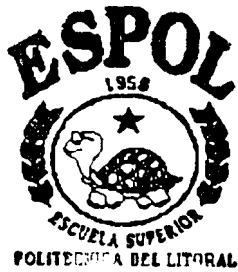


T  
621.58  
AYO



# **Escuela Superior Politécnica del Litoral**

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

## **“Mejoras En Las Instalaciones Mecánicas De Una Planta Productora De Hielo de 180/Ton/Dia”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la Obtención del Título de:  
INGENIERO MECANICO**

**Presentada por:**

**Mario Miguel Ayoub Touma**

**Guayaquil - Ecuador**

**Año . 2000**



## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Ernesto Martinez, por su valiosa colaboración desinteresada en la dirección y desarrollo de esta tesis.

Al grupo productor de hielo más grande del país, para el cual trabajé durante tres años como jefe de planta, por su comprensión y apoyo en el proyecto.

A mi familia y amigos, quienes con su manera muy peculiar, me apoyaron.

## DEDICATORIA



A DIOS

A LA MEMORIA DE MI MADRE

A MI PADRE

A MI FAMILIA

## TRIBUNAL DE GRADUACION



---

Ing. Mario Patiño A.

SUBDECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE



---

Ing. Ernesto Martinez L.

DIRECTOR DE TESIS



---

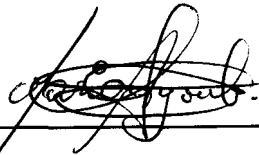
Ing. Manuel Helguero S.

VOCAL

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de ésta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mario Miguel Ayoub Touma', written over a horizontal line.

SR. MARIO MIGUEL AYOUB TOUMA

## RESUMEN

La presente tesis presenta el trabajo que se realizó en una planta productora de hielo, en la que existía un elevado consumo de energía para la producción.

En el primer capítulo, se explica el proceso de producción de hielo en marquetas, resaltando la importancia de los parámetros de operación, observando la variación en los parámetros idóneos con lo que se detecta el problema.

En el segundo capítulo, se analizan diferentes alternativas para mejorar la remoción de calor que transfiere el refrigerante tales como: la compra de un condensador evaporativo que cubra un 30 % de las necesidades y que permita continuar el proceso de producción con un tiempo muerto bastante aceptable y la reparación de cada uno en forma secuencial.

En el tercer capítulo, se determina el calor real disipado por cada condensador y la participación de cada uno de ellos, con lo que se define la secuencia y el cronograma de reparación.



En el cuarto capítulo, se muestran los resultados de lo planificado y los nuevos parámetros de operación; con lo que se analiza económicamente la situación anterior.

En el quinto capítulo, se redactan las conclusiones y recomendaciones.

Cabe indicar que la producción, debida a la demanda a finales de 1999, era de un 30% de la capacidad instalada, razón por la cual se decidió, en vista de los costos de reparación y la situación económica que se atravesaba en esos momentos, operar con el 60 % de la capacidad instalada.

De los cinco condensadores evaporativos que juntos brindan setecientos setenta toneladas de refrigeración, se han reparado tres, los cuales brindan en los actuales momentos cuatrocientos sesenta toneladas de refrigeración, con lo que la cantidad de remoción de calor es suficiente para producir noventa toneladas de hielo diarias promedio y cubrir la demanda actual que llega a un 50 % de la capacidad instalada.

# INDICE GENERAL

	Pbg.
RESUMEN.....	.II
INDICE GENERAL.....	IV
SIMBOLOGIA.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INTRODUCCION.....	I

## CAPITULO 1

1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción del Proceso.....	.4
1.2 Ciclo de Refrigeración.....	.12
1.3 Características generales de la fábrica y parámetros de operación.....	.20
1.4 Definición del problema.....	29

## CAPITULO 2

2. MEJORAR EFICIENCIA A CONDENSADORES EVAPORATIVOS.....	44
---	----



2.1	Compra de condensador evaporativo.....	47
2.2	Reparar cada uno de los condensadores en forma secuencial.....	49

### CAPITULO 3

3.	REPARACION TOTAL DE CONDENSADORES EVAPORATIVOS .....	53
3.1	Calor disipado por condensadores y participación de cada uno de ellos .....	53
3.2	Definir secuencia de reparacibn.....	58
3.3	Planificar reparacibn....,	61
3.4	Presupuesto.....	69

### CAPITULO 4

4.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	73
4.1	Resultados de lo planificado.....	73
4.2	Parámetros de operación recomendados.....	77
4.3	Análisis econbmico.....,	80

### CAPITULO 5

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
----	-------------------------------------	----

### APENDICE

### BIBLIOGRAFIA

## SIMBOLOGIA

$Q_{Total}$	Calor total que se le extrae a un cuerpo
$Q_{Sensible}$	Calor que eleva la temperatura sin cambio de fase
$Q_{Latente}$	Calor a igual temperatura <b>pero</b> con cambio de fase
$Q_{Enfriamiento}$	Calor de enfriamiento del agua
$Q_{Congelamiento}$	Calor de congelamiento del agua
$Q_{Subenfriamiento}$	Calor de subenfriamiento del agua
$Q_{moldes}$	Calor que se extrae de los moldes
$Q_{agitadores}$	Calor que producen los agitadores
$m$	masa del agua
$m_{moldes}$	masa de los moldes
$m_{chasis}$	masa del chasis
$C_p$	Calor específico
$AT$	Gradiente de temperatura
$Ah$	Gradiente de entalpia ( energía )
$h_1$	Entalpia a la salida del evaporador
$h_2$	Entalpia a la entrada del condensador
$h_{2'}$	Entalpia donde se inicia la condensacion
$h_3$	Entalpia a la salida del condensador
$h_{3'}$	Entalpia desplazada a la salida del condensador
$h_4$	Entalpía a la entrada del evaporador
$h_{4'}$	Entalpia desplazada a la entrada del evaporador
$N_f$	Potencia frigorífica de todo el sistema
$q_e$	Energía del evaporador
$q_w$	Energía del compresor
$q_c$	Energía del condensador
$P_c$	Potencia del compresor
$Q_c$	Carga frigorífica del condensador
<b>COP</b>	Coeficiente de funcionamiento optimo
<b>ER</b>	Efecto refrigerante

## INDICE DE FIGURAS

	Pdg.
Figura 1.1	Dibujo esquemático de la distribución de la planta..... 4
Figura 1.2	Recorrido del agua en su tratamiento..... 5
Figura 1.3	Se muestran los tres ablandadores..... 6
Figura 1.4	Se muestran los moldes y el puente grúa ..... 7
Figura 1.5	Dimensiones de los moldes..... 7
Figura 1.6	El virador-llenador..... 8
Figura 1.7	Línea de producción en donde se aprecia la piscina de salmuera y su estructura de bastidores..... 9
Figura 1.8	Cámara de almacenamiento..... 11
Figura 1.9	El molino..... 12
Figura 1.10	Comparación entre los ciclos de Carnot..... 15
Figura 1.11	Ciclo Real de Refrigeración ..... 18
Figura 1.12	Vista exterior de la planta..... 20
Figura 1.13	Vista del túnel de una de las líneas de producción ..... 21
Figura 1.14	Parque de compresores..... 23
Figura 1.15	Tablero de control..... 25
Figura 1.16	Recibidores..... 27
Figura 1.17	Agitador ..... 29
Figura 2.1	Se muestra el diagrama de flujo del agua..... 46
Figura 3.1	Dibujo esquemático de un condensador evaporativo..... 72
Figura 4.1	Muestra del condensador Imeco 300 antes y después de la reparación..... 76
Figura 4.2	Mecanismo de control de la capacidad de descarga..... 78

## INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1	Nombres de los cambios de fase.....	13
Tabla 1.2	Carga de compresores existentes.....	22
Tabla 1.3	Capacidad de descarga.....	24
Tabla 1.4	Capacidad de los condensadores.....	26
Tabla 1.5	Desglose de la cantidad de calor que representa la potencia frigorífica necesaria del sistema de refrigeración.....	38
Tabla 1.6	Características generales de la planta.....	41
Tabla 1.7	Dimensiones del tanque de salmuera.....	42
Tabla 1.8	Propiedades y características de los elementos.....	43
Tabla 2.1	Utilización real de la capacidad instalada en el año.....	48
Tabla 2.2	Características de alternativas de solución.....	52
Tabla 3.1	Propiedades del amoníaco en el sistema.....	54
Tabla 3.2	Aporte porcentual de cada uno de los condensadores.....	56
Tabla 3.3	Eficiencia de cada uno de los condensadores.....	58
Tabla 3.4	Comportamiento de la capacidad de condensación durante la reparación de cada uno de los equipos.....	60
Tabla 3.5	Diagrama de Gantt del mantenimiento de un condensador evaporativo.....	68
Tabla 3.6	Resumen de costos de la reparación de un condensador evaporativo.....	71
Tabla 4.1	Parámetros de operación antes de la reparación de los condensadores.....	77
Tabla 4.2	Parámetros de operación después de la reparación de los condensadores.....	79
Tabla 4.3	Capacidad de condensación durante la reparación de cada uno de los equipos.....	80
Tabla 4.4	Se muestra un resumen de ahorro energético con su respectivo origen.....	82



## INTRODUCCION

La fábrica de hielo **está** ubicada en la Península de Santa Elena, en el sector del Parque Industrial "La Libertad" y fue construida en el **año** de 1987 con una capacidad de 800 marquetas de hielo diarias (58 ton). Se incrementó su capacidad instalada en los **años** de 1992 y en 1995 logrando una capacidad de producción de 2500 marquetas diarias (180 ton).

La demanda de hielo para el sector acuicola y pesquero, experimentó **significativa** y paulatinamente un **incremento** en los últimos diez años, que tuvo su **punto más** alto en 1997, desde esa fecha aparecieron en el negocio nuevas **fábricas** con **la** intención de  **cubrir** la demanda, **pero** coincidentemente, la pesca se vio afectada por los **fenómenos** naturales conocidos como **El Niño** y **La Nina**, como es de esperar la demanda se **convirtió** en **sobre-oferta**, lo que provoca en estos momentos una batalla por el mercado existente, utilizando como armas; el precio, la calidad y el servicio. **Pero** para que **éstas** armas sean contundentes, deberán ser **eficaces** y **eficientes**, es decir, un mejoramiento de recursos y procesos.

A principios de 1998 surge una interrogante sobre el alto costo de energía eléctrica que existía en la fábrica de hielo para la cual trabajé y en la que desempeñé las funciones de jefe de planta.

Revisando datos históricos de consumo de energía se pudo apreciar un incremento paulatino, pero también un crecimiento en la capacidad de producción con lo que se "justificaba" este incremento de costo. Sin embargo la duda seguía en cuanto los costos de operación estaban mucho más alto que lo planificado, razón por la cual se procedió a verificar la capacidad instalada vs capacidad de diseño, determinando que existía exceso de equipos y la utilización de ellos era total.

Se detectan varios problemas, entre los cuales, por ser el más crítico, se decide resolver con urgencia la baja eficiencia de los condensadores.

Para una fábrica, mantener su producción en óptimas condiciones, es un ideal por el que se lucha constantemente mediante el mantenimiento preventivo y correctivo utilizando en muchos casos una reingeniería de procesos y es un costo al que se debe recurrir.

# CAPITULO ■

## 1. DEFINICION DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe el proceso completo para producir hielo en marquetas de 72 Kg que lo emplean en un predominante porcentaje los camaroneros y para preservar el pescado que debe ser transportado en su mayoría hacia la ciudad de Guayaquil para su venta y avalúo a mejor precio, por lo que se lo comercializa en marquetas o triturado, servicio que provee la fábrica en caso de ser necesario según los requerimientos del cliente.

Se expone una explicación del ciclo de refrigeración donde se detallan cada uno de los componentes principales.

También se habla de las características técnicas de la fábrica de hielo y se define el problema que se presenta que es motivo de un análisis de ingeniería.

## 1.1 Descripción del Proceso

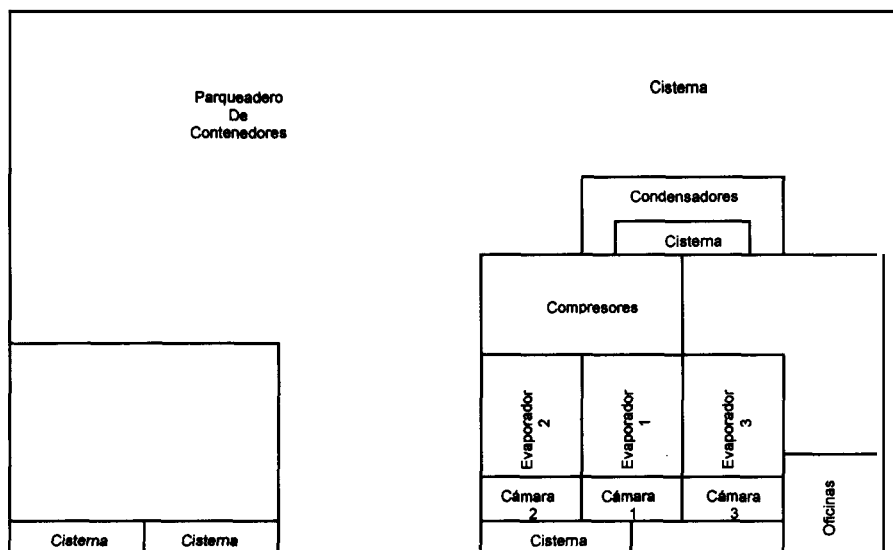


Figura 1.1 Dibujo esquemático de la distribución de la planta

El dibujo ilustrado muestra la distribución física de la planta productora de hielo en un área total de  $10.000\text{m}^2$ .

### Tratamiento de agua.-

La localización de la planta tiene problemas de suministro de agua potable y el consumo de la industria en la Península de Santa Elena es alto.

El agua es la *materia* prima, se la recibe por medio de tanqueros que la traen de pozos ubicados en las cercanías de la zona, al ingresar a las cisternas de la planta se le verifica su dureza, aceptando sólo el



agua con un máximo de 1.200 ppm de sólidos disueltos, ésta se almacena en cuatro cisternas con una capacidad total de 600 m<sup>3</sup>, donde se le agrega pastillas de cloro para su purificación a la espera de su requerimiento.

Los ablandadores son unos tanques cilíndricos verticales de 0,50 m de diámetro y 1,50 m de alto, en su interior existe carbón activado y resina, al pasar por ellos el agua se genera una reacción química que reduce la dureza del agua a 15 ppm de sólidos disueltos; son tres y trabajan en paralelo con un caudal de 2,5 m<sup>3</sup> / hora cada uno.

El proceso se inicia con el traspaso de flujo másico de agua hacia un tanque elevado a 12 m de altura al que sólo se puede introducir agua ablandada, con una bomba centrífuga se llena un tanque elevado de 8 m<sup>3</sup> para surtir desde ahí, aprovechando la gravedad, a todo el sistema.

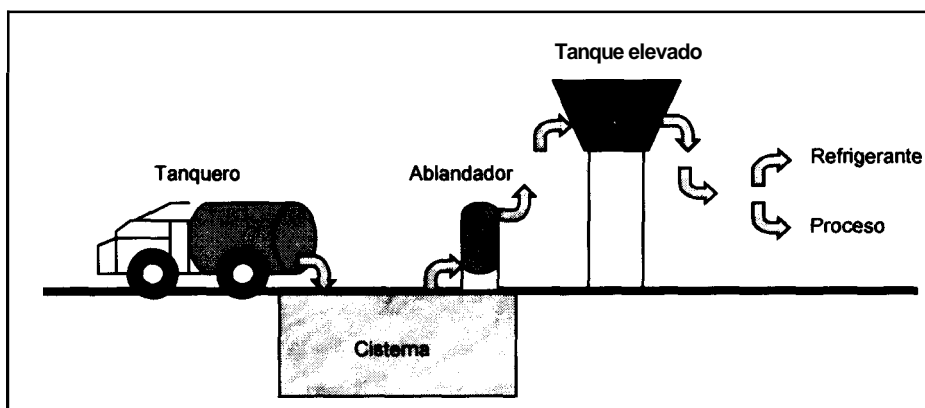


Figura 1.2 Recorrido del agua en su tratamiento

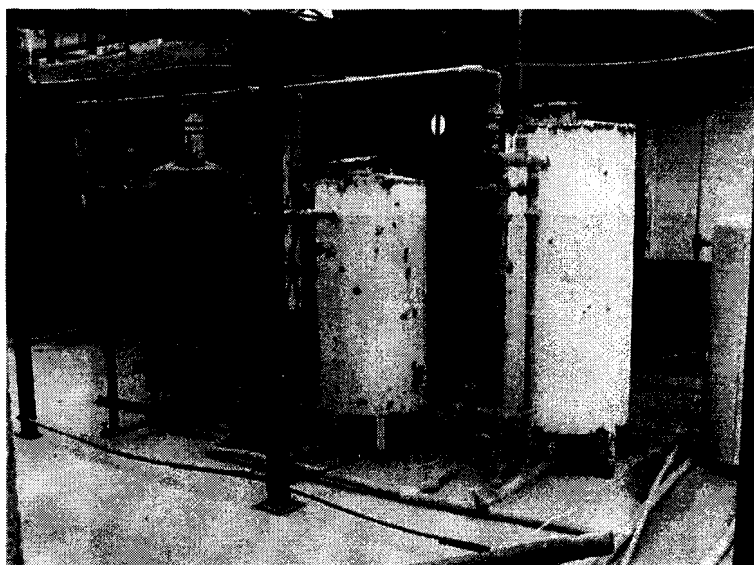


Figura 1.3 Se muestran los tres ablandadores

Existen dos requerimientos de agua; como material directo e indirecto de producción; el primero es para llenado de moldes y su conversión en hielo y el segundo a manera de refrigerante tanto de condensadores como de compresores.

