsal.ListIndex = 0 Then LabelHsal.Caption = Format(HSAL, "0.000")  
If ComboHsal.ListIndex = 1 Then LabelHsal.Caption = Format(HSAL * 1000,  
"0.000")
```

```
If ComboHsal.ListIndex = 2 Then LabelHsal.Caption = Format((HSAL * 1000) / 2326, "0.000")
If ComboHsal.ListIndex = 3 Then LabelHsal.Caption = Format((HSAL * 1000) / 4187, "0.000")
End Sub
Private Sub ComboParr_Click()
If ComboParr.ListIndex = 0 Then LabelParr.Caption = Format(PARR, "0.000")
If ComboParr.ListIndex = 1 Then LabelParr.Caption = Format(PARR * DENSL / 16030.2, "0.000")
If ComboParr.ListIndex = 2 Then LabelParr.Caption = Format((PARR * DENSL / 16030.2) / 0.000126, "0.000")
If ComboParr.ListIndex = 3 Then LabelParr.Caption = Format(PARR * DENSL * 120 / 16030.2, "0.000")
If ComboParr.ListIndex = 4 Then LabelParr.Caption = Format((PARR * DENSL * 2 / 16030.2), "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboRcomp_Click()
If ComboRcomp.ListIndex = 0 Then LabelRcomp.Caption = Format(RCOMP, "0.000")
If ComboRcomp.ListIndex = 1 Then LabelRcomp.Caption = Format(RCOMP * DENSL / 16030.2, "0.000")
If ComboRcomp.ListIndex = 2 Then LabelRcomp.Caption = Format((RCOMP * DENSL / 16030.2) / 0.000126, "0.000")
If ComboRcomp.ListIndex = 3 Then LabelRcomp.Caption = Format(RCOMP * DENSL * 120 / 16030.2, "0.000")
If ComboRcomp.ListIndex = 4 Then LabelRcomp.Caption = Format((RCOMP * DENSL * 2 / 16030.2), "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboRelim_Click()
If ComboRelim.ListIndex = 0 Then LabelRelim.Caption = Format(RELIM, "0.000")
If ComboRelim.ListIndex = 1 Then LabelRelim.Caption = Format(RELIM * DENSL / 16030.2, "0.000")
If ComboRelim.ListIndex = 2 Then LabelRelim.Caption = Format((RELIM * DENSL / 16030.2) / 0.000126, "0.000")
If ComboRelim.ListIndex = 3 Then LabelRelim.Caption = Format(RELIM * DENSL * 120 / 16030.2, "0.000")
If ComboRelim.ListIndex = 4 Then LabelRelim.Caption = Format((RELIM * DENSL * 2 / 16030.2), "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboRevap_Click()
```

```

If ComboRevap.ListIndex = 0 Then LabelRevap.Caption =
Format(REVAPGPM, "0.000")
If ComboRevap.ListIndex = 1 Then LabelRevap.Caption =
Format(REVAPGPM * DENSL / 16030.2, "0.000")
If ComboRevap.ListIndex = 2 Then LabelRevap.Caption =
Format((REVAPGPM * DENSL / 16030.2) / 0.000126, "0.000")
If ComboRevap.ListIndex = 3 Then LabelRevap.Caption =
Format(REVAPGPM * DENSL * 120 / 16030.2, "0.000")
If ComboRevap.ListIndex = 4 Then LabelRevap.Caption =
Format((REVAPGPM * DENSL * 2 / 16030.2), "0.000")
End Sub

```

```

Private Sub Form_Activate()
LabelParr.Caption = Format(PARR, "0.000")
LabelRevap.Caption = Format(REVAPGPM, "0.000")
LabelRelim.Caption = Format(RELIM, "0.000")
LabelRcomp.Caption = Format(RCOMP, "0.000")
LabelHentr.Caption = Format(HENTR, "0.000")
LabelHsal.Caption = Format(HSAL, "0.000")
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
Me.Width = Screen.Width * 0.8
Me.Height = Screen.Height * 0.8
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
End Sub

```

'Salida sobre operación de la torre

```

Option Explicit
Private Sub BotonOperEnerg_Click()
Unload DatosOperTorre
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub

```

```

Private Sub ComboGair_Click()
If ComboGair.ListIndex = 0 Then LabelGair.Caption = Format(GAIR, "0.000")
If ComboGair.ListIndex = 1 Then LabelGair.Caption = Format(GAIR * 7920,
"0.000")
If ComboGair.ListIndex = 2 Then LabelGair.Caption = Format(GAIR * 132,
"0.000")

```

```
If ComboGair.ListIndex = 3 Then LabelGair.Caption = Format(GAIR * 2.2, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboRenf_Click()
If ComboRenf.ListIndex = 0 Then LabelRenf.Caption = Format(RENF, "0.000")
If ComboRenf.ListIndex = 1 Then LabelRenf.Caption = Format(((9 / 5) * RENF) + 32, "0.000")
If ComboRenf.ListIndex = 2 Then LabelRenf.Caption = Format(RENF + 273, "0.000")
If ComboRenf.ListIndex = 3 Then LabelRenf.Caption = Format(((9 / 5) * RENF) + 492, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboTaprox_Click()
If ComboTaprox.ListIndex = 0 Then LabelTaprox.Caption = Format(TAPROX, "0.000")
If ComboTaprox.ListIndex = 1 Then LabelTaprox.Caption = Format(((9 / 5) * TAPROX) + 32, "0.000")
If ComboTaprox.ListIndex = 2 Then LabelTaprox.Caption = Format(TAPROX + 273, "0.000")
If ComboTaprox.ListIndex = 3 Then LabelTaprox.Caption = Format(((9 / 5) * TAPROX) + 492, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub ComboVelair_Click()
If ComboVelair.ListIndex = 0 Then LabelVelair.Caption = Format(VELAIR, "0.000")
If ComboVelair.ListIndex = 1 Then LabelVelair.Caption = Format(VELAIR * 3.28, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()
LabelA.Caption = Format(A, "0.000")
LabelEfic.Caption = Format(EFIC, "0.000")
LabelCiclos.Caption = Format(CICLOS, "0.000")
LabelGair.Caption = Format(GAIR, "0.000")
LabelRenf.Caption = Format(RENF, "0.000")
LabelTaprox.Caption = Format(TAPROX, "0.000")
LabelRel.Caption = Format(REL, "0.000")
LabelVelair.Caption = Format(VELAIR, "0.000")
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
    Me.Width = Screen.Width * 0.8  
    Me.Height = Screen.Height * 0.8  
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2  
End Sub
```

```
Private Sub Label1_Click()  
End Sub
```

'Salida de información sobre dimensión de la torre

```
Private Sub ComboAlti_Click()  
If ComboAlti.ListIndex = 0 Then LabelAlti.Caption = Format((ALTI / 3.28),  
"0.000")  
If ComboAlti.ListIndex = 1 Then LabelAlti.Caption = Format(ALTI, "0.000")  
End Sub
```

```
Private Sub ComboArea_Click()  
If ComboArea.ListIndex = 0 Then LabelArea.Caption = Format(AREA,  
"0.000")  
If ComboArea.ListIndex = 1 Then LabelArea.Caption = Format(AREA /  
0.0929, "0.000")  
End Sub
```

```
Private Sub ComboHtogi_Click()  
If ComboHtogi.ListIndex = 0 Then LabelHtogi.Caption = Format((HTOGI /  
3.28), "0.000")  
If ComboHtogi.ListIndex = 1 Then LabelHtogi.Caption = Format(HTOGI,  
"0.000")  
End Sub
```

```
Private Sub ComboVol_Click()  
If ComboVol.ListIndex = 0 Then LabelVol.Caption = Format(VOL, "0.000")  
If ComboVol.ListIndex = 1 Then LabelVol.Caption = Format(VOL / 0.02832,  
"0.000")  
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
Unload DatosDimenTorreForm  
Principal.Enabled = True  
Principal.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()  
LabelArea.Caption = Format(AREA, "0.000")  
LabelAlti.Caption = Format(ALTI / 3.28, "0.000")  
LabelVol.Caption = Format(VOL, "0.000")  
LabelNtog.Caption = Format(NTOG, "0.000")  
LabelHtogi.Caption = Format(HTOGI / 3.28, "0.000")  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
Me.Width = Screen.Width * 0.8  
Me.Height = Screen.Height * 0.8  
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2  
End Sub
```

'Ingreso de datos sobre consumo de agua y costo de empaques

Option Explicit

```
Private Sub BotonOpCostos_Click()  
Me.Top = (Principal.Height - Me.Height) / 2 - 600  
Me.Left = (Principal.Width - Me.Width) / 2  
OpcionCostos.Visible = False
```

```
    If (CheckCostAgua.Value = True) Then  
        IngrCostoAgua.Show  
    End If  
    If (CheckCostMat.Value = True) Then  
        IngrCostoMat.Show  
    End If
```

```
'Unload OpcionCostos  
End Sub
```

'Salida de datos sobre costo de empaques

```
Option Explicit  
Private Sub BotonCostoEmp_Click()  
Unload DatosCostoMat  
Principal.Enabled = True  
Principal.Show  
End Sub  
Private Sub Form_Activate()
```

```
LabelCostoTp.Caption = Format(COSTOTP, "0.000")
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Me.Width = Screen.Width * 0.8
    Me.Height = Screen.Height * 0.8
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
End Sub
```

'Salida de datos sobre costos de consumo de agua

```
Option Explicit
Private Sub BotonCostoagua_Click()
Unload DatosCostoAgua
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
    Me.Width = Screen.Width * 0.8
    Me.Height = Screen.Height * 0.8
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
LabelCostAgelim.Caption = Format(COSTAGELIM, "0.000")
LabelCostDeselim.Caption = Format(COSTDESELIM, "0.000")
LabelCosTratQuim.Caption = Format(COSTRATQUIM, "0.000")
LabelCosTotales.Caption = Format(COSTTOTALES, "0.000")
LabelCostEnerg.Caption = Format(COSTENERG, "0.000")
LabelCostHpb.Caption = Format(COSTHPB, "0.000")
LabelCostHpv.Caption = Format(COSTHPV, "0.000")
End Sub
```

'Ingreso costos de empaques

```
Option Explicit
Private Sub BotonCostEmp_Click()
If (MLongP.Text <> "" And MAnchoP.Text <> "" And MAltP.Text <> "" And
MDistCent.Text <> "" And MCostoP.Text <> "") Then
    LONGP = CDb1(MLongP.Text)
    ANCHOP = CDb1(MAnchoP.Text)
    ALTP = CDb1(MAltP.Text)
    DISTCENT = CDb1(MDistCent.Text)
    COSTOP = CDb1(MCostoP.Text)
Call CostosMateriales
```

```
Unload IngrCostoMAAt
DatosCostoMat.Show
Else
MsgBox "No se Aceptan Datos Nulos.", vbInformation, "Error"
End If
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
Me.Width = Screen.Width * 0.8
Me.Height = Screen.Height * 0.8
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
End Sub
Private Sub MAItP_GotFocus()
MAItP.ToolTipText = "0<Longitud<=40 cm"
End Sub
```

```
Private Sub MAItP_LostFocus()
If Not MAItP.Text = "" Then
If Not IsNumeric(MAItP.Text) Then
MsgBox "La altura del empaque debe ser numérica.", vbInformation,
"Error"
MAItP.SetFocus
Else
If (Cdbl(MAItP.Text) <= 0) Or (Cdbl(MAItP.Text) >= 40) Then
MsgBox "Rango Longitud Empaque: 0<Longitud<=20",
vbInformation, "Error"
MAItP.SetFocus
End If
End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub MAnchoP_GotFocus()
MAnchoP.ToolTipText = "0<Ancho<=" & CStr(3)
End Sub
```

```
Private Sub MAnchoP_LostFocus()
If Not MAnchoP.Text = "" Then
If Not IsNumeric(MAnchoP.Text) Then
MsgBox "El ancho del empaque debe ser numérica.", vbInformation,
"Error"
MAnchoP.SetFocus
Else
```



```

        If (CDBl(MAnchoP.Text) <= 0) Or (CDBl(MAnchoP.Text) >= 3) Then
            MsgBox "Rango Ancho Empaque: 0<Ancho<=3", vbInformation,
"Error"
            MAnchoP.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub MCostoP_GotFocus()
MCostoP.ToolTipText = "Costo > 0"
End Sub

```

```

Private Sub MCostoP_LostFocus()
If Not MCostoP.Text = "" Then
    If Not IsNumeric(MCostoP.Text) Then
        MsgBox "El costo del empaque debe ser numérica.", vbInformation,
"Error"
        MCostoP.SetFocus
    Else
        If (CDBl(MCostoP.Text) <= 0) Then
            MsgBox "Rango Costo Empaque: Costo> 0", vbInformation, "Error"
            MCostoP.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub MDistCent_GotFocus()
MDistCent.ToolTipText = "0<Longitud<=3 cm"
End Sub

```

```

Private Sub MDistCent_LostFocus()
If Not MDistCent.Text = "" Then
    If Not IsNumeric(MDistCent.Text) Then
        MsgBox "La altura del empaque debe ser numérica.", vbInformation,
"Error"
        MDistCent.SetFocus
    Else
        If (CDBl(MDistCent.Text) <= 0) Or (CDBl(MDistCent.Text) >= 3)
Then
            MsgBox "Rango Longitud Empaque: 0<Longitud<=3",
vbInformation, "Error"
            MDistCent.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub

```

```

        End If
    End If
End If
End Sub

Private Sub MLongP_GotFocus()
MLongP.ToolTipText = "0<Longitud<=" & Format(CStr(LONGT - 0.11), "0.00")
End Sub

Private Sub MLongP_LostFocus()
If Not MLongP.Text = "" Then
    If Not IsNumeric(MLongP.Text) Then
        MsgBox "La longitud del empaque debe ser numérica.", vbInformation,
"Error"
        MLongP.SetFocus
    Else
        If (Cdbl(MLongP.Text) <= 0) Or (Cdbl(MLongP.Text) >= (LONGT -
0.11)) Then
            MsgBox "Rango Longitud Empaque: 0<Longitud<=" &
Format(CStr(LONGT - 0.11), "0.00"), vbInformation, "Error"
            MLongP.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub

```

'Entrada de datos sobre consumo de agua y energía

```

Private Sub Aceptcost_Click()

If (MFactorCarga.Text <> "" And MCostAgunid.Text <> "" And
MHoperTorre.Text <> "" And MCosTratQuimProm.Text <> "" And
MCostKwh.Text <> "") Then
    FACTORCARGA = Cdbl(MFactorCarga.Text)
    COSTAGUNID = Cdbl(MCostAgunid.Text)
    HOPERTORRE = Cdbl(MHoperTorre.Text)
    COSTRATQUIMPROM = Cdbl(MCosTratQuimProm.Text)
    COSTKWH = Cdbl(MCostKwh.Text)
    Call CostosAgua
    Unload IngrCostoAgua
    DatosCostoAgua.Show
Else
    MsgBox "No se Aceptan Datos Nulos.", vbInformation, "Error"

```

```
End If
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
Me.Top = (Principal.Height - Me.Height) / 2 - 600
Me.Left = (Principal.Width - Me.Width) / 2
End Sub
```

```
Private Sub MCostAgunid_GotFocus()
MCostAgunid.ToolTipText = "Costo>0"
End Sub
```

```
Private Sub MCostAgunid_LostFocus()
If Not MCostAgunid.Text = "" Then
    If Not IsNumeric(MCostAgunid.Text) Then
        MsgBox "El Costo debe ser Numerico.", vbInformation, "Error"
        MCostAgunid.SetFocus
    Else
        If (Cdbl(MCostAgunid.Text) <= 0) Then
            MsgBox "Rango Factor Carga: Costo > 0", vbInformation, "Error"
            MCostAgunid.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub MCostKwh_GotFocus()
MCostKwh.ToolTipText = "Costo>0"
End Sub
```

```
Private Sub MCostKwh_LostFocus()
If Not MCostKwh.Text = "" Then
    If Not IsNumeric(MCostKwh.Text) Then
        MsgBox "El Costo debe ser Numerico.", vbInformation, "Error"
        MCostKwh.SetFocus
    Else
        If (Cdbl(MCostKwh.Text) <= 0) Then
            MsgBox "Rango Factor Carga: Costo > 0", vbInformation, "Error"
            MCostKwh.SetFocus
        End If
    End If
End If
End Sub
```

```
Private Sub MCosTratQuimProm_GotFocus()  
MCosTratQuimProm.ToolTipText = "Costo>0"  
End Sub
```

```
Private Sub MCosTratQuimProm_LostFocus()  
If Not MCosTratQuimProm.Text = "" Then  
    If Not IsNumeric(MCosTratQuimProm.Text) Then  
        MsgBox "El Costo debe ser Numerico.", vbInformation, "Error"  
        MCosTratQuimProm.SetFocus  
    Else  
        If (CDBl(MCosTratQuimProm.Text) <= 0) Then  
            MsgBox "Rango Factor Carga: Costo > 0", vbInformation, "Error"  
            MCosTratQuimProm.SetFocus  
        End If  
    End If  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub MFactorCarga_GotFocus()  
MFactorCarga.ToolTipText = "0.25<Factor<0.5"  
End Sub
```

```
Private Sub MFactorCarga_LostFocus()  
If Not MFactorCarga.Text = "" Then  
    If Not IsNumeric(MFactorCarga.Text) Then  
        MsgBox "El Factor de Carga debe ser Numerica.", vbInformation, "Error"  
        MFactorCarga.SetFocus  
    Else  
        If (CDBl(MFactorCarga.Text) <= 0.25) Or (CDBl(MFactorCarga.Text)  
>= 0.5) Then  
            MsgBox "Rango Factor Carga: 0.25<Factor<=0.5", vbInformation,  
"Error"  
            MFactorCarga.SetFocus  
        End If  
    End If  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub MHoperTorre_GotFocus()  
MHoperTorre.ToolTipText = "0<Hora<8600"  
End Sub
```

```
Private Sub MHoperTorre_LostFocus()  
If Not MHoperTorre.Text = "" Then
```

```

If Not IsNumeric(MHoperTorre.Text) Then
    MsgBox "Las Horas deben ser Numericas.", vbInformation, "Error"
    MHoperTorre.SetFocus
Else
    If (Cdbl(MHoperTorre.Text) <= 0) Or (Cdbl(MHoperTorre.Text) >=
8600) Then
        MsgBox "Rango Horas: 0<Horas<8600", vbInformation, "Error"
        MHoperTorre.SetFocus
    End If
End If
End If
End Sub

```

'Información sobre costos de consumo de agua
Option Explicit

```

Private Sub BotonCostoagua_Click()
Unload DatosCostoAgua
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
    Me.Width = Screen.Width * 0.8
    Me.Height = Screen.Height * 0.8
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
    LabelCostAgelim.Caption = Format(COSTAGELIM, "0.000")
    LabelCostDeselim.Caption = Format(COSTDESELIM, "0.000")
    LabelCosTratQuim.Caption = Format(COSTRATQUIM, "0.000")
    LabelCosTotales.Caption = Format(COSTOTALES, "0.000")
    LabelCostEnerg.Caption = Format(COSTENERG, "0.000")
    LabelCostHpb.Caption = Format(COSTHPB, "0.000")
    LabelCostHpv.Caption = Format(COSTHPV, "0.000")
End Sub

```

'Salida de información sobre gráfico sobre diferencia de entalpías vs temperatura

```

Private Sub ButonDifent_Click()
Unload DatosGráficoDifent
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub

```

```
Private Sub Command1_Click()  
Unload DatosGráficoDifent  
Principal.Enabled = True  
Principal.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
With MSChartDifent.Plot  
    .UniformAxis = True  
    .AutoLayout = True  
End With  
MSChartDifent.Refresh  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
Me.Width = Screen.Width * 0.8  
Me.Height = Screen.Height * 0.8  
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2  
' Variables del gráfico
```

```
Dim XAxis As Object  
Dim YAxis As Object
```

```
' Abrir Base de Datos  
Dim Base As Database, Retable As Recordset  
Dim TotalRegistro As Integer  
Set Base = Workspaces(0).OpenDatabase(App.Path + "\bulbo.mdb")  
Set Retable = Base.OpenRecordset("Tbulbo", dbOpenTable)
```

```
Set XAxis = MSChartDifent.Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1)  
'Call TablaTorre(0.1)
```

```
' Total de Registro de la tabla  
TotalRegistro = Retable.RecordCount  
If Retable.RecordCount > 0 Then  
    Retable.MoveFirst  
End If
```

```
'Configurar Gráfico
```

```
Dim DataGrid As DataGrid  
Dim Fila As Integer  
Dim Columna As Integer
```

```
Set DataGrid = MSChartDifent.DataGrid
```

```
'Establece el tipo de Gráfico en coordenadas xy
```

```
With MSChartDifent.DataGrid
```

```
' Establece los parámetros de MSChart con métodos.
```

```
.ColumnCount = 2
```

```
.RowCount = TotalRegistro
```

```
' Llena la cuadrícula con datos de la tabla
```

```
Fila = 1
```

```
Do While Not Retable.EOF
```

```
.SetData Fila, 1, Retable("CTSAL"), 0
```

```
.SetData Fila, 2, Retable("DIFENT"), 0
```

```
Retable.MoveNext
```

```
Fila = Fila + 1
```

```
Loop
```

```
End With
```

```
With MSChartDifent.Plot
```

```
.AutoLayout = False
```

```
' Cambia la vista del gráfico de barras 3D.
```

```
.DepthToHeightRatio = 0.2
```

```
.WidthToHeightRatio = 0.1
```

```
' Cambia el espaciado entre las divisiones del
```

```
' eje X.
```

```
.xGap = 0.4
```

```
End With
```

```
' Poner Etiquetas
```

```
With MSChartDifent.Legend.VtFont
```

```
.Name = "Times New Roman"
```

```
.Size = 8
```

```
.Style = VtfontStyleBoldItalic
```

```
End With
```

```
MSChartDifent.Plot.SeriesCollection.Item(1).LegendText = "DIFENT"
```

```
With XAxis.CategoryScale
```

```
.Auto = False ' Establece la escala manual.
```

```
.DivisionsPerLabel = 2 ' La etiqueta a cada dos divisiones.
```

```
.DivisionsPerTick = 2 ' Las marcas aparecen cada dos divisiones.
```

```
.LabelTick = False ' Las etiquetas se muestran sobre las marcas.
```

```
End With
```

```
MSChartDifent.Refresh
```

```
' Control del Slider Eje X
SliderEjeX.Min = 0
SliderEjeX.Max = 9500
SliderEjeX.SmallChange = 100
SliderEjeX.LargeChange = 1000
SliderEjeX.TickFrequency = 9500 / 10
```