### **Transportación** de moldes

Son moldes rectangulares de 1,2 x 0,4 x 0,2 m confeccionados de plancha galvanizada de 1/16" y unidos por medio de un chasis en grupos de a ocho.

Estos grupos de moldes son transportados por medio de un puente grúa ubicado en la parte superior y que deposita al grupo en el puesto requerido.

Se los sube o baja con un teclé eléctrico, el cual está mecánicamente sujeto al puente grúa y se puede trasladar a cualquier punto de la línea de producción.

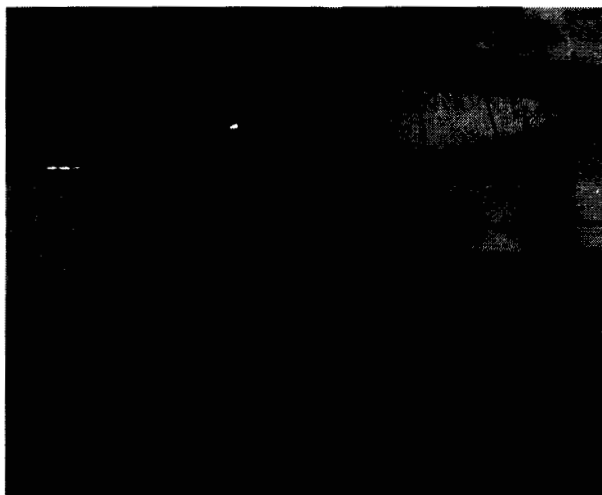


Figura 1.4 Se muestran los moldes y el puente grúa.

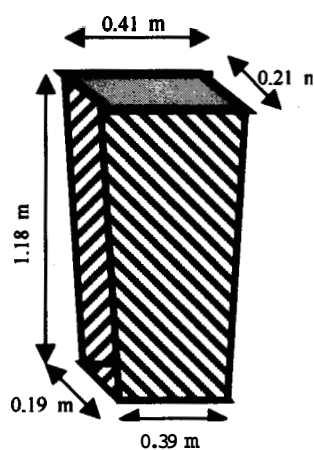


Figura 1.5 Dimensiones de los moldes.

### **Virador - Llenador**

Es una estructura metálica, formada por vigas C de 2 x 3/16" y sujetas a dos chumaceras que permiten el volteo de los moldes para el desprendimiento del hielo previo al desmolde y posterior ingreso a la cámara de conservación, además es el lugar donde se encuentran las 8 mangueras con sus respectivas llaves de globo que permiten el llenado de los moldes.

Se trasladan los moldes hasta el virador, donde se abren las llaves y se procede a llenar los moldes, una vez realizado el proceso se traslada el grupo de moldes lleno de agua hasta el lugar de origen del molde.



Figura 1.6 El virador-llenador

### **Pozo de salmuera**

Es una piscina de cemento aislada con poliuretano de alta densidad y recubierta en su interior con plancha naval de 3/16", con una salida de agua que controla su nivel y otra que por medio de una llave se puede lograr que al abrirla, se vacie la salmuera del pozo con fines de limpieza y mantenimiento. En el interior existe un armazbn de ángulos y platinas de 1 ¼ x 1/8" para separar los grupos de moldes y es donde se encuentra el evaporador. Se encuentra llena de salmuera con una densidad de 20" Baumé y a una temperatura de - 10 "C gracias al intercambio con el evaporador.



Figura 1.7 Línea de producción en donde se aprecia la piscina de salmuera y su estructura de bastidores.

### **Espera en la conversión de agua a hielo**

Una vez depositado el grupo de moldes en su respectivo lugar, deberdn permanecer **24** horas para su transformación a hielo, **pero** hay que indicar que los moldes no se retiran de golpe sino de una **manera** progresiva, es decir que una vez colocado el grupo # 1, se **procede** con el grupo # 2 y así sucesivamente, encontrando hielo en los siguientes moldes a retirar, esto hace que cada maqueta sea producida en **24** horas.

**Pero** se tienen tres líneas de producción y cada una con **104** tapas; en cada tapa hay un grupo de 8 moldes unidos por un chasis que se pueden retirar **al** mismo tiempo, es decir, simultáneamente se pueden obtener **24** marquetas cada **13** minutos con **50** segundos hasta completar **los 1.440** minutos que tiene el día.

### **Almacenamiento de producto terminado**

El producto es almacenado en cuartos fríos a 5 °C. Estos cuartos están aislados con poliuretano de alta densidad y en el piso existen palletes que sirven para que los operadores no resbalen y que el agua que es producto de sudor en el hielo no pegue la maqueta **al** piso.

Se retira el grupo de moldes correspondiente y se lo transporta al desmoldeador que es una piscina de agua caliente que se mantiene así gracias a una tubería proveniente de la línea de descarga de los

compresores, en donde se desprende el hielo del molde, se lo ubica en el virador, donde con un simple giro salen las marquetas e ingresan a la cámara de mantenimiento donde se conservan de manera aceptable por más de 24 horas a la temperatura de almacenamiento.



Figura 1.8 Cámara de almacenamiento.

### **Producto terminado**

El hielo de la planta es un bloque de; 1,1 m de largo, 0,39 m de alto y 0,19 m de ancho al que se denomina marqueta, la que se hace pasar por un molino para que al triturarlo, se adapte fácilmente a la forma requerida y de un mejor efecto refrigerante al producto de mar que se desee transportar, es un producto que se vende para mantener la pesca fresca hasta llegar a su destino.



Figura 1.9 El molino.

## 1.2 Ciclo de Refrigeración

Refrigerar es bajar la temperatura de un ambiente o local, mejorando las propiedades de los materiales para conservar alimentos y productos o crear confort en las personas.

Por el condensador se disipa calor y por el evaporador se toma calor; el compresor es el que cumple la función de movilizar el fluido en el circuito cerrado de refrigeración.

Agua en contacto con hielo recibe calor sensible.

El calor sensible es el que produce una elevación de temperatura en un cuerpo sin que se realice un cambio de fase o estado.

El calor latente es el que produce un cambio de estado o fase en un cuerpo a una temperatura constante en ese momento.



$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{Sensible}} + Q_{\text{Latente}}$$

La cantidad total de calor que recibe un cuerpo está dada por la expresión:

$$Q = m C_p \Delta T$$

Donde;

$m$ , es la cantidad de **masa** que posee el cuerpo.

$C_p$ , es el calor **específico** de ese cuerpo a presión constante.

$\Delta T$ , es la diferencia de temperatura que sufre el cuerpo.

### **Cambios de fase.**

Para que exista un cambio de fase, se debe pasar de un sector a otro de la campana del elemento del cual estamos hablando. Implica toma o cesión de calor

Tabla 1.1

<b>V → L ;</b>	<b>Condensación</b>
<b>S → L ;</b>	Fusión.
<b>L → S ;</b>	<b>Solidificación.</b>
<b>S → V ;</b>	Sublimación.
<b>L → V ;</b>	<b>Vaporización.</b>

Tabla 1.1 Nombres de los cambios de fase.

El calor latente de sublimación ocurre a temperaturas bajas, las que están entre los  $-78$  y  $0^{\circ}\text{C}$  (hielo seco  $\text{CO}_2$ ). La salmuera está entre el hielo y el hielo seco.

La evaporación es la vaporización en la superficie del líquido.

La ebullición es la vaporización en el seno del mismo líquido pero a una temperatura que es constante según la presión a la que este sometido.

Al evaporarse un refrigerante toma calor del medio (calor latente de evaporación).

Expandir es liberar presión, es reducir estas presiones de manera brusca pero cuando hay mezcla a manera de rocío, es decir, dentro de la cámara, así se obtendrá una variación de temperatura  $\Delta T$  representativo.

### **Ciclo de compresión de vapor**

Los elementos principales que son necesarios para una planta de refrigeración por compresión de vapor son; el compresor, el evaporador, el condensador y la válvula de expansión.

El ciclo se encuentra claramente definido por dos presiones que dividen en línea de alta presión y temperatura, y en línea de baja presión y temperatura, los límites están dados por el compresor y la válvula de expansión.

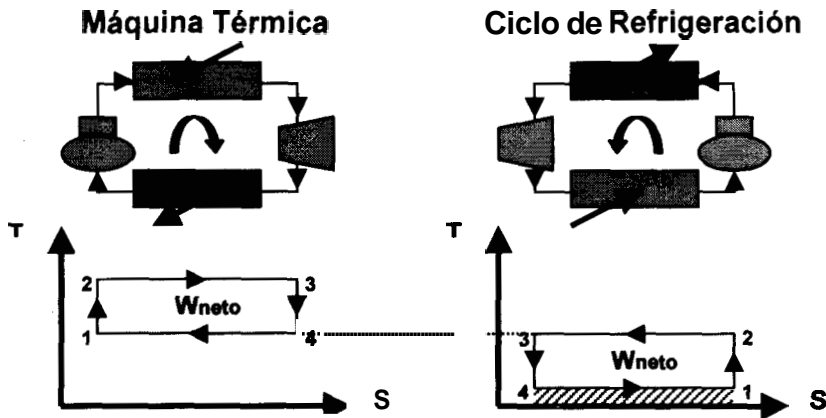


Figura 1.10 Esta es una comparación entre los ciclos de Carnot.

En el ciclo de refrigeración de Carnot el área encerrada en 1,2,3,4 es el trabajo **neto** del ciclo y el área bajo la línea 1,4 (rayada) es el calor absorbido del medio.

1 - 2 → Compresión isentrópica.

2 - 3 → Disipación de calor a temperatura constante y alta (V → L: el refrigerante).

3 - 4 → Expansión isentrópica

4 - 1 → Toma de calor a temperatura constante y baja (Lado frío).

La turbina realiza un trabajo de expansión, **pero** una turbina es muy costosa por lo que se prefiere sacrificar entropía y utilizar dispositivos de expansión, es decir, que ya no se hace trabajo (porque no hay turbina), **pero** el proceso se hace irreversible.

### **Coefficiente de Funcionamiento COP.-**

Es la **relación** entre el calor absorbido del recinto refrigerado y la energía **térmica** equivalente que se necesita proporcionar al compresor. Es una **cantidad** adimensional y nunca es **menor** a uno.

Es un valor normalmente entre **1** y **5**, **pero** se pueden obtener valores hasta de **14** según las unidades que se utilicen.

$COP = \text{Efecto refrigerante} / \text{Trabajo de compresión}$

$COP \approx EER \approx SEER$  (Season, Energy, Efficient, Refrigerant).

Hay **compañías** que utilizan el SEER. Es lo mismo que el COP **pero** el frío producido se lo da en unidades de calor [ BTU / h ] y la potencia consumida en unidades de potencia [ Kw ]

$COP \approx SEER = Q / W$

### **Condiciones de funcionamiento óptimo.-**

Si el calor absorbido del medio es el frío que produce nuestro **sistema** y éste, **gráficamente**, es el Area bajo la curva ( **4 - 1** ). Y el trabajo **neto** es la potencia consumida y ésta, **gráficamente**, es la resta de áreas de las curvas ( **2 - 3** ) y ( **4 - 1** ).

Además  $Q = T \int ds :$

$COP = T_1 (S_1 - S_4) / [ T_2 (S_2 - S_3) - T_1 (S_1 - S_4) ]$

**pero**  $S_1 = S_2$  y  $S_3 = S_4$

Entonces;  $COP = T_1 / ( T_2 - T_1 )$

### **Ciclo de Refrigeración de Carnot (Real).-**

Al eliminar la turbina, el nuevo dispositivo de expansión provoca el movimiento del punto 4, a la posición 4'. La expansión se realiza entre los puntos 3 y 4'.

Si la compresión se hace dentro de la campana, donde todavía existe mezcla húmeda, trae problemas y, por esto desplazamos el punto 1 a la posición 1', por lo que el evaporador trabaja de 4' a 1'.

La compresión es isentrópica y por eso se crea un punto 2' al final de ésta desde 1'.

El condensador de 2' a 2 funciona como enfriador y de 2 a 3 condensa al refrigerante.

Se ha analizado el ciclo en un diagrama Temperatura – Entropía que es usado en Termodinámica. En refrigeración se utiliza el diagrama Presión – Entalpía debido a que los diferenciales de Entalpía dan energía.

$$Q = m h_{fg}$$

Donde;

$m$ , es la cantidad de flujo másico del refrigerante.

$h_{fg}$ , es la diferencia de entalpía en los extremos de la campana y a la misma presión.

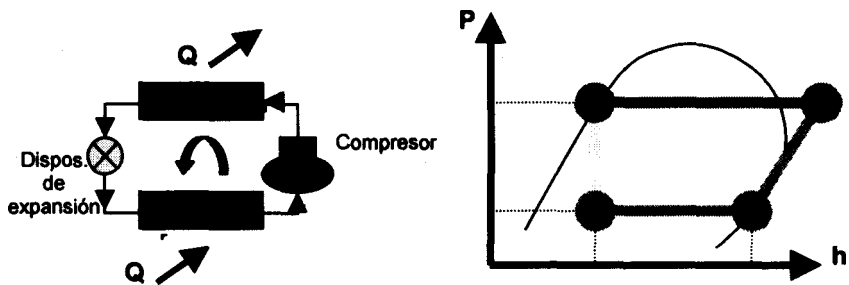


Figura 1.1 ■ Ciclo de Refrigeración

La unidad en que se mide la capacidad de refrigeración es la tonelada de refrigeración, pues los equipos modernos tienen una gran capacidad de refrigeración y sería absurdo hablar de números muy grandes.

$$1 \text{ Ton Ref.} = 200 \text{ BTU/ min} = 840 \text{ cal / seg}$$

El efecto del refrigerante ER, es el calor que puede ser capaz de absorber el refrigerante.

$$ER = h_1 - h_4$$

$$Q = m (h_1 - h_4) = m (ER)$$

### Sistemas de Presiones Múltiples.-

A la entrada del compresor (punto 1) la presión y temperatura son bajas, **pero** a la salida de éste (punto 2) la presión y temperatura son altas.

La evaporación del refrigerante se hace tomando el calor del medio por el evaporador, que es la parte fría del circuito.

El condensador actúa como enfriador primero debido a que el refrigerante está sobrecalentado y fuera de la campana y cuando éste entra a la zona de mezcla definida por la campana es recién ahí cuando empieza a condensarse.

En cualquier punto se puede averiguar el flujo del refrigerante, entonces se toma el más fácil (punto 1) :  $Q = m (h_1 - h_4)$ .

Ya se puede fijar la capacidad de absorción  $Q$  según la necesidad. Y si se escoge el refrigerante, se puede obtener el efecto refrigerante

$$ER = h_1 - h_4 ;$$

si  $h = C_p T$ , ya no son necesarias las temperaturas, sino que se usa una sola variable  $h$  y en los diagramas  $P - h$  se puede obtener  $Ah$  de manera sencilla con lo que se lee energías.

El tanque separador es un recipiente almacenador de refrigerante que separa el líquido del gas gracias a la diferencia de densidades y así el líquido baja y se dirige al evaporador mientras que el gas sube y pasa directo a la salida del evaporador, se encuentren las dos salidas de gas a igual presión y se mezclen para de ahí salgan al compresor y comience de nuevo el ciclo.

### 1.3 Características Generales de la Fábrica y Parámetros de Operación



Figura 1.12 Vista exterior de la planta

La fábrica está ubicada y distribuida en un terreno de 10.000 m<sup>2</sup>, posee una capacidad de almacenamiento de agua en cuatro cisternas que juntas suman un total de 600 m<sup>3</sup>,

#### Evaporadores

Existen tres líneas de producción con sus respectivos evaporadores sumergidos en los llamados tuneles que están ubicados en el centro y a lo largo del pozo, los que toman calor de la salmuera y la mantienen



a  $-10^{\circ}\text{C}$  para que ésta a su vez, a manera de segundo refrigerante, tome calor del agua en el interior de los moldes hasta su solidificación.