```
' Control del Slider Eje Y
SliderEjeY.Min = 0
SliderEjeY.Max = 7500
SliderEjeY.SmallChange = 100
SliderEjeY.LargeChange = 1000
SliderEjeY.TickFrequency = 7500 / 10
```

```
End Sub
```

```
Private Sub MSChartHumedad_ChartSelected(MouseFlags As Integer,
Cancel As Integer)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub MSChartDifent_ChartSelected(MouseFlags As Integer, Cancel
As Integer)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SliderEjeX_Click()
```

```
With MSChartDifent.Plot
```

```
.UniformAxis = False
```

```
.AutoLayout = False
```

```
.LocationRect.Min.X = 100
```

```
.LocationRect.Max.X = SliderEjeX.Value
```

```
MSChartDifent.Refresh
```

```
End With
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SliderEjeY_Click()
```

```
With MSChartDifent.Plot
```

```
.UniformAxis = False
```

```
.AutoLayout = False
```

```
.LocationRect.Min.Y = 0
```

```
.LocationRect.Max.Y = 7500 - SliderEjeY.Value
```

```
MSChartDifent.Refresh
```

```
End With
```

```
End Sub
```


'Salida de información sobre gráfico sobre entalpía de operación vs temperatura del líquido

```
Private Sub BotonEntalpia_Click()  
    Unload DatosGráficoEntalpia  
    Principal.Enabled = True  
    Principal.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
    Unload DatosGráficoEntalpia  
    Principal.Enabled = True  
    Principal.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
    With MSChartHentalpia.Plot  
        .UniformAxis = True  
        .AutoLayout = True  
    End With  
    MSChartHentalpia.Refresh  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
    Me.Width = Screen.Width * 0.8  
    Me.Height = Screen.Height * 0.8  
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2  
' Variables del gráfico  
Dim XAxis As Object  
Dim YAxis As Object  
Dim NumberOfLevels As Integer  
Dim axisID As Integer  
Dim Series As Object
```

```
' Abrir base de datos  
Dim Base As Database, Retable As Recordset  
Dim TotalRegistro As Integer  
Set Base = Workspaces(0).OpenDatabase(App.Path + "\bulbo.mdb")  
Set Retable = Base.OpenRecordset("Tbulbo", dbOpenTable)
```

```
Set XAxis = MSChartHentalpia.Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1)  
'Call TablaTorre(0.1)  
' Total de registro de la tabla
```

```
TotalRegistro = Retable.RecordCount
If Retable.RecordCount > 0 Then
    Retable.MoveFirst
End If
```

'Configurar gráfico

```
Dim DataGrid As DataGrid
Dim Fila As Integer
Dim Columna As Integer
Set DataGrid = MSChartHentalpia.DataGrid
```

```
'Establece el tipo de gráfico en coordenadas xy
' MSChartHentalpia.chartType = VtChChartType2dXY
```

```
With MSChartHentalpia.DataGrid
' Establece los parámetros de MSChart con métodos.
    .ColumnCount = 2
    .RowCount = TotalRegistro
```

```
" Llena la cuadrícula con datos de la tabla
Fila = 1
Do While Not Retable.EOF
    .SetData Fila, 1, Retable("CTSAL"), 0
    .SetData Fila, 2, Retable("HENTALPIA"), 0
    Retable.MoveNext
    Fila = Fila + 1
Loop
End With
```

```
    With MSChartHentalpia.Plot
        .AutoLayout = False
        ' Cambia la vista del gráfico de barras 3D.
        .DepthToHeightRatio = 0.2
        .WidthToHeightRatio = 0.1
        ' Cambia el espaciado entre las divisiones del eje X.
        .xGap = 0.4
    End With
```

' Poner etiquetas

```
With MSChartHentalpia.Legend.VtFont
    .Name = "Times New Roman"
    .Size = 8
```

```
.Style = VtfontStyleBoldItalic
End With
MSChartHentalpia.Plot.SeriesCollection.Item(1).LegendText =
"HENTALPIA"
```

```
With XAxis.CategoryScale
.Auto = False ' Establece la escala manual.
.DivisionsPerLabel = 2 ' La etiqueta a cada dos divisiones.
.DivisionsPerTick = 2 ' Las marcas aparecen cada dos divisiones.
.LabelTick = False ' Las etiquetas se muestran sobre las marcas.
End With
```

```
MSChartHentalpia.Refresh
' Control del slider Eje X
SliderEjeX.Min = 0
SliderEjeX.Max = 9500
SliderEjeX.SmallChange = 100
SliderEjeX.LargeChange = 1000
SliderEjeX.TickFrequency = 9500 / 10
```

```
' Control del slider Eje Y
SliderEjeY.Min = 0
SliderEjeY.Max = 7500
SliderEjeY.SmallChange = 100
SliderEjeY.LargeChange = 1000
SliderEjeY.TickFrequency = 7500 / 10
End Sub
```

```
Private Sub MSChartHentalpia_ChartSelected(MouseFlags As Integer,
Cancel As Integer)
End Sub
```

```
Private Sub SliderEjeX_Click()
With MSChartHentalpia.Plot
.UniformAxis = False
.AutoLayout = False
.LocationRect.Min.X = 100
.LocationRect.Max.X = SliderEjeX.Value
MSChartHentalpia.Refresh
End With
End Sub
```

```
Private Sub SliderEjeY_Click()
```

```

With MSChartHentalpia.Plot
    .UniformAxis = False
    .AutoLayout = False
    .LocationRect.Min.Y = 0
    .LocationRect.Max.Y = 7500 - SliderEjeY.Value
MSChartHentalpia.Refresh
End With
End Sub

```

'Salida de información sobre gráfico sobre entalpía de operación y saturación vs temperatura

```

Private Sub Command1_Click()
Unload DatosGráficoForm
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
    With MSChartHumedad.Plot
        .UniformAxis = True
        .AutoLayout = True
    End With
    MSChartHumedad.Refresh
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()

```

```

    Me.Width = Screen.Width * 0.8
    Me.Height = Screen.Height * 0.8
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2

```

```

    Dim XAxis As Object

```

```

    Set XAxis = MSChartHumedad.Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1)

```

```

'Call TablaTorre(0.1)

```

```

' Abrir base de datos

```

```

    Dim Base As Database, Retable As Recordset

```

```

    Dim TotalRegistro As Integer

```

```

    Set Base = Workspaces(0).OpenDatabase(App.Path + "\bulbo.mdb")

```

```

    Set Retable = Base.OpenRecordset("Tbulbo", dbOpenTable)

```

```

' Total de registro de la tabla
TotalRegistro = Retable.RecordCount

If Retable.RecordCount > 0 Then
    Retable.MoveFirst
End If

'Configurar gráfico
Dim DataGrid As DataGrid
Dim Fila As Integer
Dim Columna As Integer
Set DataGrid = MSChartHumedad.DataGrid

    With MSChartHumedad.DataGrid
        ' Establece los parámetros de MSChart con métodos.
        .ColumnCount = 4
        .RowCount = TotalRegistro

        ' Llena la cuadrícula con datos de la tabla
        Fila = 1
        Do While Not Retable.EOF
            .SetData Fila, 1, Retable("CTSAL"), 0
            .SetData Fila, 2, Retable("HSATUR"), 0
            .SetData Fila, 3, Retable("CTSAL"), 0 ' C3
            .SetData Fila, 4, Retable("HENTALPIA"), 0
            Retable.MoveNext
            Fila = Fila + 1
        Loop
    End With

    With MSChartHumedad.Plot
        .AutoLayout = False
        ' Cambia la vista del gráfico de barras 3D.
        .DepthToHeightRatio = 0.2
        .WidthToHeightRatio = 0.1
        ' Cambia el espaciado entre las divisiones del
        ' eje X.
        .xGap = 0.4
    End With

' Poner etiquetas
    With MSChartHumedad.Legend.VtFont
        .Name = "Times New Roman"
        .Size = 8
    End With

```

```
.Style = VtfontStyleBoldItalic
End With
MSChartHumedad.Plot.SeriesCollection.Item(1).LegendText = "HSATUR"
MSChartHumedad.Plot.SeriesCollection.Item(3).LegendText =
"HENTALPIA"
```

```
With XAxis.CategoryScale
.Auto = False ' Establece la escala manual.
.DivisionsPerLabel = 2 ' La etiqueta a cada dos divisiones.
.DivisionsPerTick = 2 ' Las marcas aparecen cada dos divisiones.
.LabelTick = False ' Las etiquetas se muestran sobre las marcas.
End With
```

```
MSChartHumedad.Refresh
```

```
' Control del slider eje X
SliderEjeX.Min = 0
SliderEjeX.Max = 9500
SliderEjeX.SmallChange = 100
SliderEjeX.LargeChange = 1000
SliderEjeX.TickFrequency = 9500 / 10
```

```
' Control del slider eje Y
SliderEjeY.Min = 0
SliderEjeY.Max = 7500
SliderEjeY.SmallChange = 100
SliderEjeY.LargeChange = 1000
SliderEjeY.TickFrequency = 7500 / 10
```

```
End Sub
```

```
Private Sub SliderEjeX_Scroll()
With MSChartHumedad.Plot
.UniformAxis = False
.AutoLayout = False
.LocationRect.Min.X = 100
.LocationRect.Max.X = SliderEjeX.Value
MSChartHumedad.Refresh
End With
End Sub
```

```
Private Sub SliderEjeY_Scroll()
With MSChartHumedad.Plot
.UniformAxis = False
.AutoLayout = False
```

```
.LocationRect.Min.Y = 0
.LocationRect.Max.Y = 7500 - SliderEjeY.Value
MSChartHumedad.Refresh
End With
End Sub
```

```
Private Sub MSChartHumedad_ChartSelected(MouseFlags As Integer,
Cancel As Integer)
End Sub
```

'Salida de información sobre gráfico sobre entalpía de saturación vs temperatura

```
Private Sub ButonHsatur_Click()
Unload DatosGráficoHsatur
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
Unload DatosGráficoHsatur
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
With MSChartHsatur.Plot
.UniformAxis = True
.AutoLayout = True
End With
MSChartHsatur.Refresh
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
Me.Width = Screen.Width * 0.8
Me.Height = Screen.Height * 0.8
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
' Variables del gráfico
```

```
Dim XAxis As Object
Dim YAxis As Object
Dim NumberOfLevels As Integer
Dim axisID As Integer
```

Dim Series As Object

```
' Abrir base de datos
Dim Base As Database, Retable As Recordset
Dim TotalRegistro As Integer
Set Base = Workspaces(0).OpenDatabase(App.Path + "\bulbo.mdb")
Set Retable = Base.OpenRecordset("Tbulbo", dbOpenTable)
```

```
Set XAxis = MSChartHsatur.Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1)
'Call TablaTorre(0.1)
```

```
' Total de registro de la tabla
TotalRegistro = Retable.RecordCount
If Retable.RecordCount > 0 Then
    Retable.MoveFirst
End If
```

```
'Configurar gráfico
Dim DataGrid As DataGrid
Dim Fila As Integer
Dim Columna As Integer
Set DataGrid = MSChartHsatur.DataGrid
```

'Establece el tipo de gráfico en coordenadas xy

```
' MSChartHsatur.chartType = VtChChartType2dXY
```

```
With MSChartHsatur.DataGrid
' Establece los parámetros de MSChart con métodos.
    .ColumnCount = 2
    .RowCount = TotalRegistro
```

```
' Llena la cuadrícula con datos de la tabla
Fila = 1
Do While Not Retable.EOF
    .SetData Fila, 1, Retable("CTSAL"), 0
    .SetData Fila, 2, Retable("HSATUR"), 0
    Retable.MoveNext
    Fila = Fila + 1
Loop
End With
```

```
With MSChartHsatur.Plot
    .AutoLayout = False
```



```
' Cambia la vista del gráfico de barras 3D.
.DepthToHeightRatio = 0.2
.WidthToHeightRatio = 0.1
' Cambia el espaciado entre las divisiones del eje X.
.xGap = 0.4
End With
```

```
' Poner etiquetas
```

```
With MSChartHsatur.Legend.VtFont
.Name = "Times New Roman"
.Size = 8
.Style = VtfontStyleBoldItalic
End With
MSChartHsatur.Plot.SeriesCollection.Item(1).LegendText
"HSATURACION"
```

```
With XAxis.CategoryScale
.Auto = False ' Establece la escala manual.
.DivisionsPerLabel = 2 ' La etiqueta a cada dos divisiones.
.DivisionsPerTick = 2 ' Las marcas aparecen cada dos divisiones.
.LabelTick = False ' Las etiquetas se muestran sobre las marcas.
End With
```

```
MSChartHsatur.Refresh
```

```
' Control del slider eje X
SliderEjeX.Min = 0
SliderEjeX.Max = 9500
SliderEjeX.SmallChange = 100
SliderEjeX.LargeChange = 1000
SliderEjeX.TickFrequency = 9500 / 10
```

```
' Control del slider eje Y
SliderEjeY.Min = 0
SliderEjeY.Max = 7500
SliderEjeY.SmallChange = 100
SliderEjeY.LargeChange = 1000
SliderEjeY.TickFrequency = 7500 / 10
```

```
End Sub
```

```
Private Sub MSChartHsatur_ChartSelected(MouseFlags As Integer, Cancel
As Integer)
End Sub
```

```

Private Sub SliderEjeX_Click()
With MSChartHsatur.Plot
    .UniformAxis = False
    .AutoLayout = False
    .LocationRect.Min.X = 100
    .LocationRect.Max.X = SliderEjeX.Value
MSChartHsatur.Refresh
End With
End Sub

```

```

Private Sub SliderEjeY_Click()
With MSChartHsatur.Plot
    .UniformAxis = False
    .AutoLayout = False
    .LocationRect.Min.Y = 0
    .LocationRect.Max.Y = 7500 - SliderEjeY.Value
MSChartHsatur.Refresh
End With
End Sub

```

'Salida de información sobre gráfico sobre entalpía de saturación vs humedad de saturación

```

Private Sub Form_Load()
    Me.Width = Screen.Width * 0.8
    Me.Height = Screen.Height * 0.8
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
' Variables del gráfico
Dim XAxis As Object
Dim YAxis As Object
Dim NumberOfLevels As Integer
Dim axisID As Integer
Dim Series As Object

' Abrir base de datos
Dim Base As Database, Retable As Recordset
Dim TotalRegistro As Integer
Set Base = Workspaces(0).OpenDatabase(App.Path + "\bulbo.mdb")
Set Retable = Base.OpenRecordset("Tbulbo", dbOpenTable)

Set XAxis = MSChartEntSat.Plot.Axis(VtChAxisIDX, 1)
'Call TablaTorre(0.1)

```

```
' Total de registro de la tabla
  TotalRegistro = Retable.RecordCount
If Retable.RecordCount > 0 Then
  Retable.MoveFirst
End If
```

```
'Configurar gráfico
  Dim DataGrid As DataGrid
  Dim Fila As Integer
  Dim Columna As Integer
  Set DataGrid = MSChartEntSat.DataGrid
```

```
'Establece el tipo de gráfico en coordenadas xy
```

```
' MSChartEntSat.chartType = VtChChartType2dXY
```

```
With MSChartEntSat.DataGrid
```

```
' Establece los parámetros de MSChart con métodos.
```

```
  .ColumnCount = 2
```

```
  .RowCount = TotalRegistro
```

```
' Llena la cuadrícula con datos de la tabla
```

```
  Fila = 1
```

```
  Do While Not Retable.EOF
```

```
    .SetData Fila, 1, Retable("SHSATUR"), 0
```

```
    .SetData Fila, 2, Retable("HSATUR"), 0
```

```
  Retable.MoveNext
```

```
  Fila = Fila + 1
```

```
  Loop
```

```
End With
```

```
With MSChartEntSat.Plot
```

```
  .AutoLayout = False
```

```
' Cambia la vista del gráfico de barras 3D.
```

```
  .DepthToHeightRatio = 0.2
```

```
  .WidthToHeightRatio = 0.1
```

```
' Cambia el espaciado entre las divisiones del eje X.
```

```
  .xGap = 0.4
```

```
End With
```

```
' Poner etiquetas
```

```
With MSChartEntSat.Legend.VtFont
```

```
  .Name = "Times New Roman"
```

```
.Size = 8
.Style = VtfontStyleBoldItalic
End With
MSChartEntSat.Plot.SeriesCollection.Item(1).LegendText = "Shsatur Vs
Hsatur"
```

```
With XAxis.CategoryScale
.Auto = False ' Establece la escala manual.
.DivisionsPerLabel = 2 ' La etiqueta a cada dos divisiones.
.DivisionsPerTick = 2 ' Las marcas aparecen cada dos divisiones.
.LabelTick = False ' Las etiquetas se muestran sobre las marcas.
End With
```

```
MSChartEntSat.Refresh
```

```
' Control del slider eje X
SliderEjeX.Min = 0
SliderEjeX.Max = 9500
SliderEjeX.SmallChange = 100
SliderEjeX.LargeChange = 1000
SliderEjeX.TickFrequency = 9500 / 10
```

```
' Control del slider eje Y
SliderEjeY.Min = 0
SliderEjeY.Max = 7500
SliderEjeY.SmallChange = 100
SliderEjeY.LargeChange = 1000
SliderEjeY.TickFrequency = 7500 / 10
```

```
End Sub
```

```
Private Sub GrafOrig_Click()
With MSChartEntSat.Plot
.UniformAxis = True
.AutoLayout = True
End With
MSChartEntSat.Refresh
End Sub
```

```
Private Sub MSChartEntSat_ChartSelected(MouseFlags As Integer, Cancel
As Integer)
End Sub
```

```
Private Sub RegrMenu_Click()
```

```
Unload DatosGráficoHumEnt
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub
```

```
Private Sub SliderEjeX_Click()
    With MSChartEntSat.Plot
        .UniformAxis = False
        .AutoLayout = False
        .LocationRect.Min.X = 100
        .LocationRect.Max.X = SliderEjeX.Value
    MSChartEntSat.Refresh
    End With
End Sub
```

```
Private Sub SliderEjeY_Click()
    With MSChartEntSat.Plot
        .UniformAxis = False
        .AutoLayout = False
        .LocationRect.Min.Y = 0
        .LocationRect.Max.Y = 7500 - SliderEjeY.Value
    MSChartEntSat.Refresh
    End With
End Sub
```

'Tabla del inverso de diferencia de entalpias de saturación y operación

```
Private Sub LimpiarRej()
    Dim Contador As Integer
    'Borrar el texto de la primera columna
    DbEnt.Col = 0
    For Contador = 1 To DbEnt.Rows - 1
        DbEnt.Row = Contador
        DbEnt.Text = "columna"
    Next Contador
```

'Borrar el texto de la promera fila

```
DbEnt.Row = 0
For Contador = 1 To DbEnt.Cols - 1
    DbEnt.Col = Contador
    DbEnt.Text = "fila"
Next Contador
DbEnt.SelStartCol = 1
```

```
DbEnt.SelEndCol = DbEnt.Cols - 1
DbEnt.SelEndRow = DbEnt.Rows - 1
DbEnt.FillStyle = 1
DbEnt.Text = "en"
DbEnt.FillStyle = 0
DbEnt.SelEndCol = 1
DbEnt.SelEndRow = 1
End Sub
```

```
Private Sub Botontorre_Click()
```

```
'DatosTablaForm.Enabled = False
'Resultados.Show
'Resultados.Enabled = True
'Resultados.SetFocus
End Sub
```

```
Private Sub BarraIncremento_Change()
TextIncremento.Text = BarraIncremento.Value / 10
End Sub
```

```
Private Sub BotonMorstrarTabla_Click()
Call TablaTorre(CDb1(TextIncremento.Text))
DataHumedad.Refresh
DbgridHumedad.Refresh
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()
DataHumedad.DatabaseName = App.Path + "\bulbo.mdb"
DataHumedad.Refresh
DbgridHumedad.Refresh
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
Dim Incremento As Double
```

```
Me.Width = Screen.Width * 0.8
Me.Height = Screen.Height * 0.8
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
```

```
DataHumedad.DatabaseName = App.Path + "\bulbo.mdb"
DataHumedad.Refresh
DbgridHumedad.Refresh
```

```
TempMin.Text = CTSAL
TempMax.Text = TENTR
BarralIncremento.Min = 0.1
BarralIncremento.Max = (TENTR / 2) * 10
BarralIncremento.Value = 0.1
BarralIncremento.SmallChange = 1
End Sub
```

```
Private Sub SalHumi_Click()
Unload DatosTablaForm
Principal.Enabled = True
Principal.Show
End Sub
```

```
Private Sub VScroll1_DragDrop(Source As Control, X As Single, Y As Single)
Incremento = CDbI(TextIncremento.Text)
If (CDbl(TextIncremento.Text) > 0.2) Then
    Incremento = Incremento - 0.1
    TextIncremento.Text = Str(Incremento)
End If
End Sub
```

```
Private Sub VScroll1_KeyUp(KeyCode As Integer, Shift As Integer)
If (CDbl(TextIncremento.Text) < (TENTR / 2)) Then
    Incremento = Incremento + 0.1
    TextIncremento.Text = Str(Incremento)
End If
End Sub
```

```
Private Sub TextIncremento_GotFocus()
TextIncremento.ToolTipText = "0.1<Incr<=" & CStr(TENTR / 2)
End Sub
```

```
Private Sub TextIncremento_LostFocus()
If Not TextIncremento.Text = "" Then
    If Not IsNumeric(TextIncremento.Text) Then
        MsgBox "El Incremento debe ser Numerico", vbInformation, "Error"
        TextIncremento.SetFocus
    Else
        If (CDbl(TextIncremento.Text) <= 0) Or (CDbl(TextIncremento.Text)
> TENTR / 2) Then
            MsgBox "Incremento : 0.1<Incr<=" & CStr(TENTR / 2),
vbInformation, "Error"
            TextIncremento.SetFocus
        End If
    End If
End Sub
```