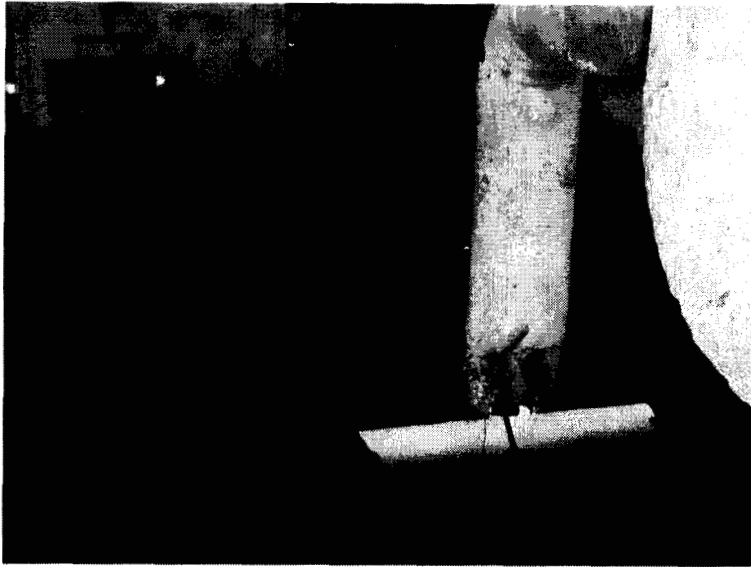


Figura 1.13 Vista del túnel de una de las líneas de producción

### **Compresores**

Los compresores son los encargados de mover el fluido, en éste caso de amoníaco a través del sistema, aspirando del evaporador y empujando hacia el condensador.

Todos poseen su propio tablero de control en los cuales se incluyen bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia y trabajan en paralelo desde los evaporadores hacia los condensadores, pudiendo seleccionar la carga a aplicarse según las exigencias requeridas por la producción debida a la demanda.

Además cuentan con sus respectivos manómetros, termómetros y presostatos para su correcto control y operación.

El parque de compresores es de 900 Hp, repartidos de la siguiente manera;

Tabla 1.2

<b>Modelo</b>	<b># Pistones</b>	<b>Pot. [HP]</b>	<b>Caract.</b>
Vilter <b>454</b>	<b>4</b>	<b>75</b>	Reciprocante
Vilter <b>454</b>	<b>4</b>	75	Reciprocante
Vilter <b>456</b>	<b>6</b>	100	Reciprocante
Vilter <b>456</b>	<b>6</b>	100	Reciprocante
Vilter <b>456</b>	<b>6</b>	100	Reciprocante
Vilter <b>456</b>	<b>6</b>	<b>100</b>	Reciprocante
Vilter <b>456</b>	<b>6</b>	100	Reciprocante
Vilter	0	125	Tornillo
Vilter	0	125	Tornillo

Tabla 1.2 Carga de compresores existentes

Los compresores de tornillo son **más** eficientes **pero** si trabajan con su capacidad al 100 % debido a que producen una compresión constante de flujo másico de refrigerante. Están gobernados por una

computadora que por medio de sensores regula automáticamente al compresor dentro de parámetros preestablecidos.

La figura 1.14 muestra la **sala** de máquinas, donde se encuentra el parque de compresores en su plenitud, los cuales pueden seleccionarse según su capacidad y requerimiento. En la figura 1.13 se aprecia el tablero de control de un compresor con su banco de capacitores.



Figura 1.14 Parque de compresores

En la figura 1.14 se puede apreciar la línea completa de compresores que se encuentran instalados en paralelo, lo que sirve para que se pueda de manera constante poner en funcionamiento la cantidad necesaria según la producción.

Tabla 1.3

<b>Modelo</b>	<b>Descarga 1/3 %</b>	<b>Descarga 2/3 %</b>	<b>Descarga 100,00 %</b>
<b>Vilter 454 Vilter 454</b>		50,00	100
<b>Vilter 454</b>		50,00	100
<b>Vilter 456</b>	33,33	66,66	100
<b>Vilter 456</b>	33,33	66,66	100
<b>Vilter 456</b>	33,33	66,66	100
<b>Vilter 456</b>	33,33	66,66	100
<b>Vilter 456</b>	33,33	66,66	100
<b>Vilter</b>			
<b>Vilter</b>	Variable manual y automático de 0 a 100 %		

Tabla 1.3 Capacidad de descarga

Cada cabezote de los compresores recíprocos es propietario de dos pistones, al encender un compresor se pone en funcionamiento un cabezote para luego de calentar el equipo y de que se establezcan sus controles en los valores correctos aumentar la capacidad con el siguiente cabezote, es decir el siguiente par de pistones hasta llegar al cien por ciento.

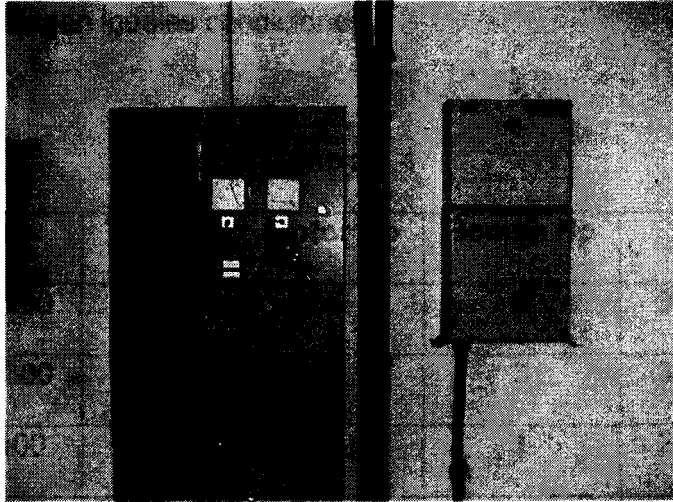


Figura 1.15 Tablero de control.

En la figura 1.15 se aprecia un tablero de control, el cual es propietario de uno de los compresores, tiene su propio banco de capacitores para garantizar la corrección del factor de potencia y evitar así multas emitidas por la empresa eléctrica.

### **Condensadores**

Los condensadores son en total 5. Los que juntos ofrecen una capacidad de transferencia de calor de 770 ton. ref., se encuentran conectados a una sola tubería que conduce todo el refrigerante de los compresores y reparte el flujo másico entre ellos, el amoníaco entra de

manera proporcionada siempre que se encuentren todos en operaci3n para que tengan iguales condiciones.

Tabla 1.4

<b>Modelo</b>	<b>Ton Ref</b>	<b>Motor Hp</b>	<b>Bomba Hp</b>	<b>Caract.</b>
Imeco 280	200	25	3	3 Turbinas
Imeco 300	210	25	3	3 Turbinas
Vilter 100	70	10	1	2 Turbinas
Vilter 150	110	15	1 ½	2 Turbinas
Vilter 260	180	2 x 10 = 20	2	2 + 2 Turbinas

Tabla 1.4 Capacidad de los condensadores.

La tarea del condensador es extraer el calor del refrigerante en forma de gas. Este calor, en principio, es la suma del calor absorbido por los evaporadores y el producido por el trabajo de compresi3n.

Todos los condensadores enumerados en la tabla 1.3 tienen adem3s, flujo de aire debido a turbinas que ayudan en la extracci3n de calor al refrigerante, lo que los enmarca dentro de los condensadores de tipo evaporativos.

Reciben el amoniaco de la tubería de alta presi3n que viene desde los compresores y condensan el refrigerante al cual lo almacenan en 3

tanques recibidores que están conectados entre si y que poseen el mismo nivel.

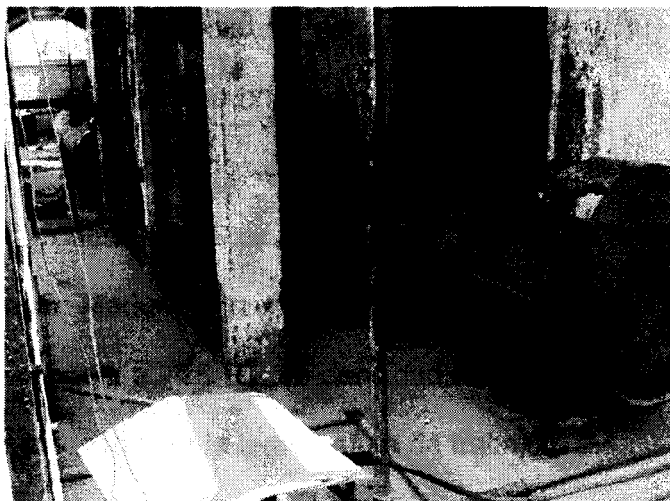


Figura 1.16 Recibidores

### **Almacenamiento de producto terminado**

El hielo se almacena en cuartos fríos a una temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$ , los que toman el nombre de cámaras de mantenimiento, éstas son tres de similares dimensiones  $12 \times 8 \times 3 \text{ [m}^3\text{]}$  en las cuales pueden ubicarse  $3 \times 800 = 2400$  marquetas y su apariencia y condiciones se mantienen por **más** de 24 horas, tiempo suficiente para la entrega al cliente.

### **Pozos de salmuera**

Los pozos de salmuera son formados por una pared de cemento, aislamiento de poliuretano de alta densidad, otra pared de cemento y un recubrimiento de plancha naval en el interior del pozo.

En el interior tienen una estructura de ángulos y platinas que forman las cavidades para que entre cada chasis de 8 moldes y éste obtenga una posición fija en el pozo. El pozo es llenado con agua y sal hasta obtener una salinidad que brinde una densidad de 20 ° Baumé con lo que se logra tener un fluido que a  $-10\text{ ° C}$  no se congele.

Esta solución tiene 20 % de peso de sal con respecto al peso de la mezcla, según Marks ( el manual del ingeniero mecánico en la página 1.34 ), se congela a  $-28\text{ ° C}$ , su densidad relativa es de  $1,16\text{ Kg/m}^3$  y es la recomendada para la temperatura de trabajo.

Esa salmuera tiene movimiento pues en el centro del pozo es donde se encuentra sumergido el tunel donde está ubicado el evaporador de la línea y en un extremo de él se coloca un agitador el cual induce a que la salmuera atraviese el tunel con lo que se logra una transferencia de calor entre la salmuera con el evaporador y posteriormente, a la salida del tunel con los moldes que contienen el agua que se convertirá en hielo.

Al salir del tunel la salmuera regresa por los lados hacia el agitador y se repite el ciclo constantemente.

En el camino, la salmuera va pasando por el exterior de los moldes que contienen el agua de proceso y se produce el intercambio de calor entre ellos logrando obtener hielo en 24 horas desde su inmersión al pozo.





Figura 1.17 Agitador

#### 1.4 Definición del Problema

Un excesivo consumo energético requiere la verificación del consumo térmico necesario. Se necesita calcular la cantidad de calor sensible del agua para llevarla al punto de congelación, la cantidad de calor latente para que se congele en su totalidad y la cantidad de calor sensible para llevarla al punto de operación. Además del calor producido por los agitadores y las pérdidas.

El calor para enfriar el agua  $Q_{\text{enfriamiento}}$

$$Q_{\text{enfriamiento}} = m C_p \Delta T$$

Donde;

$$m = 2.496 \text{ marquetas} \times 72 \text{ Kg.}$$

$$m = 179.712 \text{ Kg. de hielo al día}$$

$$C_p = 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

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

$$T_i = -25^\circ \text{C}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 0 - 25 = -25^\circ \text{C}$$

$$\text{Entonces; } m C_p \Delta T = 179.712 \times 1 \times (-25)$$

$$Q_{\text{enfriamiento}} = 4'492.800 \text{ Kcal}$$

$$4'492.800 \text{ Kcal} = 18'810.455 \text{ KJ}$$

**4'492.800 Kcal/día es necesario para que el agua llegue a 0 °C**

El calor para congelar el agua  $Q_{\text{congelamiento}}$

**Pero** el agua se empieza a convertir en hielo cuando se extrae su calor latente que a la temperatura de cero °C constante ocurre la transformación

$$Q_{\text{congelamiento}} = m q_f$$

Donde;

$$m = 2.496 \text{ marquetas} \times 72 \text{ Kg.}$$

$$m = 179.712 \text{ Kg. de hielo al día}$$

$$q_f = 80 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Entonces; } m q_f = 179.712 \times 80$$

$$Q_{\text{congelamiento}} = 14376.960 \text{ Kcal}$$

$$14376.960 \text{ Kcal} = 60'193.456 \text{ KJ}$$

**14'376.960 Kcal/día para que el agua se solidifique a cero °C**

El calor para subenfriar el agua  $Q_{\text{subenfriamiento}}$

Una vez que se tiene hielo se lo debe mantener por lo tanto este calor de subenfriamiento es:

$$Q_{\text{subenfriamiento}} = m C_p \Delta T$$

Donde;

$$m = 2.496 \text{ marquetas} \times 72 \text{ Kg.}$$

$$m = 179.712 \text{ Kg. de hielo al día}$$

$$C_p = 0.80 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_f = -10^\circ \text{ C}$$

$$T_i = -0^\circ \text{ C}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = -10 - 0 = -10^\circ \text{ C}$$

$$\text{Entonces; } mC_p\Delta T = 179.712 \times 0.80 \times (-10)$$

$$Q_{\text{subenfriamiento}} = 1'437.696 \text{ Kcal}$$

$$1'437.696 \text{ Kcal} = 6'019.345 \text{ KJ}$$

**1'437.696 Kcal/día es necesario para que el hielo se mantenga.**

El calor que se debe retirar a los moldes  $Q_{\text{moldes}}$

Los moldes requieren de un calor de mantenimiento que se debe retirar constantemente

$$Q_{\text{moldes}} = m C_p \Delta T$$

Donde;

$$m = m_{\text{moldes}} + m_{\text{chasis}}$$

$$m_{\text{moldes}} = 2.496 \text{ moldes} \times 18 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{moldes}} = 44.928 \text{ Kg}$$

**Pero** existe un chasis que **está sometido al cambio de temperatura**, y sus medidas son  $1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{8}$

$$\text{Altura} = 0,03175 \text{ m}$$

$$\text{Espesor} = 0,003175 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 2 \times 2 + 2 \times 0,5 = 5 \text{ m}$$

$$\text{Si la densidad es} = 7.978 \text{ Kg / m}^3$$

$$m_{\text{chasis}} = (0,03175 \times 0,003175 \times 5) \times 7.978$$

$$m_{\text{chasis}} = 4,02 \text{ Kg en cada chasis}$$

Si se la multiplica por los 104 que existen en cada pozo y además por las 3 líneas de producción

$$m_{\text{chasis}} = 4,02 \times 104 \times 3 = 1.254,60 \text{ Kg}$$

Entonces la masa total de hierro en los pozos de salmuera es:

$$m = 44.928 + 1254,6$$

$$m = 46.182,6 \text{ Kg}$$

$$C_p = 480 \text{ J/Kg}^\circ\text{K} = 0,11465 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_F = -10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_i = -25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = -10 - 25 = -35 \text{ } ^\circ\text{C} = -35 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Entonces;

$$mC_p\Delta T = 46.182,6 \times 0,11465 \times 35$$

$$Q_{\text{moldes}} = 185.319 \text{ Kcal}$$

$$185.319 \text{ Kcal} = 775.894 \text{ KJ}$$

**185.319 Kcal/día es necesario para que el molde se mantenga.**

El calor de los agitadores  $Q_{\text{agitadores}}$

Los agitadores producen un calor al ejercer movimiento en el agua y debido a la energía emitida por el motor eléctrico que los mueve.

Son 3 agitadores cada uno de 5 ½ Hp

$$\text{En total } 3 \times 5,5 = 16,5 \text{ HP} = 2938,77 \text{ cal/seg}$$

$$16,5 \text{ HP} = 253.910 \text{ Kcal/día}$$

$$Q_{\text{agitadores}} = 253.910 \text{ Kcal/día}$$

$$253.910 \text{ Kcal/día} = 1'063.069,7369 \text{ KJ}$$

**253.910 Kcal/día es producido por los agitadores.**

La carga que se requiere extraer  $Q_{\text{total}} = N_f$

La potencia frigorífica  $N_f$  que se presenta necesaria en el sistema se puede obtener sumando los calores obtenidos, es decir, el calor total que requiere el agua, mas el calor de los moldes y mas el producido por los agitadores da:

§

Calor del agua = 4'492.800 + 14'376.960 + 1'437.696

Calor del agua = 20'307.456 Kcal/Día

Calor de los moldes = 185.319Kcal/Día

Calor de los agitadores = 253.910 Kcal/Día

El calor total resulta = 20746.685 Kcal/Día

**Pero existen pérdidas** de calor debido a la transferencia a través de las paredes, al calor emitido por el operador, a la apertura de las tapas, a la iluminación, entre otras, por lo que para cubrir ese requerimiento de calor se **asume** un 15 % de la carga ya estimada. Un 10 % de pérdidas por las paredes y un 5 % de pérdidas incalculables

$20746.685 \times 1.15 = 23858.688 \text{ Kcal/Día}$

$Q_{\text{total}} = 23'858.688 \text{ Kcal/Día} = 99'891.554 \text{ J/Día}$

Si se divide el valor para las 24 hora que tiene el día se obtiene la potencia frigorífica.

Es decir,  $N_f = 994.112 \text{ Kcal / hora}$

Se procede con la elaboración de un diagrama del ciclo del sistema y se toman las lecturas de las presiones y temperaturas de alta y baja.

La presión de succión es 25 psi = 1,72 Kg/cm<sup>2</sup>

La presión de descarga es 190 psi = 13,10 Kg/cm<sup>2</sup>

La presión del receptor es 190 psi = 13,10 Kg/cm<sup>2</sup>

La temperatura en **los** recipientes es  $35^{\circ}\text{C}$

La temperatura en la tubería de descarga es  $124^{\circ}\text{C}$

La temperatura en la tubería de succión es  $-22^{\circ}\text{C}$

Las entalpías al final (punto 1) y al inicio (punto 4) del evaporador son:

$$h_1 = 395 \text{ Kcal / Kg}$$

$$h_4 = 139 \text{ Kcal / Kg}$$

$$\Delta h = 395 - 139$$

$$\mathbf{q_e = 256 \text{ Kcal / Kg}}$$

Este es el calor que retira el evaporador del pozo de salmuera.