```
End If
End If
End If
End Sub
```

'Tabla de variación de la humedad de saturación con la entalpia de saturación

```
Private Sub BarralIncremento_Change()
TextIncremento.Text = BarralIncremento.Value / 10
End Sub
```

```
Private Sub BotonMorstrarTabla_Click()
Call TablaTorre(CDb1(TextIncremento.Text))
DataHumedades.Refresh
DbgridHumedades.Refresh
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()
DataHumedades.DatabaseName = App.Path + "\bulbo.mdb"
DataHumedades.Refresh
DbgridHumedades.Refresh
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
Dim Incremento As Double
```

```
Me.Width = Screen.Width * 0.8
Me.Height = Screen.Height * 0.8
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
```

```
DataHumedades.DatabaseName = App.Path + "\bulbo.mdb"
DataHumedades.Refresh
DbgridHumedades.Refresh
```

```
TempMin.Text = CTSAL
TempMax.Text = TENTR
BarralIncremento.Min = 0.1
BarralIncremento.Max = (TENTR / 2) * 10
BarralIncremento.Value = 0.1
BarralIncremento.SmallChange = 1
End Sub
```

```
Private Sub SalHumi_Click()  
Unload DatosTablaHumedades  
Principal.Enabled = True  
Principal.Show  
End Sub
```

```
Private Sub SalHumi_GotFocus()  
TextIncremento.ToolTipText = "0.1<Incr<=" & CStr(TENTR / 2)  
End Sub
```

' Tabla de salida de aire recomendado en la torre

```
Private Sub BarraIncremento_Change()  
TextIncremento.Text = BarraIncremento.Value / 10  
End Sub
```

```
Private Sub BotonMorstrarTabla_Click()  
Call TablaTorre(CDb1(TextIncremento.Text))  
DataSalAire.Refresh  
DbgridSalAire.Refresh  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()  
DataSalAire.DatabaseName = App.Path + "\bulbo.mdb"  
DataSalAire.Refresh  
DbgridSalAire.Refresh  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
Dim Incremento As Double  
Me.Width = Screen.Width * 0.8  
Me.Height = Screen.Height * 0.8  
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
```

```
DataSalAire.DatabaseName = App.Path + "\bulbo.mdb"  
DataSalAire.Refresh  
DbgridSalAire.Refresh
```

```
TempMin.Text = CTSAL  
TempMax.Text = TENTR  
BarraIncremento.Min = 0.1  
BarraIncremento.Max = (TENTR / 2) * 10  
BarraIncremento.Value = 0.1
```

```
BarralIncremento.SmallChange = 1  
End Sub
```

```
Private Sub SalHumi_Click()  
Unload DatosTablaSalAire  
Principal.Enabled = True  
Principal.Show  
End Sub
```

'Codificación sobre programa principal

```
Private Sub Costos_Click()  
Principal.Enabled = False  
OpcionCostos.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Dimension_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosDimenTorreForm.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Energia_Click()  
Principal.Enabled = False  
IngrEnergia.Show  
End Sub
```

```
Private Sub FinSesion_Click()  
End  
End Sub
```

```
Private Sub FlujFinal_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosTablaSalAire.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
Me.Width = Screen.Width * 1  
Me.Height = Screen.Height * 1  
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
```

```
DirPrograma = CurDir  
Energia.Enabled = False  
PropAgua.Enabled = False
```

```
OperTorre.Enabled = False
Dimension.Enabled = False
Costos.Enabled = False
OpHumidificacio.Enabled = True
TablaEntalpia.Enabled = False
OpHumidificacio.Enabled = True
MenuEnergia = False
PropiedadesAgua = False
OperTorreForm = False
DimenTorreForm = False
CostTorreForm = False
MenuEntalpiaOperacion = False
MenuEntalpSatur = False
MenuFuncionTorre = False
MenuRelacionEntalpia = False
TablaHumSat = False
TablaFlujFinal = False
MenuHumEnt = False
End Sub
```

```
Private Sub grafent_Click()
Principal.Enabled = False
DatosGráficoForm.Show
End Sub
```

```
Private Sub gráficoCombinado_Click()
Principal.Enabled = False
GrafCombinado.Show
End Sub
```

```
Private Sub HumEnt_Click()
Principal.Enabled = False
DatosGráficoHumEnt.Show
End Sub
```

```
Private Sub Humidificacion_Click()
Principal.Enabled = False
IngrHumed.Show
End Sub
```

```
Private Sub HumidiForm_Click()
Principal.Enabled = False
Resultados.Show
End Sub
```

```
Private Sub MenuEnergia_Click()  
Principal.Enabled = False  
IngrEnergia.Show  
End Sub
```

```
Private Sub MenuEntalpiaOperacion_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosGráficoEntalpia.Show  
End Sub
```

```
Private Sub MenuEntalpSatur_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosGráficoHsatur.Show  
End Sub
```

```
Private Sub MenuFuncionTorre_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosGráficoForm.Show  
End Sub
```

```
Private Sub MenuHumEnt_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosGráficoHumEnt.Show  
End Sub
```

```
Private Sub MenuRelacionEntalpia_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosGráficoDifent.Show  
End Sub
```

```
Private Sub OperTorre_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosOperTorre.Show  
End Sub
```

```
Private Sub OperTorreForm_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosOperTorre.Show  
End Sub
```

```
Private Sub OpHumidificacio_Click()  
Principal.Enabled = False  
IngrHumed.Show  
End Sub
```

```
Private Sub PropAgua_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosAguaForm.Show  
End Sub
```

```
Private Sub PropiedadesAgua_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosAguaForm.Show  
End Sub
```

```
Private Sub TablaEntalpia_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosTablaForm.Show  
End Sub
```

```
Private Sub TablaFlujFinal_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosTablaSalAire.Show  
End Sub
```