Las entalpías al final (punto 2) y al inicio (punto 1) del compresor son:

$$h_2 = 471 \text{ Kcal / Kg}$$

$$h_1 = 395 \text{ Kcal / Kg}$$

$$\Delta h = 471 - 395$$

$$\mathbf{q_w = 76 \text{ Kcal / Kg}}$$

Este es el calor que requiere el compresor para elevar la presión del  $\text{NH}_3$ .

El caudal másico se obtiene al dividir la potencia frigorífica  $N_f$  por la cantidad de calor que extrae el evaporador  $q$

$$m = N_f / q_e$$

994.112 / 256

$$m = 3.883 \text{ Kg / hora}$$

La potencia requerida por el parque de motores para la compresión se la obtiene al multiplicar el flujo másico de refrigerante por la cantidad de calor que requiere el compresor para levantar la presión.

$$P_c = m \times q_c$$

$$P_c = 3.883 \times 76$$

$$P_c = 295.100 \text{ Kcal/hora}$$

$$P_c = 7'082.592 \text{ Kcal/Día} = 81.974 \text{ cal/seg}$$

$$P_c = 436 \text{ Hp}$$

Los compresores de la planta suman 900 Hp de los cuales se utilizan un promedio de 700, pero al existir un pico elevado de la demanda se requiere poner en funcionamiento la total capacidad instalada para satisfacer la carga frigorífica ya establecida, lo irracional es que el hielo no se forma en 24 horas y que el requerimiento teórico es una cifra que ronda el 50 % de la capacidad instalada, con lo que se demuestra el consumo energético exagerado del circuito de refrigeración.

La potencia frigorífica que brinda el condensador se la obtiene al multiplicar el flujo másico de refrigerante por la cantidad de calor que



se debe extraer del amoniaco para que realice su cambio de estado de vapor a liquido.

$$Q_c = m ( h_2 - h_3 )$$

Las entalpias al final (punto 3) y al inicio (punto 2) de la línea de alta presión son:

$$h_2 = 471 \text{ Kcal / Kg}$$

$$h_3 = 139 \text{ Kcal / Kg}$$

$$\Delta h = ( h_2 - h_3 )$$

$$\Delta h = 471 - 139$$

$$\Delta h = 332 \text{ Kcal / Kg}$$

$$Q_c = 3.883 \times 332$$

$$Q_c = 1'289.156 \text{ Kcal/hora}$$

$$Q_c = 30'939.744 \text{ Kcal/Día} = 358.099 \text{ cal/seg}$$

$$Q_c = 426 \text{ Ton. Ref.}$$

Los condensadores de la planta son 5 y juntos brindan una capacidad de 770 Ton. Ref. de las cuales se utilizan un promedio de 700, pero si se presenta un requerimiento de producción, con toda la capacidad instalada en funcionamiento, se observa un incremento en la presión de descarga y se aprecia que el centro de la marqueta es de color blanco cuando se requiere prender todos los condensadores y se levanta la presión.

Tabla 1.5

<b>Tipo de calor</b>	<b>Kcal/Día</b>
Calor de enfriamiento	4'492.800
Calor de Congelacibn	14'376.960
Calor de subenfriamiento	1'437.696
<b>Calor total del agua</b>	<b>20'307.456</b>
Calor del molde	185.319
Calor de agitadores	253.910
Calor de paredes	2'074.669
<b>Calores incalculables</b>	<b>1'037.334</b>
<b>Pot. Frig. Necesaria</b>	<b>23'858.688</b>

Tabla 1.5 Desglose de la cantidad de calor que representa la potencia frigorífica necesaria del sistema de refrigeración.

Al confirmar el exceso de consumo energético su buscó el origen del problema;

Los bancos de capacitores en cada tablero de control eliminan el problema del factor de correccidn por la potencia reactiva que es multada por la empresa eléctrica.

El reciente mantenimiento a los compresores reciprocantes con su respectivo cambio de válvulas y comprobación de funcionamiento de los presostatos de alta y baja.

Un nivel muy bajo de amoniaco en el recibidor supone que se requiere introducir en el sistema más refrigerante, si embargo, se tenía poco tiempo de haber realizado esa tarea y no evidenció mejoras.

Se observó el estado externo de los condensadores evaporativos con muy mal aspecto, se comparó la presión de descarga y succión con las sugeridas por el fabricante y se observó en la de descarga un valor elevado, entonces se procede a destapar uno y se encontró una fuerte incrustación en los bancos de tubos.

En conocimiento de lo anterior se detecta que el agua de enfriamiento de los cabezotes a la entrada y salida de los mismos tiene un gradiente de temperatura insignificante con lo que se descubre una falta de enfriamiento de éstos debida a la incrustación en la tubería de agua.

Existe una regla práctica que dice que el 20 % de los problemas son los que ocasionan el 80 % restante.

El problema principal de la planta productora de hielo se ha detectado en el tratamiento del agua, solucionando esto, se impediría que existan nuevas incrustaciones, pero el daño está presente con las ya existentes por lo que se debe actuar al respecto; cambiando la tubería

de agua de enfriamiento de los cabezotes para mejorar su operaci3n y reparar cada uno de los condensadores evaporativos.

Si la carga calorifica que se necesita solo requiere de cinco compresores de 100 Hp para su normal funcionamiento y en la prdctica se utilizan por lo menos 7, se concluye que los compresores se encuentran solo bombeando refrigerante, es decir, no trabajan al mximo de su capacidad sino al 66 %.

El amoniaco no es aprovechado en su potencial y esto obliga a un flujo volum3trico mayor del refrigerante.

Se realiza un ensayo en el que se determina que los 7 compresores en operaci3n con la totalidad de condensadores provocaban el normal proceso de producci3n con los pardmetros de operaci3n dentro de los settings de Vilter pero, a un costo demasiado alto por la ineficiencia del sistema.

En el ensayo se nota el receptor con un nivel que demuestra que el refrigerante no alcanza a condensarse y se encuentra un 25 % antes de llegar a su condici3n de lquido saturado.

Esto se determina al dibujar en un diagrama  $P$  vs  $h$  el ciclo ideal y determinar la ubicaci3n del punto 4 ( al inicio del evaporador ) que justifique los requerimientos de compresi3n y condensaci3n de la realidad.

Tabla 1.6

Capacidad	2496 marq/día
Refrigerante primario	NH <sub>3</sub>
Refrigerante secundario	Cl Na
Capacidad instalada en compresión	900 Hp
Capacidad instalada en condensación	770 Ton. Ref.
# de líneas de producción ( tanques de salmuera )	3
# de hileras ( filas )	4
# de chasis por hilera	26
# de chasis en cada tanque de salmuera	104
# de moldes por chasis	8
Cantidad aproximada de agua-hielo por molde	72 Kg

Tabla 1.6 Características generales de la planta

Las principales características de la planta productora de hielo se resumen en la tabla 1.6.

Las medidas de la distribución física de los pozos de salmuera están detalladas a continuación en la tabla 1.6, se puede determinar distancias, áreas y volúmenes para los cálculos realizados en la determinación de la carga frigorífica.

Tabla 1.7

Ancho de cada compartimiento	2.000 mm
Ancho del corredor ( túnel )	<b>1200 mm</b>
Ancho total del tanque	9.200 mm
Espacio por compartimiento	500 mm
Separación de cada pared	200 mm
Largo total del tanque	13.400 mm
Altura de pared del tanque	1.500 mm
Altura de la salmuera	<b>1200 mm</b>
Seccion libre superior	300 mm
Seccion libre inferior	120 mm
Ancho de cada molde	400 mm
Largo de cada molde	195 mm
Altura del molde	1.180 mm
Altura sumergida del molde	1.080 mm
Volumen total de cada tanque de salmuera	147,94 m <sup>3</sup>
Volumen ocupado por moldes en cada tanque	70,09 m <sup>3</sup>
Volumen ocupado por salmuera en cada tanque	77,85 m <sup>3</sup>
Peso de salmuera en cada tanque	90,3 Kg <sub>r</sub> =885 N

Tabla 1.7 Dimensiones del tanque de salmuera

Tabla 1.8

Cp del agua antes de la solidificación	1,00 Kcal/Kg°C
Cp del agua después de la solidificación	0,80 Kcal/Kg°C
Calor latente del agua	80,00 Kcal/Kg°C
Peso específico de la salmuera a 15 °C	1,16 Ton/m <sup>3</sup>
Peso de sal en peso de solución	22,42 %
Cp del acero	0,12 Kcal/Kg°C
Peso específico de la salmuera a 15 °C	7.978 Kg/m <sup>3</sup>
Peso de cada molde	18 Kg <sub>r</sub> = 176,5 N
Masa de cada chasis	4,02 Kg

Tabla 1.8 Propiedades y características de los elementos

Las propiedades físicas del agua, del acero y de la salmuera están listados en la tabla 1.8, ninguno de éstos datos sufren alteración a lo largo del desarrollo de la tesis así que se pueden considerar como constantes para el caso en estudio.

De los cálculos realizados, se obtiene que el flujo másico de refrigerante debe ser de 3.880 Kg/h, pero es de 5.260 Kg/h; que la potencia requerida para la compresión del amoníaco debe ser de 436 y no 700 Hp como se utiliza; y la potencia de los condensadores debería ser de 426 y no de 700 ton. Ref.

# CAPITULO 2

## 2. MEJORAR EFICIENCIA A CONDENSADORES

El problema se suscita en el tratamiento del agua, pues no se han tomado las medidas de control respectivas. La calidad del agua se mide en términos de sólidos, que estén disueltos en el agua. Los sólidos se pueden expresar en partes por millón o en granos por galón. En el sistema métrico  $1\text{ppm} = 1\text{g}/\text{m}^3$ .

El servicio de salud pública de los Estados Unidos ha establecido las normas para el agua potable. El límite recomendado es de 500 ppm de sólidos disueltos totales.

La dureza del agua se refiere al contenido de sales de calcio y magnesio, generando el conocido término de agua dura, la que forma depósitos o incrustaciones cuando se calienta y evapora el agua. Se considera agua muy blanda, si tiene menos de 15 ppm; agua blanda, si tiene de 15 a 50 ppm; agua ligeramente dura, de 50 a 100 ppm;



agua dura, entre 100 y 200 ppm; agua muy dura, con **más** de 200 ppm.

Para detener el problema se dispuso de un monitoreo constante de la calidad del agua que sale de los ablandadores, controlando que su cantidad total de **sólidos** disueltos no exceda de 15 ppm. **Pero** con esto no se soluciona el problema, pues los condensadores evaporativos no extraen el calor eficientemente porque su banco de tubos se encuentra aislado debido a las incrustaciones.

Se puso en marcha dos técnicas de análisis de aguas industriales recomendadas por un laboratorio químico dedicado a comercializar aditivos y sustancias químicas para la industria y el hogar;

Dureza total:

1. Tomar 10ml de muestra de agua.
2. Agregar de 3 a 5 gotas del reactivo alcalinizante.
3. Agregar un palillo del reactivo negro de eriocromo en polvo.

Si la coloración da azul, la dureza es cero.

Si la coloración da rosado, hay dureza y se procede a determinarla.

4. Valorar o titular gota a gota con el reactivo de solución EDTA.

Una gota = 5 p.p.m.

1 ml = 100 p.p.m.

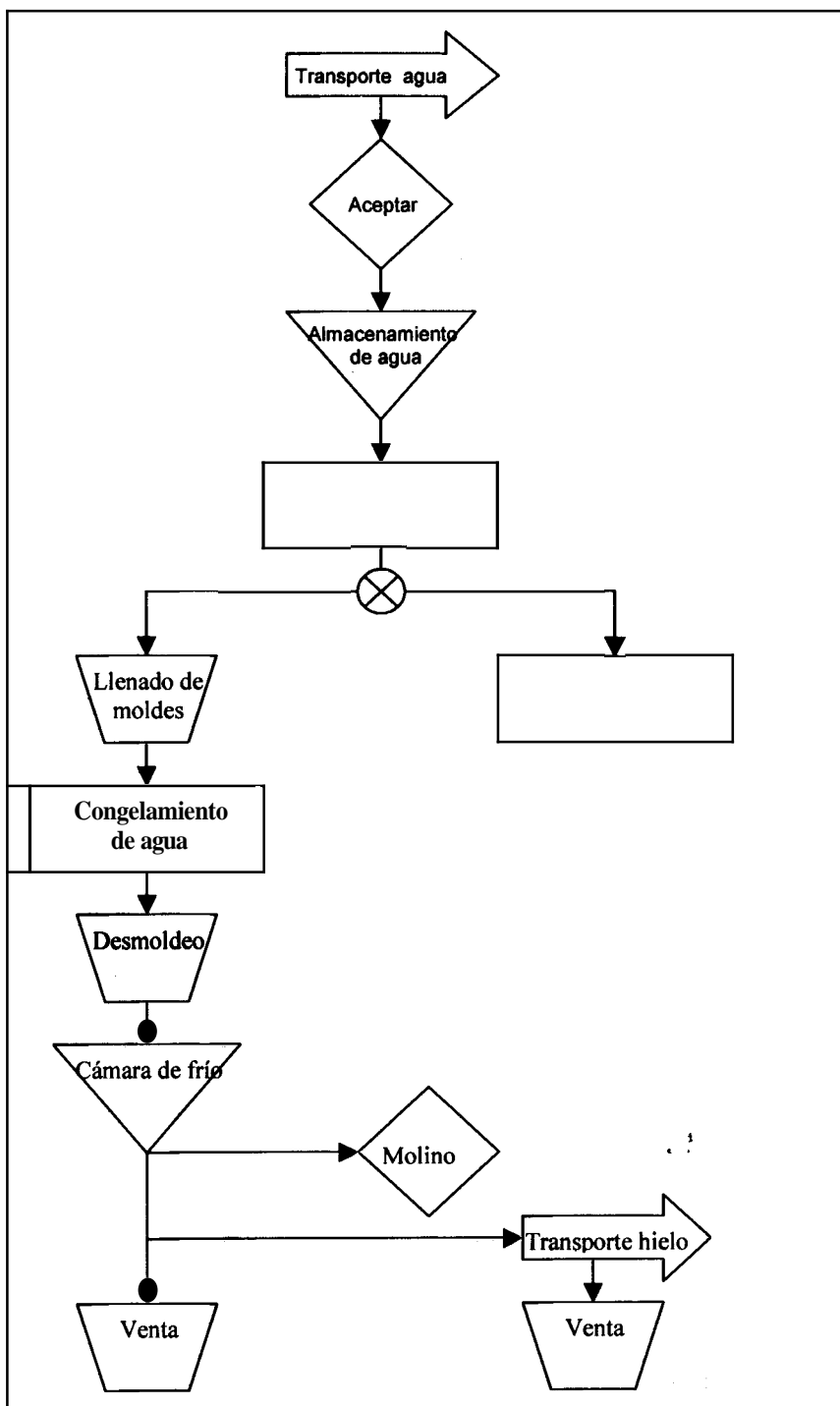


Figura 2.1 Se muestra el diagrama de flujo del agua

Posiblemente uno de los análisis **más** importantes que debe hacerse en las industrias de manera periódica para evitar problemas con incrustaciones que se puedan originar.

### **Sólidos totales disueltos:**

Este análisis se lo hace con un equipo de medición llamado conducímetro, cuya escala es de 0 a 5 y trae tres rangos de medición.

Rango 10, para medir aguas hasta 50 p.p.m.

Rango 100, para medir aguas hasta 500 p.p.m.

Rango 1000, para medir aguas hasta 5.000 p.p.m.

Si el rango sale de 5.000 p.p.m., es necesario diluir la mezcla con agua destilada.

Reducir la cantidad de sólidos disueltos en el agua tiene la importancia de facilitar el congelamiento del agua pues esta adquiere resistencia al tener otros elementos a los que se le debe extraer calor para obtener su congelamiento.

3  
2

## **2.1 Compra de Condensador Evaporativo**

Una alternativa que se analiza para la solución del problema es la compra de un condensador evaporativo nuevo que brinde un 30 % ( 220 Ton. Ref: ) de la capacidad instalada para poder

operar de manera más eficiente y lograr detener la utilización de un condensador por otro como el Vilter 260 y con esto poder tener tiempo de repararlo para luego seguir con los siguientes.

<b>Trimestre</b>	<b>Prod.%</b>	<b>Ton.Hielo</b>	<b>Ton.Ref.</b>
<b>I</b>	<b>83.33</b>	<b>150</b>	<b>348</b>
<b>II</b>	<b>58.33</b>	105	251
<b>III</b>	<b>41.66</b>	75	186
<b>IV</b>	<b>58.33</b>	105	251

Tabla 2.1 Utilización real de la capacidad de condensación instalada en el año.

Si se compara con la tabla # 1.3 se puede confirmar el exceso de capacidad instalada y con la compra de un condensador evaporativo nuevo que brinde 200 toneladas de refrigeración, se cubre una parte muy representativa del requerimiento real, es decir, el 40 %.

Se hace contacto telefónico con la compañía ORLY en Miami, Florida para que sugiera un condensador evaporativo que cumpla el requerimiento. ORLY recomienda uno de marca

EVAPCO con tres ventiladores en dos servicios; un motor eléctrico de 10 Hp que moviliza a dos de ellos y un motor eléctrico de 5 Hp que moviliza al tercero y con una bomba axial de 2 ½ Hp.

El tiempo de entrega es de un mes.

La ventaja más importante de la compra del condensador seleccionado es el hecho de reducir al mínimo el tiempo muerto pues sólo se dejaría de producir el día de la instalación, esto es fácil de programar pues se puede llenar la cámara de almacenamiento y si se coordina para realizar el trabajo un día de baja demanda, entonces la posibilidad de que surja un percance es mínima.

La desventaja es el costo de éste y el hecho de que ya la capacidad instalada está muy por encima de lo requerido.

## **2.2 Reparar cada uno de los Condensadores en forma secuencial**

Otra de las alternativas es reparar cada uno de los condensadores de manera secuencial, empezando por el más pequeño y en el período de baja demanda debido a que siendo su eficiencia baja, su aporte es bajo.

El oficio de la pesca tiene un período en el mes en que alcanza su mejor cosecha, bste suceso se produce en su cota maxima, en la fecha del mes en que coinciden el aguaje (nombre con el que se conoce a la subida del nivel del mar) y la oscura (nombre con el que se conoce a la noche en la que no se siente la presencia de la luna), normalmente se ve un incremento en la demanda durante una semana (la de oscura), y la siguiente es poca la producción necesaria, esto se repite y es el factor determinante en seleccionar la fecha de trabajo.

Se puede citar dos alternativas de reparacido de los condensadores evaporativos; la limpieza mecánica y la limpieza química.

### **Limpieza química de incrustaciones en condensadores evaporativos.**

Es un proceso en el cual se utiliza un químico que disuelto en el agua de enfriamiento de los condensadores va retirando las incrustaciones. Este proceso es sencillo, rápido, sin contratiempos, más económico, no se requiere detener el funcionamiento del condensador pero es peligroso.

Un problema que se puede presentar es que las incrustaciones están bien adheridas al banco de tubos, lo que representa una

fuerte dosis de químicos y por un tiempo prolongado, aumentando así el riesgo de contacto con éstos, produciendo que si existe una disminución de las paredes de los tubos puedan picarse produciendo pérdida de amoníaco al mismo tiempo, que dependiendo del lugar en el que ocurra se tardará en repararlo.

### **Limpieza mecánica de incrustaciones en condensadores evaporativos.**

Esta alternativa es la de mayor trabajo pues hay que desarmar y armar cada uno de los condensadores y este proceso implica tiempo, esfuerzo y dinero.

Sin embargo se haría uso de la capacidad ya existente pero mejorándola para su correcta utilización, y así, recuperar eficiencia en el circuito de refrigeración.

En la época de clara el Condensador Vilter 100 no se prende.

Esto significa que se puede programar la reparación en esos días, se debe esperar al final de la oscura en curso y tener listo el material a utilizar.

Se estima que el desarme de un condensador sea en 3 días, la limpieza mecánica se puede efectuar aplicando el proceso de arenado (sand-blasting) o con amoladoras que utilicen gratas y

se estima en 5 días, la armada del condensador en 6 días interrumpidos por pruebas de posibles fugas de amoníaco que suponen 2 días de espera.

En resumen se puede decir que la reparación de cada condensador hasta su puesta en marcha debe durar 16 días.

Para el inicio del trabajo debe estar comprado el material necesario para el rearme, es decir, los nuevos pernos, las bandas nuevas, el sellador de las juntas, la pintura y las nuevas llaves de compuerta.

Tabla 2.2

<b>Opción</b>	<b>Compra</b>	<b>Rep. Química</b>	<b>Rep. Mecánica</b>
<b>Costo</b>	<b>\$ 35.000</b>	<b>\$ 2.000</b>	<b>\$ 4.000</b>
<b>Tiempo muerto</b>	1 Día	0 Días	16 Días
<b>Fecha final</b>	35 Días	30 Días	150 Días
<b>Ventaja</b>	Corto plazo	No tiempo muerto	Equipo ya existe
<b>Desventaja</b>	Sobredimensión	Peligroso	Largo plazo

Tabla 2.2 Características de alternativas de solución



# CAPITULO 3

## 3. REPARACION TOTAL DE CONDENSADORES

De acuerdo a la valoración de las diferentes opciones se decide por la reparación mecánica de los condensadores evaporativos.

### 3.1 Calor Disipado por Condensadores y Participación de cada uno de ellos

La condensación es el paso de estado de vapor a estado líquido, es lo contrario de la vaporización. Por ello, es válido todo lo dicho sobre ella pero en sentido inverso, es decir, extraer calor de un cuerpo en vez de aportarlo.

La presión determina la temperatura a la cual se verifica la condensación.

La presión que se genera a la salida del compresor (punto 2), se mantiene a lo largo del proceso de condensación y es:

$$P_2 = P_3 = 190 \text{ psi} \approx 13.1 \text{ Kg/cm}^2$$

La temperatura varía desde la salida del compresor durante su paso por el condensador.

El condensador funciona al principio como enfriador y luego se estabiliza la temperatura al llegar al punto 2' y realiza su verdadero objetivo que es el de condensar.

A la salida del compresor ( punto 2 ), se inicia el recorrido a presión constante hasta el recibidor (punto 3), donde;

$$T_2 = 124 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$T_{2'} = T_3 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

1 Ton. Ref. = 3.024 Kcal / hora

Si la carga frigorífica  $N_f = 994.112 \text{ Kcal/hora}$

En Ton. Ref. es:

$N_f = 328,7 \text{ Ton. Ref.}$  en el evaporador

Punto	P (Bar)	T ( $^\circ\text{C}$ )	h (Kcal/h)
1	1,72	-22	395
2	13,10	124	471
2'	13,10	35	408
3'	13,10	35	206
4'	1,72	-22	206

Tabla 3.1 Propiedades del amoniaco en el sistema

El evaporador trabaja solo de 4 a 1; es decir;

$$\Delta h = h_1 - h_4$$

$$q_e = 395 - 206 = 189 \text{ Kcal/Kg}$$

La condensación no alcanza a realizarse de manera completa y se obtiene un desplazamiento de los puntos 3 y 4 a la nueva ubicación en los puntos 3' y 4' respectivamente con un 25 % de mezcla en el interior de la campana. Esto provoca que el evaporador y el condensador no den su máximo intercambio de calor y requieran de un mayor flujo de refrigerante para compensar su ineficiencia.

La condensación se realiza entre los puntos 2 y 3', es decir;

$$\Delta h = h_2 - h_3'$$

$$q_c = 471 - 206 = 265 \text{ Kcal/Kg}$$

El flujo másico se ha visto incrementado debido a que trata de cubrir la misma carga frigorífica con un menor rendimiento del evaporador, es decir;

$$m = N_f / q_e$$

$$m = 994.112 / 189 = 5.259,85 \text{ Kglhora}$$

El incremento de flujo másico en el sistema, hace necesario poner en funcionamiento una mayor cantidad de equipos para retirar el calor al NH<sub>3</sub> además del mal funcionamiento de éstos, debido a la característica de los compresores de poseer descargadores, no se produce el aumento de presión sino más bien actúan como bombas.

La potencia frigorífica del condensador está dada por:

$$Q_c = m \times q,$$

$$5.259,85 \times 265 = 1'393.860 \text{ Kcal / hora}$$

$$Q_c = 460,93 \text{ Ton. Ref.}$$

Esto es lo que se requiere en los condensadores.

Si los cinco condensadores juntos ofrecen una potencia de setecientos setenta Ton. Ref. se muestra el sobredimensionamiento.

Modelo	Ton Ref Fábrica	% Reflejado en instalación	Ton. Ref. Cap. anterior
Vilter 100	70	9,09 %	41,90
Vilter 150	110	14,29 %	65,87
Vilter 260	180	23,38 %	107,76
Imeco 280	200	25,97 %	119,71
Imeco 300	210	27,27 %	125,69
<b>Totales</b>	<b>770</b>	<b>100,00 %</b>	<b>460.93</b>

Tabla 3.2 Aporte porcentual de cada uno de los condensadores

La tabla # 3.2 muestra que existe un proceso ineficiente de un **86,44** % en la condensación, esto se debe al aislamiento que se produce debido a las incrustaciones existentes en los tubos de todos los condensadores por lo que la eficiencia de cada uno es 53 %.

El flujo másico de refrigerante  $\text{NH}_3$  es  $m = 5.259,85 \text{ Kg / hora}$ , este se reparte proporcionalmente entre los condensadores en operación, si al momento de requerir el total de la producción, se encienden todos los equipos, implica que los cinco condensadores son necesarios en funcionamiento, para éste caso, que es el punto crítico de operación, el caudal de refrigerante se reparte en igual porcentaje que el de la capacidad instalada.

Independientemente de cual sea el condensador a tratar, su labor la realiza entre los puntos 2 y 3', a lo largo de la línea de alta presión, las entalpías son;

$$h_2 = 471 \text{ Kcal/Kg al inicio, y}$$

$$h_{3'} = 206 \text{ Kcal/Kg al final.}$$

$$\Delta h = h_2 - h_{3'} = 265 \text{ Kcal/Kg}$$

$$q_c = 265 \text{ Kcal/Kg}$$

El calor que debe retirar cada condensador del amoníaco está dado por  $Q_c = m \times q_c = m \times ( 265 \text{ Kcal/Kg} )$  variará según el caudal que ingrese en cada uno

Tabla 3.3

<b>Modelo</b>	<b>% Instalación</b>	<b>m [Kg/h]</b>	<b>Q<sub>c</sub> Ton.Ref.</b>
Vilter 100	9,09 %	478,13	41,90
Vilter 150	14,29 %	751,63	65,87
Vilter 260	23,38 %	1.229,75	107,76
Imeco 280	25,97 %	1.365,98	119,71
Imeco 300	27,27 %	1.434,36	125,69
<b>Totales</b>	<b>100,00 %</b>	<b>5.259,85</b>	<b>468.93</b>

Tabla 3.3 Eficiencia de cada uno de los condensadores

Como se puede apreciar, la capacidad de condensar está muy por debajo de la sugerida por el fabricante. Por ejemplo; el condensador Vilter 260, es de una capacidad de 180 toneladas de refrigeración, pero **solo** puede brindar 107,76 toneladas de refrigeración.

### 3.2 Definir secuencia de reparación

El hecho de reparar un condensador evaporativo, implica que se detenga su funcionamiento.

De la tabla # 2.2 se puede determinar que éste tendrá una para de 16 días.

Sin embargo la variación de la demanda oscila de una semana a otra, entre las que hay una diferencia notable en cuanto a producción se refiere y por lo tanto a requerimiento de equipos.

Lo que quiere decir es, que durante una de las dos semanas de reparación no se sentirá la falta de ese condensador y durante la otra se puede tomar precauciones como el almacenamiento de hielo en las cámaras de mantenimiento, la compra de marquetas de hielo a la competencia para cumplir con los pedidos o en el último de los casos sacrificar algún excedente que se pudiera presentar.

Como es lógico suponer el orden de reparación es de menor a mayor capacidad debido a que la falta de operación del más chico de los condensadores se sentirá menos en la producción.

Una vez pasado el período de los 16 días en que se pone en marcha el condensador se obtiene inmediatamente una mejora en los parámetros de operación, es decir, las presiones de trabajo y sus respectivas temperaturas se vuelven estables con menos equipos prendidos para obtener dichos parámetros.

Esto se debe a que se recupera la capacidad de condensar del equipo, es decir, se obtienen las 70 toneladas de refrigeración que puede brindar el Vilter 100 en lugar de las 42 toneladas de refrigeración con que estaba trabajando.

De inmediato se ejecuta la reparacibn del segundo condensador evaporativo en el orden ascendente de capacidad, éste es el Vilter 150 con la capacidad de poder extraer del amoniaco 110 toneladas de refrigeracibn, **pero** que se encuentra trabajando por 66 toneladas de refrigeracibn.

El orden se mantiene de igual manera, tomando como factor determinante en la seleccibn del siguiente que la capacidad frigorifica sea la menor de los que restan por reparar, así la falta que se siente en el proceso de condensación durante el trabajo de reparacibn es lo menor posible.

Tabla 3.4

<b>Orden a Reparar</b>	<b>Q<sub>c</sub> Capacidad</b>	<b>Q<sub>c</sub> Real Ton Ref</b>	<b>Q<sub>c</sub> Recup Ton Ref</b>	<b>Q<sub>c</sub> Acum TonRef</b>
Vilter 100	70 Ton.Ref.	41,9	28,10	28,10
Vilter 150	110 Ton.Ref.	65,87	44,13	72,23
Vilter 260	180 Ton.Ref.	107,76	72,24	144,47
Imeco 280	200 Ton.Ref.	119,71	80,29	224,76
Imeco 300	210 Ton.Ref.	125,69	84,31	309,07

Tabla 3.4 Comportamiento de la capacidad de condensación durante la reparacibn de cada uno de los equipos





### 3.3 Planificar reparación

Para una industria, el hecho de ocasionar un alto a la producción es un problema muy grave y hay que tomar decisiones por lo que la coordinación de los trabajos debe ser bien realizada.

Se aprovechó la existencia de un condensador de sólo 70 toneladas de refrigeración para que sea el primero en detener su labor y afectar de la menor manera posible a la producción global.

El mantenimiento a realizar es de **tipo correctivo**, un overhaul completo.

Para desarrollar la reparación es necesario crear un plan de trabajo para evitar en lo posible y organizadamente demoras innecesarias o detener la reparación por falta de algún elemento vital en el siguiente paso del plan de mantenimiento.

Este planeamiento tiene éxito por la ejecución de tareas concatenadas que conducen a la situación final, aprovechando el tiempo en realizar trabajos paralelos y con la debida sincronización en todas las áreas.

Para la planificación, se debe listar y enumerar las tareas a realizar tomando en cuenta los preparativos preliminares, éstos deben realizarse antes de la fecha de inicio de la reparación porque se necesita reducir cualquier tiempo muerto innecesario, ya sea por negligencia o circunstancias ajenas.

**Comprar los materiales necesarios.**

Se debe listar y seleccionar;

el tipo de chumaceras,

bandas,

pernos,

pinturas,

sellador para la unión de las piezas que contienen el agua y

la cantidad de amoniaco para reponer el que se va a perder al proceder con el desarme.

Para tener la seguridad de dependencia propia y prevenir algún faltante de un producto en el mercado lo que demorarla el proceso de reparacido, entre la búsqueda de los elementos y su respectiva compra se estima una demora de una semana

**Coordinar con una tabla de mareas la fecha de baja demanda**

Se debe verificar con un calendario de aguajes la fecha propicia para el inicio de la reparacido, es decir, en el final de un período de aguaje y con luna llena debido a que es el momento en el que baja de manera considerable la demanda por el hielo, esta decisión no toma más de una hora.

### **Llenar la capacidad de almacenamiento**

En pleno conocimiento de la fecha de inicio y con los materiales en mano, se debe producir a plena carga para conseguir llenar la capacidad de almacenamiento de las cdmars de mantenimiento y así evitar cualquier pérdida económica por la falta de venta de algún pedido que se suscite, este proceso toma menos de dos días, los inmediatos anteriores de la fecha de inicio.

### **Tareas de reparación**

Llegada la fecha de inicio de la reparación, hay que analizar cada una de las tareas a emprender pues son las que se deben realizar al detener el funcionamiento del condensador y es donde se debe optimizar el tiempo de trabajo en cada una.

#### **1. Desarmar el condensador**

Al desarmar el condensador, se separan todas las piezas que están unidas mecánicamente entre ellas, se necesita de un día y la mano de obra de tres empleados.

#### **2. Mantenimiento de motores eléctricos**

Los motores eléctricos de las turbinas y la bomba centrífuga se deben llevar a un taller eléctrico para su mantenimiento que consiste

en la limpieza del mismo, la aplicación de aislante de humedad y cambio de rodamientos, el tiempo de entrega de éstos elementos es de una semana.

### **3. Aplicar oxicorte a los espejos del condensador**

Cortar los tubos por donde circula el amoniaco en el condensador, provoca la pérdida del refrigerante que se encontraba en el interior, en el procedimiento se emplea oxicorte, se requiere de tres días y de tres obreros.

### **4. Tubo a tubo se limpia con arenado o amoladoras con gratas**

La limpieza de cada uno de los tubos es el proceso de mayor demora pues se debe limpiar totalmente la superficie exterior de ellos por medios mecánicos como el arenado (sand-blasting) o la utilización de un esmeril de mano (amoladora) en el que se colocan unas gratas para realizar la limpieza, se estima que la duración del proceso sea de seis días y se requiera de dos obreros.

### **5. Limpiar las flautas que producen el rocío de agua**

La limpieza de las flautas se realiza con un alambre que se utiliza para destapar los orificios por donde debe pasar agua a manera de

rocio, la **estimación** de tiempo de este proceso es también de seis días con **sólo** un obrero.