```
Private Sub TablaHumSat_Click()  
Principal.Enabled = False  
DatosTablaHumedades.Show  
End Sub
```

5.4 Datos de entrada

Los datos de entrada son: Temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre, temperatura de bulbo seco del aire a la entrada de la torre temperatura del aire de salida de la torre, flujo de agua, dureza del agua.

5.5 Datos de salida

Los datos de salida son: Las humedades absolutas del aire, las entalpías del aire tanto a la entrada como a la salida de la torre, las entalpías del agua

tanto a la entrada como a la salida de la torre, el calor que se desprende del sistema, coeficiente de transferencia de masa, característica de la torre.

El primer paso en obtener las propiedades del aire es ingresar la temperatura de bulbo húmedo y de bulbo seco, así como, la altitud. Asimismo se deberá ingresar la temperatura del aire a la salida de la torre que se asume será saturado.

Altitud sobre el nivel del mar (metros)	10
Temperatura de bulbo seco a la entrada de la torre en (°C)	30
Temperatura de bulbo húmedo a la entrada de la torre en (°C)	24
Temperatura del agua a la entrada de la torre en (°C)	45
Temperatura del agua a la salida de la torre en (°C)	29
Temperatura del aire a la salida de la torre en (°C)	40

Acceptar

Se obtiene resultados que tienen que ver con operaciones de humidificación y que se necesitan para la evaluación de cada variable que está en éste

boton Con ello se obtiene además entre otros parámetros la temperatura virtual que se necesitará para la obtención de la densidad del aire local.

La humedad del aire a la entrada de la torre (M H2O/M aire)	0.019	Kg/Kg
La humedad del aire a la salida de la torre (M H2O/M aire)	0.052	Kg/Kg
La humedad relativa es (%)	61.147	%
El volumen específico a la salida de la torre es (L ³ /M)	0.913	m ³ /Kg
El volumen específico a la entrada de la torre es (L ³ /M)	0.884	m ³ /Kg
La entalpía del aire a la salida de la torre es (FL/M)	168.500	KJ/Kg
La entalpía del aire a la entrada de la torre es (FL/M)	78.139	KJ/Kg
La presión local en el medio es (F/L ²)	998.817	mbar
El calor húmedo es (FL/MT)	0.249	Btu/Lbs°
La temperatura del punto de rocío es (T)	21.708	°C
La temperatura virtual en el medio es (T)	33.007	°C

Aceptar

El siguiente paso es conocer el consumo de energía que se produce en el sistema de enfriamiento. Para ello, se debe ingresar el flujo de agua que circula por la torre, el flujo específico de agua o velocidad másica de agua que es una característica de los empaques; esto es, depende de la geometría, tipo de material, y espaciamento.

Temperatura del agua de reposición en (°C)	10
Flujo de agua a la entrada de la torre en (kg/seg)	15
Dureza total del agua en (ppm)	2000
Dureza parcial del agua en (ppm)	500
Ingreso diferencial de orificio en (mm agua)	10
Ingreso flujo específico de agua en (kg/seg*m²)	3

Aceptar

La salida de datos en este boton muestra los valores de coeficientes de transferencias de calor que se producen tanto por el lado del líquido como por el lado del gas. El coeficiente de transferencia de masa se lo obtiene por medio de una relación a partir del resultado anterior con el calor húmedo promedio. Asimismo con el flujo de aire obtenido se obtiene la potencia absorbida por el motor del ventilador que es uno de los objetivos importantes a obtener.

La pérdida de agua por arrastre es (M/T)	0.049	GPM
La pérdida de agua por evaporación es (M/T)	5.942	GPM
La pérdida de agua por eliminación (M/T)	0.074	GPM
La rapidez de compensación de agua es (M/T)	6.064	GPM
La entalpía del agua a la entrada de la torre es (FL/T)	188.415	KJ/Kg
La entalpía del agua a la salida de la torre es (FL/T)	121.423	KJ/Kg

Aceptar

La característica de la torre es el área que encierra la línea de saturación con la línea de operación con respecto a la temperatura mínima y máxima del líquido que estará sujeto a variación desde luego si se cambian las propiedades de los fluidos. Se obtiene además la relación agua-aire con el objeto de observar el comportamiento del número de unidades de transferencia de humedad con respecto a la variación de la temperatura de bulbo húmedo de diseño y la temperatura de bulbo húmedo actual que se puede presentar manteniendo la relación de fluidos constante.

La característica de la torre es	0.440	unidades ² ▾