#### 6. **Colocar cada uno de los tubos en los espejos y se suelda**

Una vez conseguido el **propósito** de limpieza, se deben soldar los tubos **del** condensador con su espejo, es decir colocar los tubos **como** se encontraban originalmente, este proceso requiere de paciencia pues se debe ir colocando cada **tubo** de manera alineada y **soldando** alrededor del mismo con la incomodidad del **tubo** de **al lado** para lo cual se estima una duracibn de **ocho** días y de cuatro obreros.

#### 7. **Aplicar presión al sistema cerrado y verificar fugas**

Con el sistema ya cerrado debido a la soldadura de los tubos, se procede a realizar **vacío** en el condensador y mantenerlo así medio día, luego dejar entrar nitrógeno en el banco de tubos, se verifica si existen fugas y de haberlas se las corrige con soldadura, se cierran las **válvulas** de paso, se mide la presión que existe y se deja pasar un día a la espera de que se mida la misma presión del día anterior con lo que se puede afirmar que no existen fugas, se requiere de dos empleados y de dos días.

### **8. Armar el condensador con bandas y chumaceras nuevas**

El armado de las piezas mecánicamente sujetas, requiere de los elementos que se compraron para la reparación, las flautas para el rocío del agua y de los motores eléctricos ya entregados con su respectivo mantenimiento, todas las piezas se manipulan y transportan por varias personas y pueden presentar imprevistos por lo que para éste proceso se requiere de dos días y de tres empleados.

### **9. Prueba de la impermeabilidad del sistema ( fugas de agua )**

Las piezas unidas pueden tener filtraciones de agua, éstas se revisan y corrigen pero también se debe esperar un día para verificar que el nivel de agua en el interior no ha cambiado, se requiere de un empleado y dos días.

### **10. Verificación de corriente, engrase, alineación y purgas.**

Para la puesta en marcha se necesita confirmar que los elementos tengan las condiciones de operación correctas; se revisa la alineación de bandas, purga de agua en la bomba, la conexión eléctrica trifásica en el sentido correcto de giro, la cantidad de amoníaco en el sistema y la correcta engrasada de los rodamientos, para lo que se necesita de un día.

Una vez realizadas las tareas antes mencionadas, se está en condiciones de poner en funcionamiento al condensador.

Habría que observar el rendimiento en la producción y decidir el nuevo paso a seguir, es decir, la planeación de la siguiente reparación.

Se debe tomar en consideración todos los pasos anteriores en el desarrollo de las siguientes planificaciones y realizar una retroalimentación con los imprevistos que se presentaron para mejorar tiempos de realización de las tareas.

Para poder realizar la reparación de una manera eficiente se debe crear un diagrama de Gantt con la lista de tareas a ejecutar.

Este cuadro de barras es de mucha utilidad pues demuestra la ejecución de las tareas de manera simultánea.

Al tener el listado de las tareas se puede elaborar el diagrama de Gantt para el mantenimiento.

La tabla 3.5 muestra el diagrama de Gantt con el que se elabora el mantenimiento de cada condensador, se puede apreciar que los trabajos de mantenimiento eléctrico en los motores tanto de las turbinas como de la bomba, no requieren de personal porque se subcontrata ese mantenimiento.

## Planeacion del mantenimiento de cada condensador evaporativo

		Días de ejecución de tareas																
#	Tarea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	Desarmar Cond.	3																
2	Mot.Eléctricos		█															
3	Oxicorte a espejos		█															
4	Limpieza de tubos			█														
5	Limpieza de flautas		█															
6	Soldar tubos							█										
7	Prueba de presión														█			
8	Armar Cond.															█		
9	Prueba de agua															█		
10	Comprobar																█	

Tabla # 3.5 Diagrama de Gantt del mantenimiento de un condensador evaporativo.



### 3.4 Presupuesto

La reparaci3n de cada condensador evaporativo se va desarrollando mensualmente, esto significa que el costo tambi3n debe mantenerse dentro del valor presupuestado

Para la reparaci3n de cada condensador se estima un costo debido a los materiales a utilizarse y a la mano de obra empleada.

Se debe adquirir 3 chumaceras de piso de 1 ½ “

Una banda B-100 en \$12 para dar movimiento con el motor el3ctrico a las turbinas.

Al desarmar el condensador se puede presentar el problema de pernos tomados que al retirarlos se rompen por lo que hay que reemplazarlos con pernos acerados de 3/8 “ X 1”.

El trabajo debe quedar protegido contra la agresividad del clima por lo que es necesario un buen trabajo de pintura, se debe dar tres manos de diferente clase de pintura por lo que se utilizan 3 gl de pintura; de fondo (prime), anticorrosivo y de acabado.

El sellador para la uni3n de las piezas que contienen el agua es una especie de plastilina que se ubica en la l3nea que forman los pernos de las paredes y se requieren 8 cajas.

Unas 3 botellas de amoniaco para reponer el que se va a perder al ambiente cuando se procede con el desarme.

Tambidn se debe estimar el consumo de un cilindro de gas y oxígeno requeridos para la utilización del oxicorte.

Al momento de la limpieza mecánica de la parte exterior de los tubos se requiere adquirir unas 12 gratas para que sean ubicadas en las amoladoras.

Como se deben soldar los tubos se estima el consumo de un paquete de soldadura E - 6011 de 1/8.

Además se debe utilizar ciertos elementos como teflón para la unión de la tubería de agua, cinta aislante para el empalme de los cables eléctricos que energizan los motores y grasa para las chumaceras.

El mantenimiento de los motores eléctricos de las turbinas y la bomba centrífuga lo realiza un electricista que debe aplicar aislante de humedad y cambiar los rodamientos.

Para realizar los trabajos se necesita de la mano de obra de cuatro empleados.

En cuanto al tiempo muerto, no va a existir debido a que el proceso de reparación de todos los condensadores comienza en el mes de Mayo y si se compara con la tabla # 2.1 se puede apreciar que no es necesario el requerimiento de uso del condensador Vilter 100 que es con el que se empieza, lo que hace que se concluya que la pérdida económica por la falta de venta de algún pedido grande no se suscite.

Tabla 3.6

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Desglose</b>	<b>Valor</b>
<b>Chumaceras 1 1/2</b>	3	\$ 10 c/u	\$ 30,00
<b>Banda B - 100</b>	2	\$ 12	\$ 24,00
<b>Pemos grado 6</b>	3 lb	\$ 6	\$ 18,00
<b>Pintura</b>	1 gl	Primer	\$ 15,00
<b>Pintura</b>	1 gl	Anticorrosivo	\$ 10,00
<b>Pintura</b>	1 gl	Acabado	\$ 10,00
<b>Sellador</b>	8 cajas	\$ 5 la caja	\$ 40,00
<b>Amoniaco</b>	3 botellas	\$ 75 la botella	\$ 225,00
<b>Gas y oxigeno</b>	1 botella c/u	\$ 1.5 + \$ 11.5	\$ 13,00
<b>Gratas</b>	12 uni.	\$ 3 c/u	\$ 36,00
<b>Soldadura</b>	1 paquete	\$ 1 c/lb	\$ 11,00
<b>Varios</b>			\$ 5,00
<b>Electricista</b>	2 motores	\$ 50 + \$ 20	\$ 70,00
<b>Mano de obra</b>	4	\$ 60 quincena	\$ 240,00
<b>Total</b>			<b>\$ 747,00</b>

La tabla 3.6 muestra el resumen de costos de la reparación de un condensador evaporativo.

Cabe indicar que los costos de reparación de los otros condensadores serán muy similares debido a que la parte más variable es la utilización de las gratas.

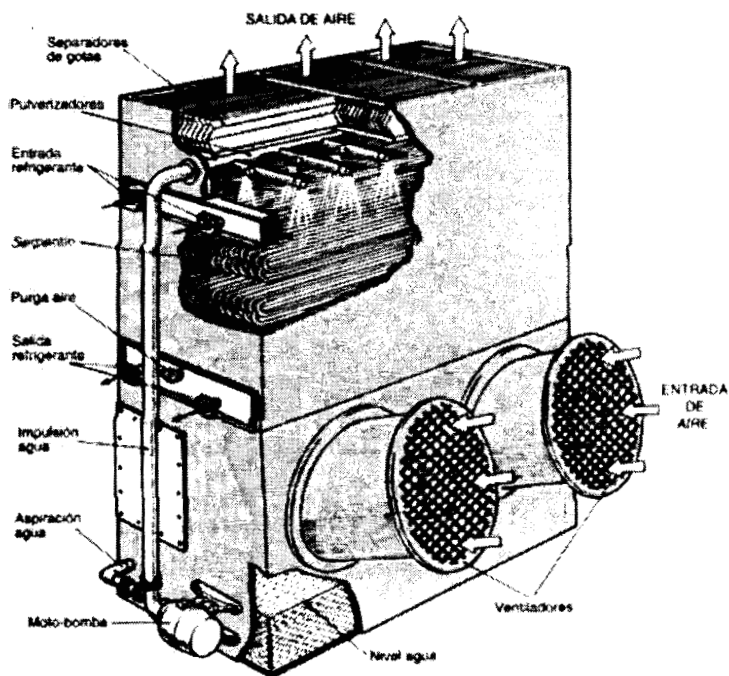


Figura 3.1 Dibujo esquemático de un condensador evaporativo

El condensador evaporativo toma su nombre debido a que el agua retira calor del mismo al evaporarse y desalojar el medio gracias a la corriente de viento que producen los ventiladores o turbinas.

# CAPITULO 4

## 4. ANALISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Resultados de lo Planificado

La secuencia de reparación cambió debido a que al reparar el condensador evaporativo Vilter 100 se realizó un seguimiento del rendimiento de la planta en el que se tomó en cuenta la cantidad de equipos que se utilizaban y la producción que se obtenía con ellos, entre las pruebas se realizó la de trabajar con todos los condensadores pero sin el Vilter 260; se notó que la mejora en el rendimiento del recién reparado Vilter 100 hacía que se sienta muy poco la ausencia del Vilter 260, hay que tomar en cuenta que la fecha en que se están reparando los condensadores exige solamente un 60 % de la capacidad instalada de producción de hielo.

Al reparar el condensador evaporativo Vilter 260 en el mes de Junio se observó que desde su puesta en marcha y considerando la demanda de este trimestre ya no hacía falta operar otro condensador

pues las 180 toneladas de refrigeración que puede brindar sumadas a las 70 toneladas de refrigeración que puede brindar el Vilter 100, ofrecen 250 toneladas de refrigeración. Si se toma en cuenta que para la producción completa se requiere de 413 toneladas de refrigeración, las 250 ton. ref. representan aproximadamente el 60 % de lo requerido y alcanza para cubrir las necesidades de la fecha en cuanto a producción se refiere.

Tomando en consideración esta situación y observando que comienza el tercer trimestre del año en donde el requerimiento de producción baja aun más, es decir, según la tabla # 2.1 se aprecia que la producción según el historial de ventas es de un 40 % de la capacidad instalada, se decidió por la reparación del condensador evaporativo Imeco 300 con el que una vez reparado se obtienen 210 toneladas de refrigeración con lo que alcanza para la producción total de la capacidad instalada de hielo.

Al entrar en funcionamiento los tres condensadores reparados se produce el cambio de las condiciones de operación pues se logró obtener la misma producción pero con menos equipos ya que se pudieron apagar ciertos compresores también y por consiguiente la reducción considerable del consumo eléctrico.

Los condensadores Imeco 280 y Vilter 150 no son necesarios por lo pronto pues aparte de cubrir los requerimientos de condensación, a

partir de Julio del año de 1998 se vivió en el país una recesión económica que imposibilitó a la empresa de terminar la reparación de éstos. En la fecha actual se sigue laborando con los condensadores reparados, incluso la mayor parte del año no es necesario trabajar con los tres al mismo tiempo.

En la medida que la demanda de hielo aumente y surja la necesidad de incrementar la capacidad de condensación se decidirá la fecha de reparación de los condensadores restantes.

Al realizar las tareas preliminares hubo la necesidad de viajar a la ciudad de Guayaquil para obtener los materiales a utilizar en la reparación, se ganó en variedad, precio y asesoramiento sobre todo en la selección de las pinturas que se emplearon.

El cronograma de mantenimiento se realizó de una manera aceptable ya que cuando se presentó algún retraso, se pudo disponer de personal que labora en la noche y que en ocasiones no había mucha demanda de hielo como para que realicen su habitual trabajo.

Solamente el condensador Vilter 260 presentó fugas de amoníaco al ser reconstruido, lo que ocasionó una ligera extensión de un día en la fecha de finalización del trabajo.

Se encontraron incrustaciones bastante gruesas en algunas zonas y sobre todo bien adheridas a los tubos, lo que ocasionaba el aislamiento de éstos y evitaba su normal desenvolvimiento para

intercambiar **calor**, es decir, el amoniaco no se condensaba en gran parte con lo que se perdía un importante gradiente de temperatura en la utilizacdn del refrigerante. Esto ocasionaba que el evaporador tenga la necesidad de hacer circular un mayor flujo másico de refrigerante para que rinda la produccidn requerida.

El nivel de los recibidores aumentó debido a que los condensadores ahora sí realizan su función

Al aplicar el arenado sobre los tubos no sacó la incrustacdn, así que se procedió con amoladoras (**esmeril de mano**) que utilicen gratas.

En referencia al presupuesto realizado no se presentaron mayores problemas pues en la ciudad de Guayaquil se consiguieron mejores precios en varios de los materiales.



Figura 4.1 Se muestra el antes y después de ser reparado del condensador Imeco 300.



En la figura 4.1 se puede apreciar al final de la reparación que quedan los otros dos condensadores sin reparar en la parte superior.

#### 4.2 Parámetros de Operación

Los parámetros recomendados de operación por Vilter son una presión de succión de alrededor de 20 psi y una presión de descarga de hasta 180 psi.

La salinidad es la densidad de la salmuera y debe tener 20 ° Baumé.

La temperatura a la que se debe mantener el pozo de salmuera por medio del evaporador es de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$

El agua de proceso debe tener aproximadamente unas 15 ppm de sólidos totales disueltos.

Tabla 4.1

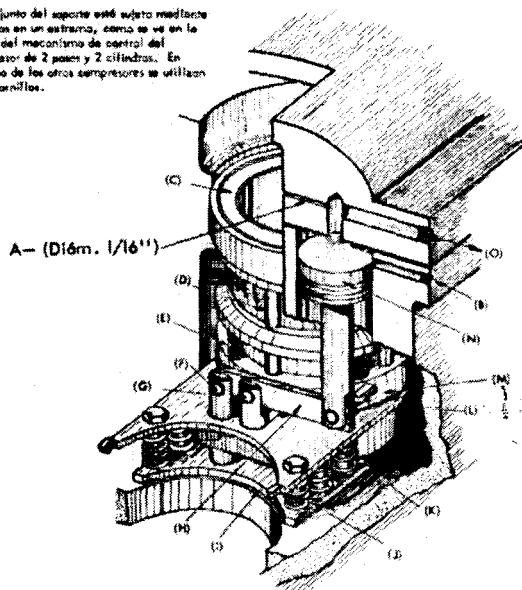
Puntos NH <sub>3</sub>	P(psi)	P(Bar)	T(°F)	T(°C)	h(Kcal/Kg)
1	25	1,72	- 7,6		
2	190	13,10	255,2		
2'	190	13,10	95	35	408
3' X = 25 %	190	13,10	95	35	206
4' X = 25 %	25	1,72	- 7,6	-22	206

Tabla 4.1 Parámetros de operación antes de la reparación de los condensadores

El ciclo se ha desplazado hacia la derecha a los puntos 3' y 4' en el interior de la campana, lo que provocaba un Ah pequeño en el evaporador, por eso se requería de mayor flujo de amoníaco en el sistema para compensar la transferencia de calor necesitada.

El exceso de compresores encendidos generaba este incremento de cantidad de refrigerante pero la presión no aumentaba de manera alarmante porque las válvulas de succión trabajaban abiertas debido a la condición de la instalación eléctrica de poder trabajar con el 33 y el 66 % de la capacidad de descarga.

El conjunto del soporte está sujeto mediante tornillos en un extremo, como se ve en la figura del mecanismo de control del compresor de 2 pasos y 2 cilindros. En ninguno de los otros compresores se utilizan estos tornillos.



(C) Pistillo de la válvula de succión — identifícase con la marca "Top" hacia arriba.  
 (D) Perno elevador. (E) Resorte elevador del pistillo. (F) Pasador de pivote corto.  
 (G) Pasador de apoyo. (H) Palanca elevadora del soporte. (I) Conjunto de la parte del soporte. (J) Resorte del soporte. (K) Conjunto del soporte. (L) Pasador de pivote largo. (M) Anillo elevador. (N) Pistón. (O) Válvula solenoid.

Figura 4.2 Mecanismo de control de la capacidad de descarga

Las presiones de trabajo bajaron considerablemente y se midieron para comprobar el mejoramiento del sistema.

La tabla 4.2 muestra los valores obtenidos luego de la reparaci3n de los tres condensadores y confirman las condiciones de operaci3n que se esperaban.

Tabla 4.2

Puntos NH3	P(psi)	P(Bar)	T(°F)	T(°C)	h(Kcal/Kg)
1	20	1,38	-16,6	-27	391
2	165	11,38	258,8	126	469
2'	165	11,38	86	30	406
3	165	11,38	86	30	134
4	20	1,38	-16,6	-27	134

Tabla 4.2 Parámetros de operaci3n después de la reparaci3n de los condensadores

En el avance de la reparaci3n se recuperó capacidad instalada y no utilizada conforme se ponía en operaci3n cada uno de los condensadores reparados, llegando a recuperar 185 ton. Ref. entre los tres condensadores.

Los tres condensadores pueden brindar sus 460 ton. ref

Tabla 4.3

<b>Orden Reparado</b>	<b>Q<sub>c</sub> Capacidad</b>	<b>Q<sub>c</sub> Real Ton Ref</b>	<b>Q<sub>c</sub> Recup Ton Ref</b>	<b>Q<sub>c</sub> Acum TonRef</b>
-	770 Ton.Ref.	460,93	-	460,93
Vilter 100	70 Ton.Ref.	41,9	28,10	489,03
Vilter 260	180 Ton.Ref.	107,76	72,24	561,27
Imeco 300	210 Ton.Ref.	125,69	84,31	645,58

Tabla 4.3 Capacidad de condensación durante la reparacdn de cada uno de los equipos

### 4.3 Análisis Económico

De los 9 compresores que en a priori se prendian en su totalidad, se necesitan unicamente de 6 en condiciones de total produccibn.

De los 5 condensadores solo se utilizan 3.

Esto refleja un ahorro en el consumo energético de un 40 %, además de el mejor rendimiento pues se podría obtener la capacidad total de producción de ser necesario.

Otro factor económico a revisar es el hecho de que se reparó unicamente tres condensadores con los que la opcibn de reparar analizada en el capítulo dos según la tabla 2.2 se redujo de costo de \$ 4.000,00 a \$ 2.400,00

La capacidad instalada de equipos está sobredimensionada, esto da para pensar en una venta de el excedente o la construcción de una cuarta linea de produccidn en un futuro que se espera no muy lejano con lo que se ganaria **económicamente** pues se mejoraria la capacidad de **producción vs** la capacidad de equipos instalados.

El ahorro **energético** es apreciable pues se repararon tres condensadores **los** cuales, juntos brindan 460 ton.ref. que es el valor con el que se estaba trabajando, es decir, se ahorra en no necesitar de **los** otros dos condensadores que consumen:

Imeco 300

Motor eléctrico de las turbinas	25	Hp
---------------------------------	----	----

Bomba centrífuga	3	Hp
------------------	---	----

Vilter 150

Motor eléctrico de las turbinas	15	Hp
---------------------------------	----	----

Bomba centrífuga	1½	Hp
------------------	----	----

Los compresores que normalmente se empleaban sumaban 700 Hp

Si el requerimiento nuevo es de 436 Hp

Se puede mantener encendidos:

2 compresores de tornillo de 125 Hp cada uno y

2 compresores reciprocantes de 100 Hp cada uno.

Se utiliza entonces en la compresidn 450 Hp.

Por **compresión** se ahorra la utilizacidn de 250 Hp.

Tabla 4.4

<b>Equipo</b>	<b>Ahorro [ Hp ]</b>	<b>Ahorro [ Kcal/h ]</b>
<b>Imeco 300</b>	28	17.953
<b>Vilter 150</b>	<b>16 ½</b>	10.580
<b>Compresores</b>	250	160.297
	<b>294 ½</b>	<b>188.830</b>

Tabla 4.4 Se muestra un resumen de ahorro energético con su respectivo origen.

Es decir, se consigue un ahorro de 294 ½ Hp en equipos que no son necesarios poner en funcionamiento.

Cabe señalar que el valor del mantenimiento de equipos baja considerablemente.

La utilidad bruta mejora obteniendo así una mejor capacidad de cubrir los costos fijos de la empresa y de realizar inversiones.

# CAPITULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Desde el año de 1999, en que se pone en funcionamiento el tercer condensador reparado, la planta viene operando hasta la presente fecha en la misma situación **pero** los costos de producción disminuyeron **al** valor establecido.
2. Una característica que **llamó** la atención era el bajo nivel de amoníaco en **los** recipientes, incluso luego de introducir en el sistema botellas de refrigerante sin obtener un nivel mejor. Esto **fue** lo que **encaminó** a la **determinación** del problema.
3. El amoníaco no se estaba condensando adecuadamente y **los** puntos 3 y el 4 del ciclo se habían desplazado **hacia** el **centro** de la campana a igual presión **pero** con humedad

del 25 %. Esto implica que el amoniaco no llegaba a su situación de líquido saturado desde donde por medio de sus propiedades físicas ofrece un mayor gradiente de temperatura con el propósito de extraer en el evaporador una mayor cantidad de calor que la que estaba realizando.

4. Los parámetros de presión y temperatura no se apreciaban de manera alarmante debido a que se suplía el problema con la puesta en marcha de más equipos. Estos trataban de cubrir la falta de eficacia del refrigerante al no poder tener capacidad de intercambiar calor de la mejor manera se incrementaba la cantidad de amoniaco circulando por el túnel.
  
5. Las condiciones de operación siguen siendo las mismas en cuanto a equipos operando, sin embargo mi sugerencia es la de continuar hasta el final la reparación de los condensadores restantes pues en cualquier momento se pueden presentar situaciones que ameriten el tenerlos operativos como la posible venta, el posible reemplazo temporal de otro condensador por avería o mantenimiento, además de que los equipos que no prestan servicios



tambien se dañan con el tiempo y eso en el campo económico es una pérdida.

6. El haber realizado esta tesis de grado me ha dado la pauta para sugerir a cualquier persona que realice ingeniería en el área de refrigeración que es necesario elaborar un plan de trabajo en cuanto a utilización de la capacidad instalada vs los requerimientos de cada industria, pues los operadores de éstos equipos de refrigeración en la mayoría de los casos, son personas con pocos conocimientos de refrigeración y lo más preocupante es la capacidad y responsabilidad que puedan tener en la toma de decisiones que en muchas situaciones se requiere de manera constante.
  
7. Considero, al igual que muchos que la elaboración de una tesis de grado, es la estocada final a la educación adquirida en una universidad como la Escuela Superior Politécnica del Litoral, es el complemento necesario para aplicar en la vida cotidiana lo que por mucho tiempo fueron sólo números y situaciones ideales.



## **APENDICE A**

### **CALOR ESPECIFICO Y PROPIEDADES DE ALGUNOS ELEMENTOS**

TABLA 1. Calor específico de algunos alimentos y sus componentes. Los calores específicos están expresados en kcal/(kg · °C), y para pasarlos a kJ/(kg · K) basta dividir los valores de la tabla por 0,24.

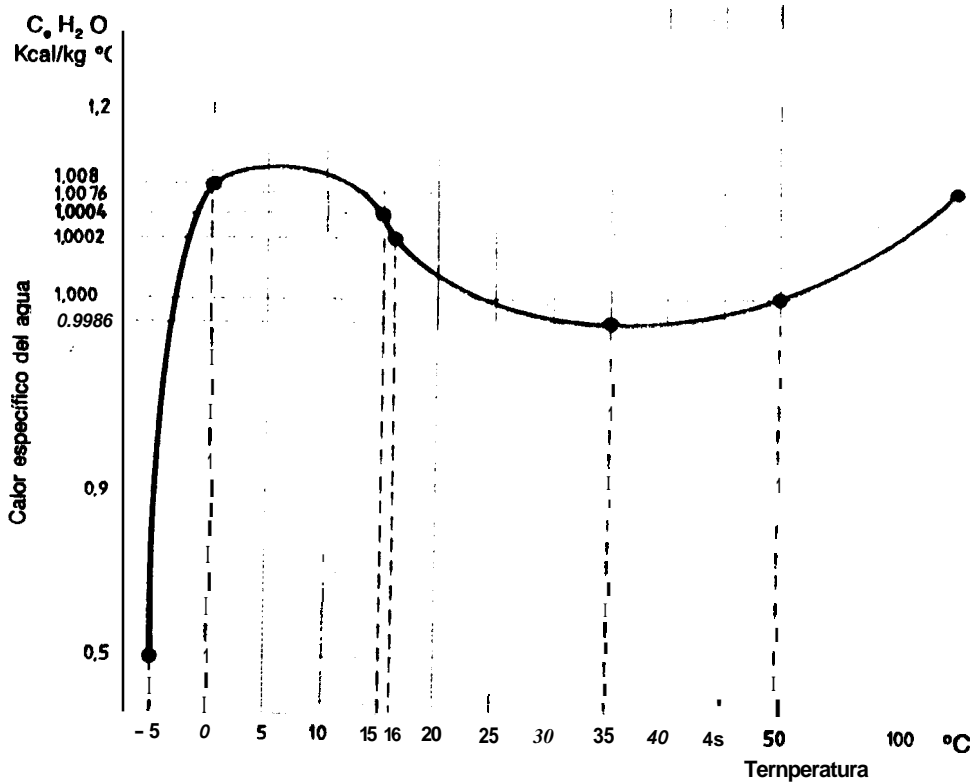
Producto	Agua (1) %	Componentes sólidos %	Calor específico		Calor latente Calor de solidificación o de fusión en kcal/(kg · °C)
			Antes de la solidificación en kcal/(kg · °C)	Después de la solidificación en kcal/(kg · °C)	
Aceite .....	—	—	0,40	0,35	—
Anguilas .....	62	38	0,70	0,39	50
Apio .....	88-95	12-5	0,94	0,47	70-76
Aves .....	74	26	0,70-0,76	0,40	59
Azúcar .....	0,1	99,9	—	0,30	—
Bayas .....	84-88	16-12	0,91	0,4-0,5	67-70
Bulbos, flores .....	91	9	0,93	0,48	73
Carné de carnero magra .....	67	33	0,73	0,41	53
Carné de carnero grasa .....	50	60	0,60	0,35	40
Carné de cerdo grasa .....	39-46	61-54	0,51	0,32	31-36,6
Carné de ternera .....	63	37	0,704	0,40	50
Carné de vacuno grasa .....	51	49	0,608	0,355	41
Carné de vacuno magra .....	72	28	0,778	0,42	56
Caylar .....	50-60	60-40	0,70	0,31	40-50
Caza .....	74	26	0,80	0,40	59
Cebollas comestibles .....	80-89	20-11	0,91	0,46	64-71
Cerezas .....	82	18	0,87	0,44	66
Cerveza .....	89-91	—	0,90	—	72
Ciruelas .....	87	13	0,92	0,41	70
Col .....	91	9	0,93	0,48	73
Crema helada (helados) .....	60-65	40-35	0,78	0,45	52
Chocolate .....	1,6	98,4	0,76	—	20-30
Espárragos .....	94	6	0,93	0,47	75
Fresas .....	90	10	0,92	0,47	71,6
Grasas vegetales .....	—	—	0,47-0,50	0,35	—
Grosella .....	90	10	0,92	0,46	72
Guisantes verdes .....	75	25	0,80	0,42	60
Harina .....	12-13,5	88-86,5	0,43-0,45	—	—
Hielo (agua) .....	100	—	1,00	0,50	80
Huevos .....	70	30	0,76	0,40	56
Judías verdes .....	89	11	0,92	0,47	71
Langosta, cangrejos .....	77	23	0,91	0,43	62
Leche .....	88	12	0,91	0,60	70
Limonés .....	83-89	17-11	0,92	0,46	66-71
Manteca .....	0,7	99,3	0,60	0,46	29-35
Mantiguilla .....	14-16	86-85	0,60-0,64	0,30	35-12 (2)
Manzanas .....	83	17	0,92	0,42	67
Margarina .....	17-18	83-82	0,65-0,70	0,35	15-15
Melones .....	89	11	0,92	0,46	71
Miel .....	19	81	0,35	0,26	14
Naranjas .....	84	16	0,92	0,44	68
Nata .....	59	41	0,95	0,36	47
Nueces .....	7,2	94,8	0,25	0,22	9
Ostras .....	80	20	0,84	0,44	63
Pan de centeno .....	40	60	—	—	—
Pan de trigo .....	34	66	—	—	—

POSITION	MELTING POINT (K)	PROPERTIES AT 300K				PROPERTIES AT VARIOUS TEMPERATURES (K)												
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg·K)	$k$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^5$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m·K) / $c_p$ (J/kg·K)												
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500			
Bridge brass (% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149									
Instantan (% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	67.1	17	19											
anium	1211	5360	322	59.9	34.1	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4						
						190	290	337	348	357	315	395						
	1336	19300	129	317	127	327	323	311	298	284	210	255						
						109	124	131	135	140	145	155						
	2720	22500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126	120	111					
						90	122	133	138	144	153	161	172					
	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.1	43.3	32.8	28.3	32.1					
						216	384	490	574	680	975	609	654					
nco (97.5% pure)		7810	447	72.7	20.1	95.6	10.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4					
						215	384	490	574	680	975	609	654					
in steels in carbon (C ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0							
								487	559	685	1169							
(11010)		7832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3							
								487	559	685	1168							
boron-silicon (C ≤ 1%, Si < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3							
								501	582	699	971							
boron-manganese- boron		8131	434	41.0	11.6			42.2	39.7	35.0	27.6							
								487	559	685	1090							
Mo		7858	442	42.3	12.2			42.0	39.1	34.5	27.4							
(% C, 1% Cr, % Mo, 0.39% Si)								492	575	688	969							
-V (% C, 1.02% Cr, % V)		7836	443	48.9	14.1			46.8	42.1	36.3	28.2							
								492	575	688	969							
ss steels																		
302		8055	480	15.1	3.91			17.3	20.0	22.8	25.4							
								512	559	585	606							
304	1670	7900	471	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4	28.0	31.7					
						272	402	515	557	582	611	640	682					
316		8238	468	13.4	3.48			15.2	18.3	21.3	24.2							
								504	550	576	602							
347		7978	480	14.2	3.71			15.8	18.9	21.9	24.7							
								513	559	585	606							
Alum	601	11340	129	35.3	24.1	39.7	36.7	34.0	31.4									
						118	125	132	142									
esium	923	1740	1024	156	87.6	169	159	153	149	146								
						649	934	1074	1170	1267								
denum	2894	10240	251	138	53.1	179	143	134	126	118	112	105	98	90	86			
						141	224	261	275	285	295	308	330	380	459			
	1728	8900	444	90.7	23.0	164	107	80.2	65.6	61.6	71.8	16.2	82.6					
						232	383	485	592	530	562	594	616					
rome (% Ni, 20% Cr)	1672	8400	420	12	3.4			14	16	21								
								480	525	545								
nel X-750 (% Ni, 15% Cr, % Fe)	1665	8510	439	11.7	3.1	8.1	10.3	13.5	17.0	20.5	24.0	27.6	33.0					
								372	473	510	546	626						
um	2141	8570	265	53.7	23.6	55.2	52.6	55.2	58.2	61.3	64.4	67.5	12.1	79.1				
						188	249	274	283	292	301	310	324	347				
ium	1827	12020	244	71.8	24.5	76.5	71.6	73.6	19.1	86.9	94.2	102	110					
						168	227	251	261	271	281	291	307					
um	2045	21450	133	71.6	25.1	17.5	72.6	71.8	73.2	15.6	78.7	02.6	89.5	99.4				
						100	125	136	141	146	152	157	165	179				

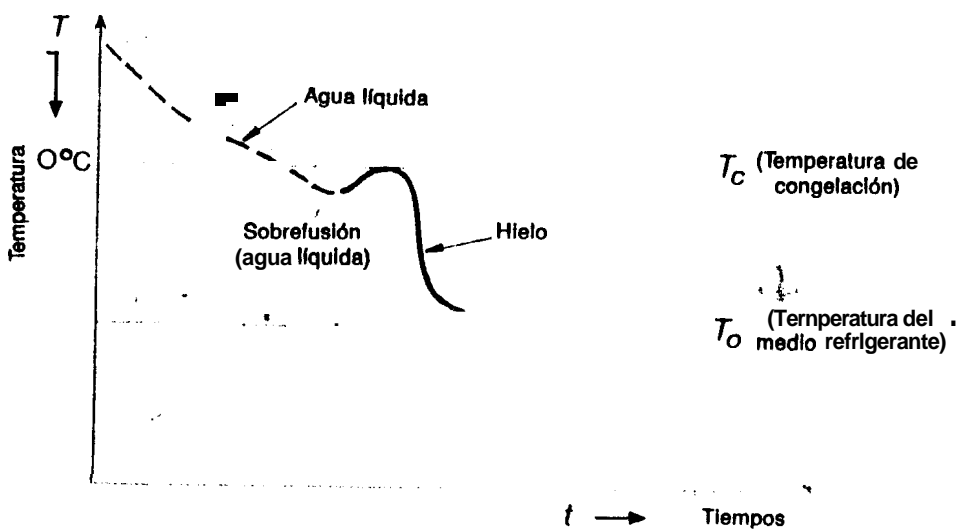
Appendix A Thermophysical Properties of Matter

Appendix A Thermophysical Properties of Matter A5

8. Gráfico representando la evolución del calor específico del agua.



9. Curve de congelación del agua. Fenómeno de superrefusión del agua.



**Calores específicos de los gases** Para los gases monoatómicos, los calores específicos no varían con la temperatura, y  $k$ , el valor de  $c_p/c_v$ , vale 1.66. Para los gases diatómicos (oxígeno, nitrógeno, etc.), los calores específicos varían con la temperatura, pero para muchos fines pueden suponerse constantes en intervalos considerables de temperatura. Para los gases diatómicos,  $k$  es aproximadamente igual a 1.40. Para gases más complejos, no es posible hacer generalizaciones. El calor específico aumenta con la complejidad molecular, y el valor de  $k$  disminuye.