La eficiencia de la torre de enfriamiento es (%)	76.190	% ▾
Ciclos de concentración	5.973	Ciclos ▾
Flujo de aire que circula por la torre (M/T)	11.257	Kg/seg ▾
El rango de enfriamiento es (T)	16.000	°C ▾
La temperatura de aproximación es (T)	5.000	°C ▾
La relación agua-aire es	1.332	MT/MT ▾
La velocidad del aire es (L/T)	1.990	m/s ▾

Aceptar

Las dimensiones que debe tener la torre son consecuencia de la información ingresada anteriormente. Como la altura de una unidad de transferencia de una unidad de humedad es una característica del funcionamiento del empaque dado, y el número de unidades de transferencia es el tamaño del trabajo requerido para el cumplimiento de las condiciones del proceso, variarán de acuerdo a las condiciones de los fluidos así como la naturaleza de los empaques.

El área de la sección transversal es (L²)

5.000

m²

La altura de la torre es (L)

7.058

m

El volumen de la torre es (L³)

35.292

m³

El número global de una unidad de transferencia de humedad es

3.407

Adimensional

La altura global de una unidad de transferencia de humedad es (L)

2.071

m

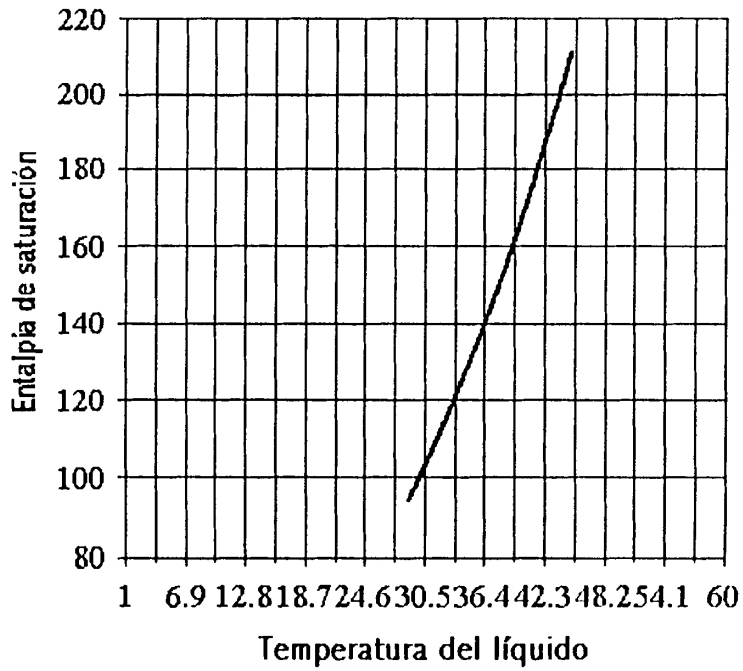
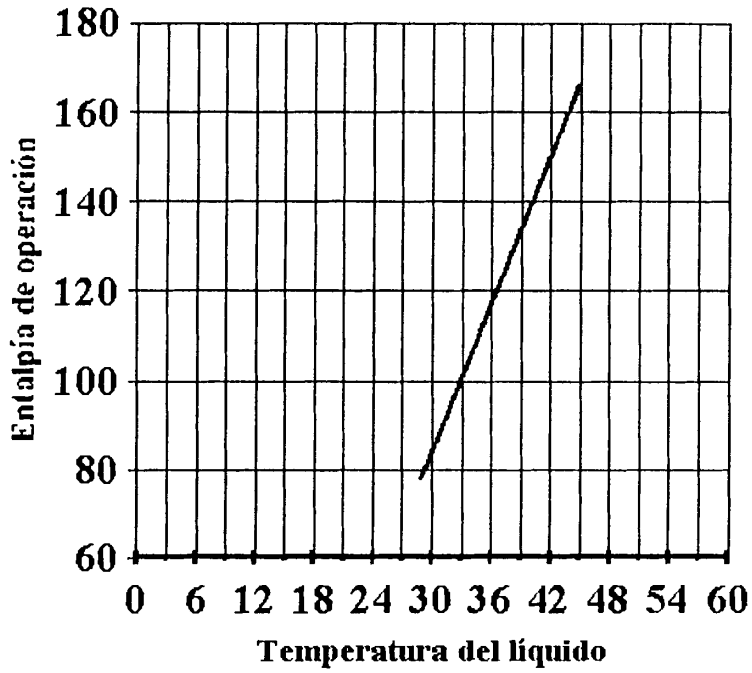
Aceptar

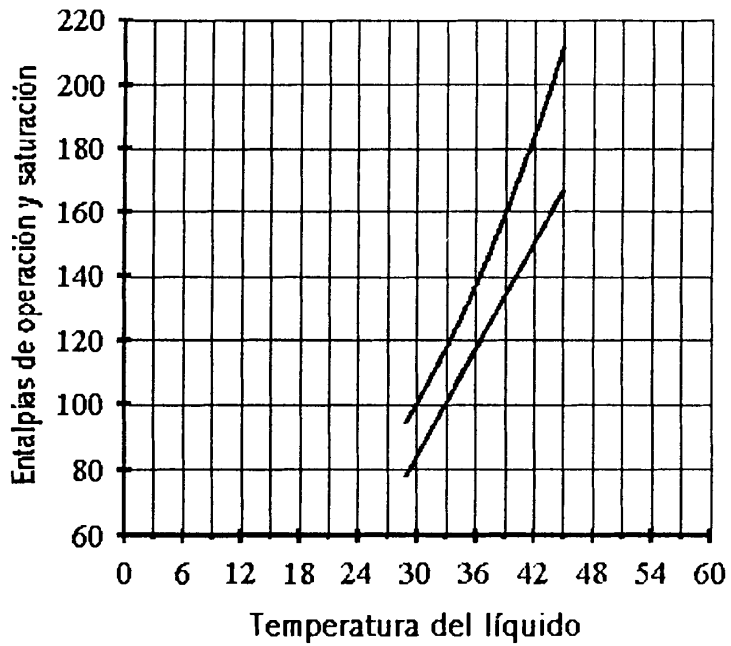
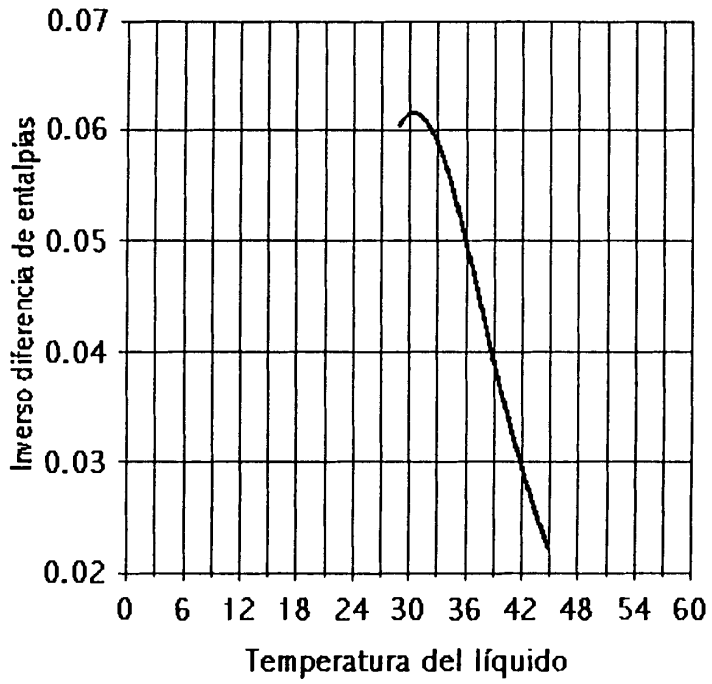
Distribución de entalpías de saturación

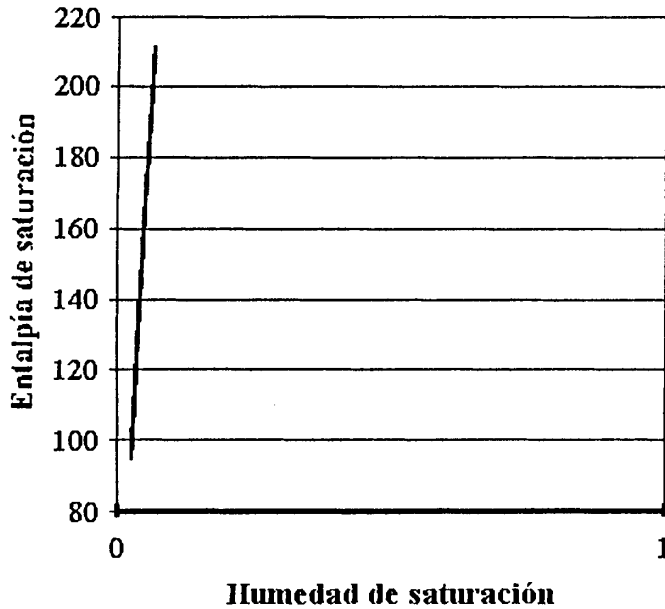
	CTSAL	SHSATUR	HSATUR
	29.00	0.03	94.66
	30.00	0.03	99.97
	31.00	0.03	105.50
	32.00	0.03	111.27
	33.00	0.03	117.27
	34.00	0.04	123.52
	35.00	0.04	130.04
	36.00	0.04	136.82
	37.00	0.04	143.89
	38.00	0.05	151.25
	39.00	0.05	158.91
	40.00	0.05	166.90
	41.00	0.05	175.21
	42.00	0.06	183.87
	43.00	0.06	192.88
	44.00	0.06	202.27
▶	45.00	0.07	212.04

Tabla de humedades de saturación y operación en el sistema				
	CTSAL	HSATUR	HENTALPIA	DIFENT
	29.00	94.66	78.14	0.061
	30.00	99.97	83.72	0.062
	31.00	105.50	89.30	0.062
	32.00	111.27	94.88	0.061
	33.00	117.27	100.46	0.059
	34.00	123.52	106.03	0.057
	35.00	130.04	111.61	0.054
	36.00	136.82	117.19	0.051
	37.00	143.89	122.77	0.047
	38.00	151.25	128.35	0.044
	39.00	158.91	133.93	0.04
	40.00	166.90	139.51	0.037
	41.00	175.21	145.09	0.033
	42.00	183.87	150.67	0.03
	43.00	192.88	156.25	0.027
	44.00	202.27	161.83	0.025
▶	45.00	212.04	167.40	0.022

TEMPERATURA DEL LIQUIDO			
	CTSAL	SHSATUR	GAIR
▶	29.00	0.03	91.24
	30.00	0.03	69.04
	31.00	0.03	55.08
	32.00	0.03	45.50
	33.00	0.03	38.52
	34.00	0.04	33.21
	35.00	0.04	29.04
	36.00	0.04	25.69
	37.00	0.04	22.93
	38.00	0.05	20.62
	39.00	0.05	18.66
	40.00	0.05	16.98
	41.00	0.05	15.53
	42.00	0.06	14.26
	43.00	0.06	13.14
	44.00	0.06	12.14
	45.00	0.07	11.26







El costo de tratamiento químico puede variar significativamente porque los costos de tratamiento químico son una función de varias variables.

Factor de carga de operación	0.3
Valor de costo de agua tratada por cada 1000 galones	120000
Horas anuales de operación de la torre	6000
Costo tratamiento químico promedio / 1000 gal de agua	20000
Costo de kilovatio-hora	600

Salir

Encerar

Aceptar

Costo de agua de eliminación	8814.272
Costo de desecho de eliminación de agua	70264799.591
Costo de tratamiento químico del agua	264313475.507
Costos totales de reposición de agua	596540658.328
Costos anuales de energía	9858612.721
Costo de operación de la bomba	7376357.528
Costo de operación de ventilador	2482255.193

Aceptar

Para el cálculo de costo de empaques se procede solo a estimar costos a partir de dimensiones asumidas, esto es, el flujo específico de agua que es para un tipo de relleno dado, no se encuentra disponible en especificaciones técnicas.

Longitud del empaque en cm	30
Espesor del empaque en cm	0.3
Altura del empaque en cm	25
Distancia entre empaques en cm	1
Costo del empaque	5000

Salir

Encerrar

Aceptar

Costo de los empaques	984651149.35
-----------------------	--------------

Aceptar

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El funcionamiento de la torre dependerá de las condiciones atmosféricas del medio en que va a operar. Lo cual significa, que se deberá tomar en cuenta en el diseño las variaciones atmosféricas en el medio de operación para asegurar un flujo tanto de agua como de aire adecuados.
2. Cuando se ejecute el programa se tendrá que verificar que no exista intersección de la línea de operación con la línea de equilibrio, ya que éste gráfico nos da la posibilidad de interpretar si tenemos una fuerza de excitación de cero, así como una altura infinita. Para ello, deberá de introducirse un rango de temperatura para el agua apropiado, de lo contrario, se deberá de colocar otra torre en serie para lograr el enfriamiento deseado.
3. Tomando en cuenta las características técnicas de los materiales para que éstos conserven su vida útil, se deberá tener a la entrada del sistema de enfriamiento un flujo de agua máximo de 50°C.
4. La eficiencia de la torre es inversamente proporcional al flujo de agua como a la temperatura de la misma. Así mismo, a mayor tiempo de contacto y mayor gradiente de temperatura se mejora la eficiencia.
5. Comparando con los elementos del equipo importado, con excepción del ventilador y la bomba principalmente, se puede tener un menor valor de

los elementos que componen el proceso de enfriamiento que se puedan construir en nuestro medio.

6. Es importante considerar que las temperaturas óptimas de control son para una aplicación específica, más no, para uso general. Las características de operación de carga, y las condiciones ambientales determinan las temperaturas óptimas de control de la torre para una instalación dada.
7. La caída de presión que se tendrá dentro del sistema de enfriamiento dependerá de las propiedades y ubicación de los empaques colocados, ya que, pueden retardar la caída de agua o facilitar el arrastre de partículas de las mismas por la parte superior del equipo.
8. El análisis realizado se aplica solamente para torres tipo piloto (torres pequeñas), ya que cuando se desea obtener rangos de enfriamientos grandes, los resultados de las de las propiedades difieren de su valor real.

Tabla 1. Modelo de Costos

Componentes	Modelo de costos	Referencia
DIRECT CAPITAL COST		
Equipo de proceso		
Columna(D=diam. columna)	$C = (45.2 + 3.5D - 7.7 \cdot 10^{-3}D^2) \cdot H$	D en pulg, Hpack in pies
Puertos	$C = -31.6 + 72.8D_{port} - 2.8D_{port}^2$	$D_{port} = 2/3 D$, $D_{port(max)} = 24$ in
Entr. y sal. De agua	$C = 133.8 + 42D_{tubo} + 4.8D_{tubo}^2$	$D_{tubo} = 2/3 D$, pulg.
Entr. De aire	$C = C_{port} + 5\%$	
Anillos de soporte	$C = 70.4 + 4.45D + 1.73 \cdot 10^{-2}D^2$	
Distr. De liquido	$C = 658.1 - 6.5D + 0.22D^2$	
Placa de apoyo de emp.	$C = 20.6 + 1.1D + 9.7 \cdot 10^{-2}D^2$	
Eliminador de arrastre	$C = 46.4 + 9.3D + 0.14D^2$	
Material de empaque	$C = 20 (0.785D^2H_{packing})$	D and H en pies
Bomba de agua	$C = 352 + 145HP - 2.7HP^2$	HP is horsepower = Watt/745.7
Ventilador	$C = 991 + 616HP - 38.26HP^2$	HP is horsepower = Watt/745.7
Equipo de apoyo		
Cañería y ductos	25% del costo del equipo	
Inst. eléctrica	10% del costo del equipo	
Costo capital indirecto		
Trabajo en obra	15% Costo capital directo	
Engineering	27% Costo capital directo	
Construcción	20% Costo capital directo	
Costo de operación		
Energía		
Bomba de agua	Costo energ. = \$0.05/kW-hr	$E_{bomba}E_{motor} = 0.6$
Ventilador	Costo energ. = \$0.05/kW-hr	$E_{bomba}=E_{motor} = 0.6$
Trabajo y Mantenimiento	$10\% \text{ Costo capital dir.} + 5 \cdot 10^{-6}V$	V = gal. agua trarada

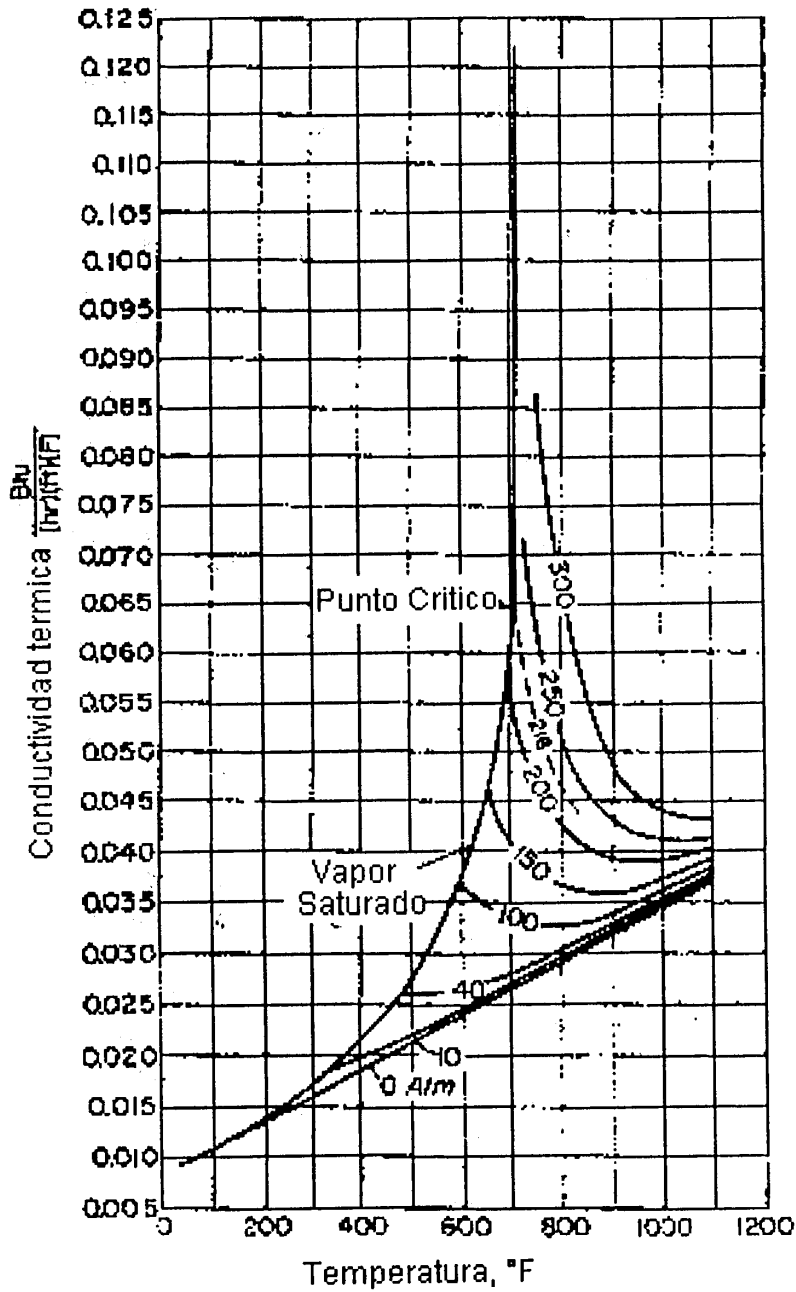


Fig A1 Conductividad termica k del vapor de agua mostrando la dependencia sobre la presion y la temperatura

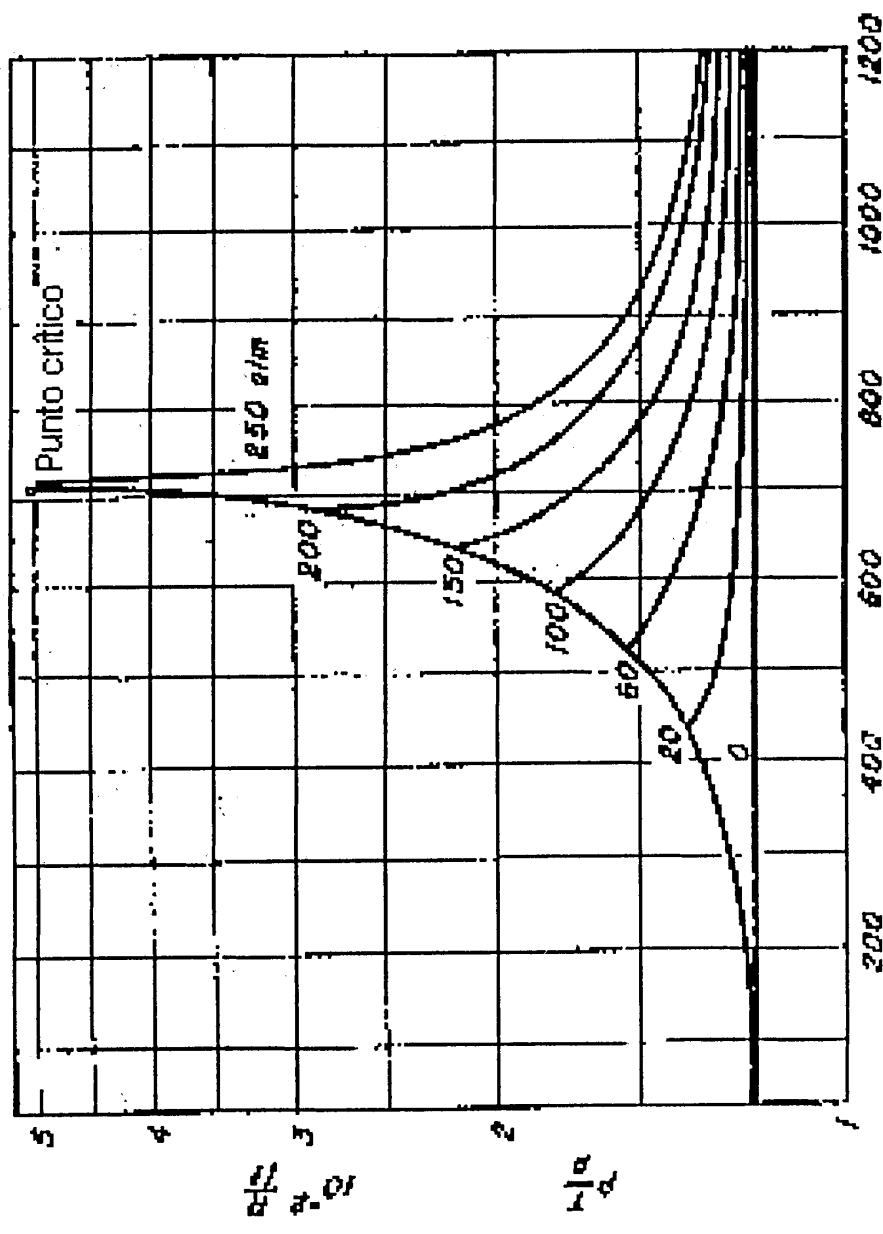


Fig. A2 La densidad del agua mostrando la dependencia sobre la presión y la temperatura

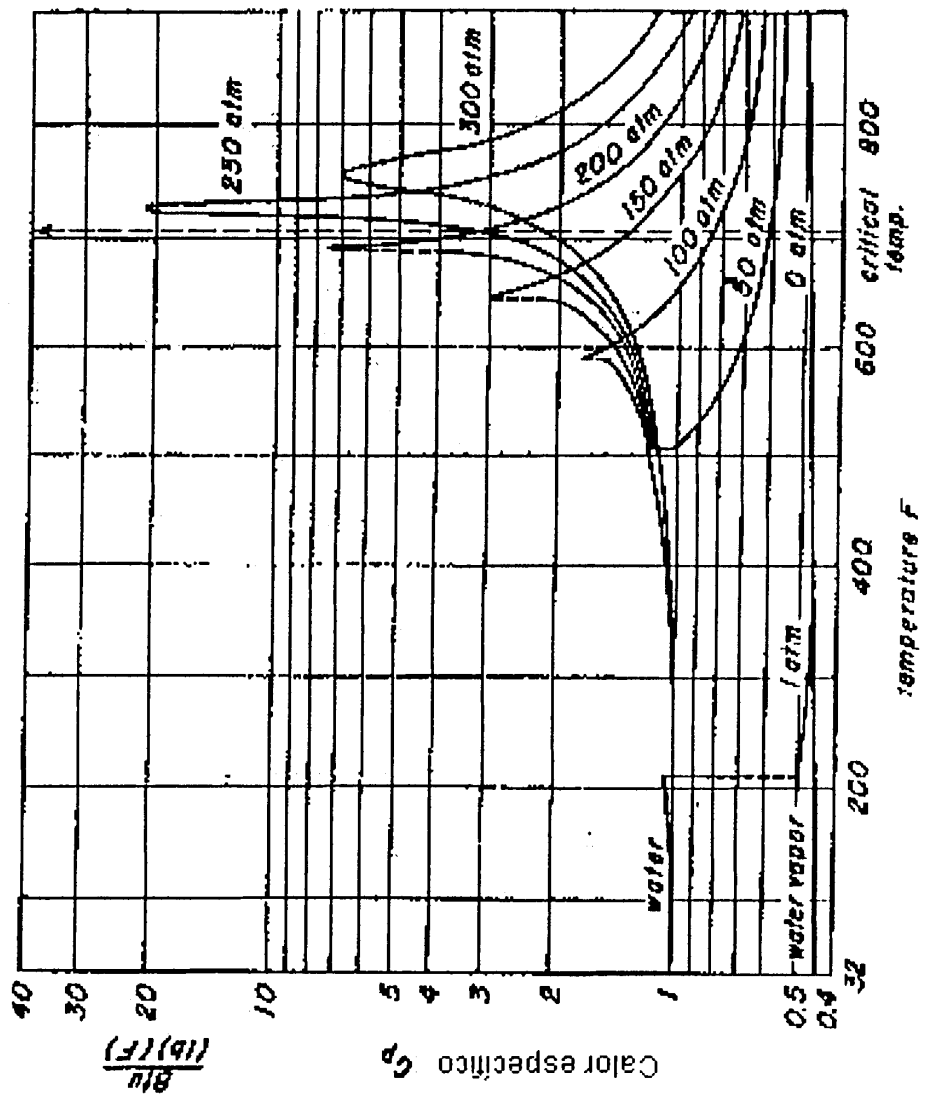


Fig A3 Calor específico a presión constante del agua y del vapor de agua

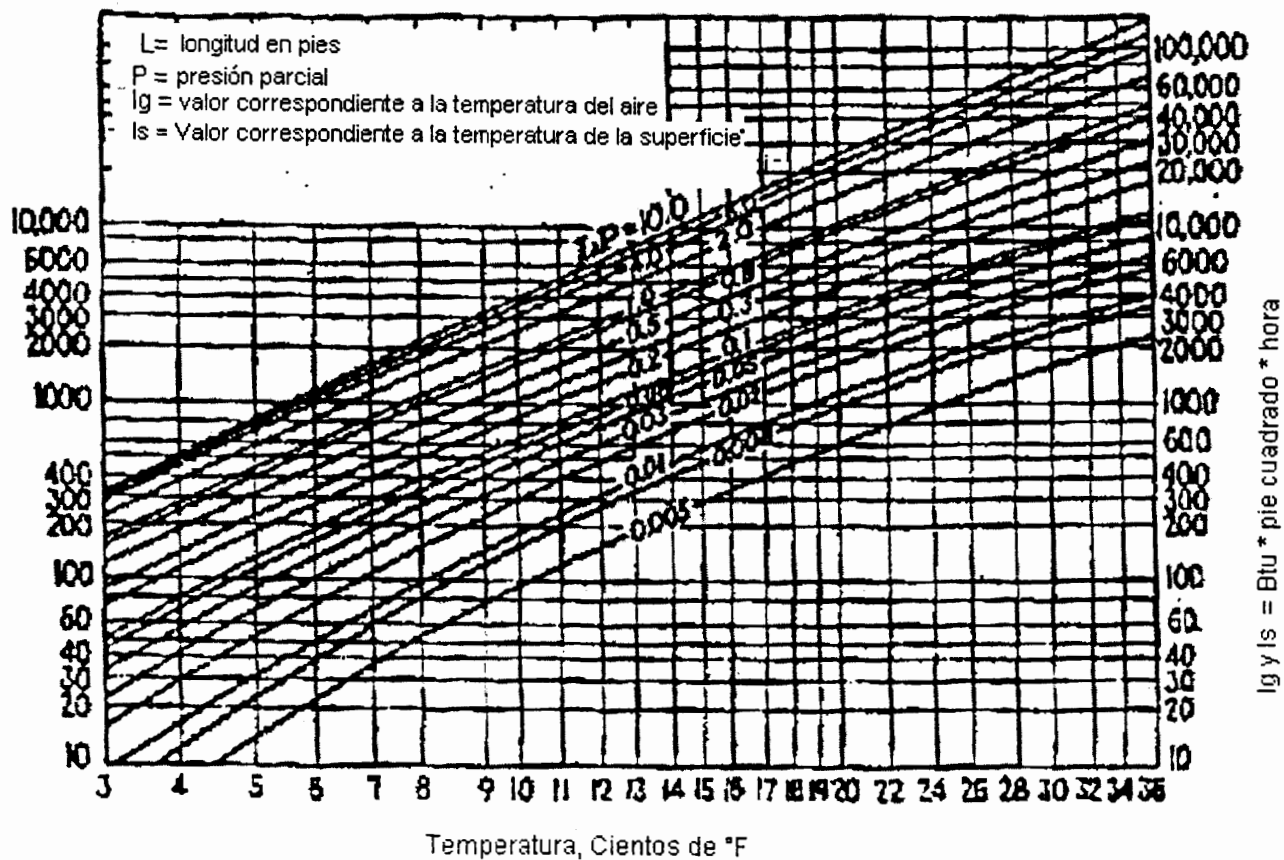
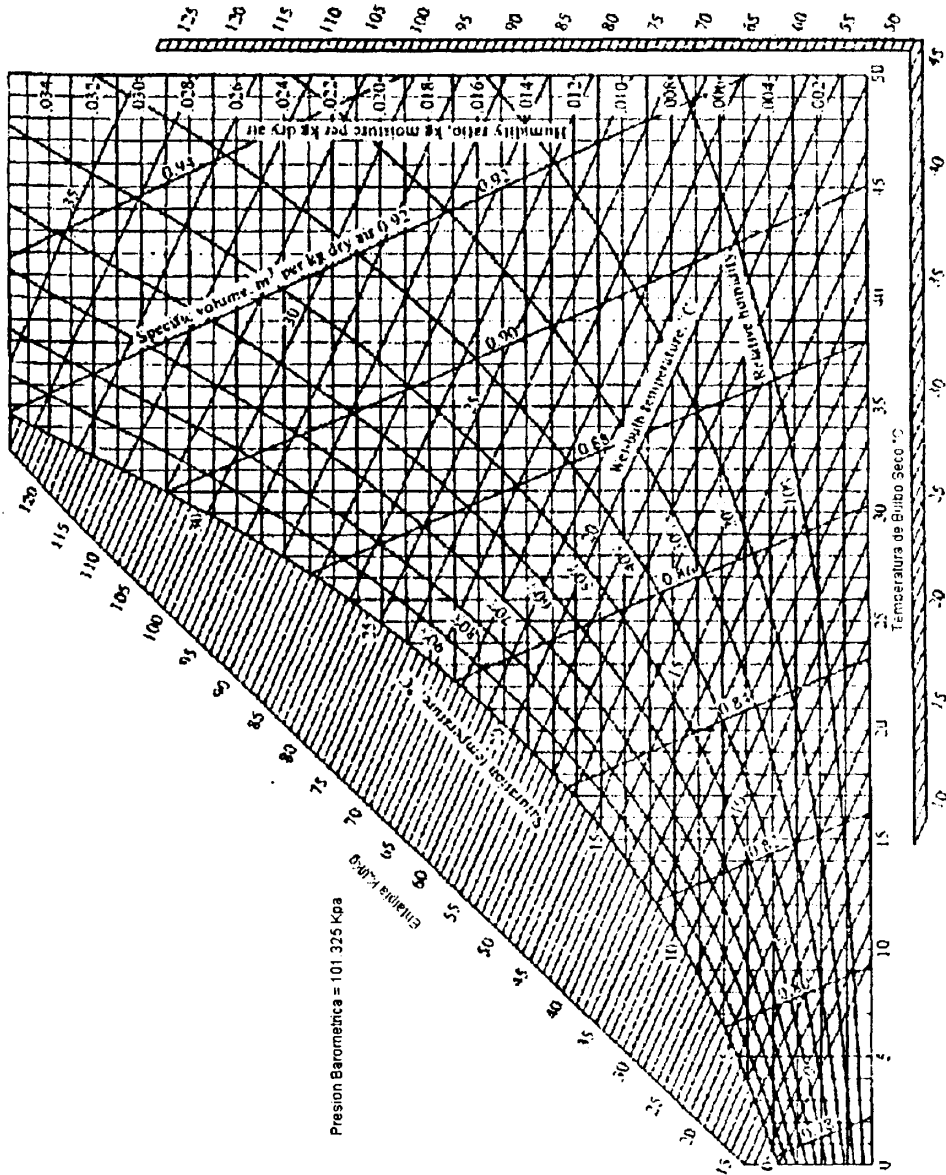


Fig A4 Radiación total debido al vapor de agua y al dióxido de carbono



Eritrean Kulk

FIG. AS T-303A PSYCHROMETRIC

BIBLIOGRAFIA

1. Perry, Robert , Manual del ingeniero químico 6ta edición, New York, Mc Graw-Hill),1981, Capítulo 12.
2. R.E. Treybal, Operaciones de transferencia de masa (2da. Edición, New York, Mc Graw-Hill,1981), Capítulo 7.
3. Kern, Donald "Principios de transferencia de calor" 2da edición
4. "Olympic engineers sales" consultant boards
5. D.Davis, Cooling Towers supervisor
6. Mc Cabe, John,Principios de transferencia de masa(2da edición
7. Badger & Banchero ,Operaciones de transferencia de masa(2da edición,
8. Montgomery, Susan "Unitary operation laboratory abstract"