Las propiedades de los gases se relacionan generalmente con más facilidad sobre la base del mol. Una libra mol es el peso en libras igual al peso molecular; 1 gramo mol es el peso en gramos igual al peso molecular, y así sucesivamente. Así, 1 gramo mol de oxígeno pesa 32 gramos. A las mismas presión y temperatura, el volumen de un mol es igual para todos los gases ideales, es decir, aquellos que siguen las leyes de los gases. Hechos experimentales condujeron a Avogadro (1776-1856) a enunciar la hipótesis microscópica conocida ahora como principio de Avogadro, la cual afirma que un mol de cualquier gas ideal contiene el mismo número de moléculas. El número se conoce como número de Avogadro es igual a

$$N = 6.02486 \times 10^{26} \text{ moléculas/(k . mol)}$$

$$= 2.73283 \times 10^{26} \text{ moléculas/(lb . mol)}$$

Para los gases ideales,  $M_c p - M_c v = AMR = 1.987$ . (El significado de  $A$ ,  $M$  y  $R$  se da al principio del artículo siguiente, **Principios Generales de Termodinámica.**)

$$c_p = AR/(k - 1) \quad c_v = ARk/(k - 1)$$

Sobre una base molar, los valores promedio del calor específico para algunos de los gases más comunes están ilustrados por la Fig. 1. Estos valores han sido corregidos a la presión cero, pero son prácticamente iguales a 1 atmósfera. La tabla 9 da las fórmulas para los calores específicos de varios gases a una presión constante de 1 atmósfera.

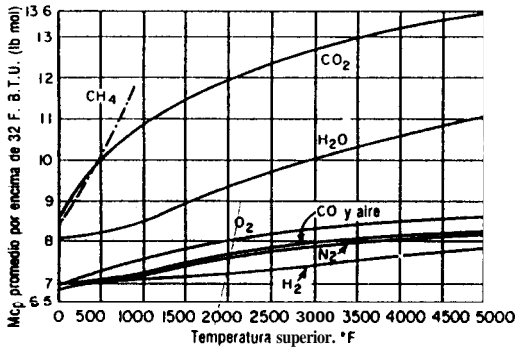


Fig. 1. Calor específico medio molar a presión constante, por encima de 32°F.

**Calor específico de una mezcla** Si  $w_1$  lb de una sustancia a la temperatura  $t_1$  y con calor específico  $c_1$  son mezclados con  $w_2$  lb de una segunda sustancia a la temperatura  $t_2$  y con calor específico  $c_2$ , y siempre que no tenga lugar ninguna reacción química, ni evolución térmica, ni absorción de calor, el calor específico de la mezcla es

$$c_m = (w_1 c_1 + w_2 c_2)/(w_1 + w_2)$$

y la temperatura de la mezcla es

$$t_m = (w_1 c_1 t_1 + w_2 c_2 t_2)/(w_1 c_1 + w_2 c_2)$$

En general,  $t_m = \sum w c t / \sum w c$ .

Para elevar la temperatura de  $w_1$  lb de una sustancia de calor específico  $c_1$  y a la temperatura  $t_1$  hasta la temperatura  $t_m$ , el peso necesario,  $w_2$ , de una segunda sustancia a la temperatura  $t_2$  y de calor específico  $c_2$  mezclado a  $w_1$ , será:

$$w_2 = w_1 c_1 (t_m - t_1) / c_2 (t_2 - t_m)$$

en donde  $t_2 > t_m > t_1$  para calentamiento, y  $t_2 < t_m < t_1$  para enfriamiento.

Al mezclar dos cuerpos del mismo gas (ideal) a presión constante,

$$t_m = [(V_1 + V_2)(V_1/T_1 + V_2/T_2)] - 459.69$$

**Calor específico de soluciones** En soluciones acuosas de sales, podemos estimar su calor específico suponiendo que el calor específico de la solución sea igual al del agua pura. Así, para una solución de cloruro de sodio en agua al 20% en peso, el calor específico sería aproximadamente 0.8.

**Calores latentes** Para sustancias puras, los efectos caloríficos que acompañan a los cambios de estado a presión constante se conocen como efectos latentes, porque no se manifiestan cambios de temperatura. Algunos ejemplos son los calores de fusión, vaporización, sublimación y de cambio de forma cristalina. Los calores de vaporización a bajas presiones para líquidos puros de características químicas similares se relacionan bien por los métodos propuestos por Hildebrand. Tal correlación está ilustrada en la Fig. 2.

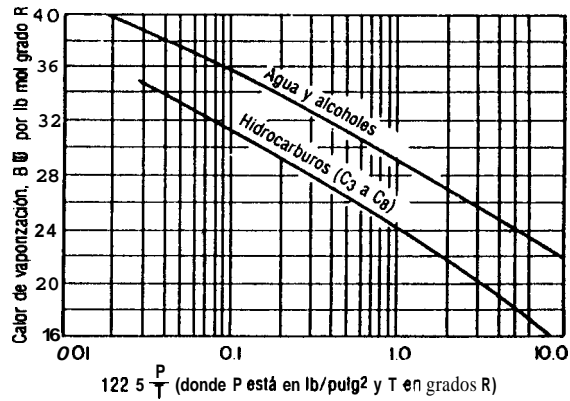


Fig. 2. Función de Hildebrand para entalpía de vaporización.

**EJEMPLO.** Para agua a presión absoluta de 25 lb/pulg² y 240°F, el calor de vaporización es 952 Btu. Con referencia a la Fig. 2,

$$122.5 \frac{25}{240 + 460} = 4.4$$

y el calor correspondiente del calor molar de vaporización es  $24.6(240 + 460) = 17\,200$  Btu por lb-mol o 956 Btu por lb.

En las tablas 21 y 22 se presentan los valores para el calor de fusión y el calor latente de vaporización.

**Presiones de vapor** A una temperatura especificada, un líquido puro en contacto con su vapor sólo puede estar en equilibrio con éste a una sola presión, su presión de vapor. Una gráfica de estas presiones contra las temperaturas correspondientes se conoce como una curva de presión de vapor.

En la tabla 23 se presentan varios valores para las temperaturas de ciertos líquidos a 1 atm de presión.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS CUERPOS

Sustancia	T	°C	Sustancia	T	°C
Naftaleno líquido, hierve a	424.31	217.9	Aleación eutéctica líquida de		
Estaño líquido, solidifica a	449.4	231.9	cobre y plata, solidifica a	1434	779
Benzofenona líquida, hierve a	582.6	305.9	Plata sólida, funde a	1761	961
Plomo líquido, solidifica a	621.2	327.3	Oro sólido, funde a	1945	1063
Zinc líquido, solidifica a	787.1	419.5	Cobre líquido, solidifica a	1981	1083
Azufre líquido, hierve a	832.28	444.6	Níquel sólido, funde a	2646	1452
Antimonio líquido, solidifica a	1166.9	610.7	Paladio sólido, funde a	2811	1555
Aluminio líquido (97.7% puro), solidifica a	1218	660.4	Platino sólido, funde a	3223	1773
			Alúmina sblida, funde a	3722	2050
			Tungsteno sólido, funde a	6134	3390

Tabla 3. Puntos de fusión de elementos no metálicos, °F

Hielo	-456*	Argbn	-309	Fósforo	111
Hidrógeno	-434	Kriptón	-272	Yodo	236
Neón	-416	Xenón	-220	Azufre	235
Flúor	-367	Cloro	-151	Silicio	3588
Oxígeno	-362	Bromo	+19	Carbono	>6500
Nitrógeno	-346				

\*A 23 atm.

Tabla 4. Puntos de fusión de varios sólidos, °F (Para los metales puros y refractarios, vtase la Sección 6)

Aceero	2370-2550	Aleaciones fusibles:		Esmaltes de colores	1760
Aleaciones:		33 Bi + 33 Pb + 33 Sn	250	Esperma de ballena	120
Soldadura debismuto	200-262	18 Bi + 36 Pb + 46 Sn	305	Estearina	122
Latón y bronce (aprox.)	1650	10 Bi + 40 Pb + 50 Sn	324	Fósforo (blanco o amarillo)	111
80 Cu + 20 Zn	1845	Bbrax	1040	Fundición blanca	1920-2010
50 Cu + 50 Zn	1615	Caucho	251	Fundición gris	2460-2550
20 Cu + 80 Zn	1300	Cloruros:		Hierro dulce	2460-2640
Metal Della	1742	de calcio	1422	Parafina	129
20 Sn + 80 Pb	530	de potasio	1454	Porcelana	2820
50 Sn + 50 Pb	400	de sodio	1479	Potasio	141
80 Sn + 20 Pb	388	de zinc	546	Sodio	208
		Escoria de altos hornos	2370-2600	Soldadura de estaño	275-350

Csrburo de niobio, NbC	6330	Csrburo de berilio, Be2C	3812
Grafito, C	6700	Óxido de aluminio, Al2O3	3722
Carburo de circonio, ZrC	6400	Óxido de berilio, 2 BeO · SiO2	3630
Nitruro de circonio, ZrN	3400	Óxido de berilio-alúmina, BeO · Al2O3	3398
Óxido de circonio, ZrO2	4900	Beriliuro de circonio, ZrBe3	3180
Óxido de berilio, BeO	4368	Disiliciuro de circonio, ZrSi2	3090
Siliciuros de circonio, Zr3Si2, Zr4Si3, Zr6Si3	40104080	Titanio, Ti	3547
Nitruro de aluminio, AlN	4060	Alumínuro de circonio, ZrAl2	3000
Nitruro de berilio, Be3N4	4000		

FUENTE "Power's Data Sheet No. 317". Power, enero de 1939

Tabla 6. Puntos de congelación de líquidos a la presión atmosférica, °F

Aceite de colza	25.7	Anilina	20.8	Éter	-180
Aceite de linaza	-4	Benzol	41.9	Glicerina	64
Acido sulfúrico	-105	Cloroformo	-82.3	Mercurio	-38.8
Agua de mar	27.5	Cloruro de calcio (sol. sat.)	-40	Naftaleno	176
Alcohol etílico	-174.6	Dióxido de carbono	110.2	Tolueno	-149
Alcohol metílico	-144.2	Solución saturada de sal (NaCl)	-0.4	Trimentina (esencia)	< -75
Amoniaco	-107.8				
Bisulfuro de carbono	-168.1				

## **APENDICE B**

### **CONVERSION DE ALGUNAS UNIDADES**



TABLAS DE CONVERSIÓN Y EQUIVALENCIAS

Densidades relativas a 60°/60 °F. correspondientes a grados Baumé para líquidos más pesados que el agua

(Calculadas por medio de la fórmula, densidad relativa a 60°/60 °F. =  $\frac{145}{145 - \text{grados Baumé}}$ )

Grados Baumé	Densidad relativa	Grados Baumé	Densidad relativa	Grados Baumé	Densidad relativa	Grados Baumé	Densidad relativa	Grados Baumé	Densidad relativa	Grados Baumé	Densidad relativa
0	1.0000	12	1.0902	24	1.1983	36	1.3303	48	1.4948	60	1.7059
1	1.0069	13	1.0985	25	1.2083	37	1.3426	49	1.5104	61	1.7261
2	1.0140	14	1.1069	16	1.2185	38	1.3551	50	1.5163	62	1.7470
3	1.0211	15	1.1154	27	1.2288	39	1.3679	51	1.5426	63	1.7683
4	1.0214	16	1.1740	28	1.2393	40	1.3810	52	1.5591	64	1.7901
5	1.0357	17	1.1328	19	1.2500	41	1.3942	53	1.5761	65	1.8125
6	1.0432	18	1.1417	30	1.2609	42	1.4078	54	1.5934	66	1.8354
7	1.0507	19	1.1508	31	1.2719	43	1.4216	55	1.6111	67	1.8590
8	1.0584	20	1.1600	32	1.2832	44	1.4356	56	1.6292	68	1.8831
9	1.0662	21	1.1694	33	1.2946	45	1.4500	57	1.6477	69	1.9019
10	1.0741	22	1.1789	34	1.3063	46	1.4646	58	1.6667	70	1.9333
11	1.0821	23	1.1885	35	1.3182	47	1.4796	59	1.6860	...	...

Equivalencias de longitudes

Centímetros	Pulgadas	Pies	Yardas	Metros	Cadenas	Kilómetros	Millas
1	0.3937 1.59517	0.03281 2.51508	0.01094 2.03896	0.01 2.00000	0.04971 2.00044	10 <sup>-4</sup> 5.00000	0.06214 6.79335
2.540 0.40183	1	0.08333 2.92083	0.02778 2.44370	0.0254 2.70483	0.001263 3.10127	0.00254 6.40483	0.01578 8.10818
30.48 1.48401	12 1.07918	1	0.3333 1.52288	0.3048 1.48401	0.01515 2.18046	0.03048 4.48401	0.01894 3.27736
91.44 1.96111	36 1.55630	3 0.47712	1	0.9144 1.96114	0.04515 2.05758	0.09114 4.96111	0.05682 4.75449
100 2.00000	39.17 1.59517	3.281 0.51598	1.0936 0.03896	1	0.04971 2.69644	0.001 3.00000	0.06214 4.79335
2012 3.30356	792 2.89873	66 1.81954	22 1.34242	20.12 1.30356	1	0.02012 2.30356	0.0129 2.09601
10000 5.00000	19370 4.59517	3281 3.51598	1093.6 3.02886	1000 3.00000	49.71 1.69344	1	0.6214 1.79333
160934 5.20665	41360 4.80182	5280 3.72263	1760 3.24551	1609 3.20665	80 1.90309	1.609 0.20665	1

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS CUERPOS

**Escala termométrica** Si *F* y *C* representan las lecturas hechas en las escalas Fahrenheit y centígrada (o Celsius), respectivamente, para una misma temperatura se tiene:

$$C = 5/9(F - 32) \quad F = 9/5C + 32$$

La tabla I da las diversas lecturas correspondientes en las dos escalas.

Si se calculan por extrapolación las lecturas de presión de un termómetro de hidrógeno de volumen constante hasta la presión cero, se encuentra que la temperatura correspondiente es **-273.15°C**, o sea **-459.67°F**. Es conveniente tener una escala **absoluta de temperatura** en la cual el punto cero corresponda a la presión cero del termómetro de hidrógeno. Tal escala tiene un significado termodinámico fundamental y concuerda muy aproximadamente con la escala termodinámica de temperatura. Las escalas absolutas que se emplean son:

Grados Kelvin (K) = grados centígrados + **273.15**

Grados Rankine (R) = grados Fahrenheit + **459.67**

**Temperaturas fijas** Se pueden obtener en la Oficina Norteamericana de Normas (*National Bureau of Standards*) patrones tipo, para la calibración de instrumentos medidores de tempe-

ratura en ciertos puntos fijos, con certificados que dan el punto exacto de solidificación de cada lote de metal. Estos son: aluminio I **220.7 (660.4)**; cobre I **984.1 (1 084.5)**; zinc **787.2 (1 449.0)**; plata **961.7 (1 743.1)**; platino **1 762.7 (3 204.9)**; platino-rodio **1 875.0 (3 405.0)**; platino-iridio **1 900.0 (3 432.0)**; platino-iridio-rodio **1 918.0 (3 484.4)**; platino-iridio-rodio-rodio **1 926.0 (3 498.8)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio **1 933.0 (3 509.4)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 940.0 (3 512.0)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 946.0 (3 514.8)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 952.0 (3 517.6)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 958.0 (3 520.4)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 964.0 (3 523.2)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 970.0 (3 526.0)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 976.0 (3 528.8)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 982.0 (3 531.6)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 988.0 (3 534.4)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 994.0 (3 537.2)**; platino-iridio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio-rodio **1 999.0 (3 540.2)**.

Estándares adecuados para calibraciones menos precisas se enlistan en la tabla 2. La información adicional que puede ser útil para la estimación de temperaturas se presenta en las tablas 3 a 9.

Dilatación de los cuerpos por el calor

**Coefficientes de dilatación** El coeficiente de dilatación lineal de un sólido se define como el incremento de longitud por unidad de longitud para una elevación de temperatura de 1°. De manera semejante, el coeficiente de dilatación volumétrica de un sólido, líquido o gas se define como el incremento de volumen de una unidad de volumen para una elevación de temperatura de 1°. Representando estos coeficientes por  $\alpha$  y  $\beta$  respectivamente,

$$\alpha = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} \quad \beta = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt}$$

Tabla 1. Conversión de lecturas termométricas Grados Celsius a Grados Fahrenheit

C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F
-40	-40.0	+5	+41.0	+40	+104.0	+175	+347	+350	+662	+750	+1382
-38	-36.1	6	42.8	41	105.8	180	356	355	671	800	1472
-36	-32.0	7	44.6	42	107.6	185	365	360	680	850	1562
-34	-29.1	8	46.4	43	109.4	190	374	365	689	900	1652
-32	-25.6	9	48.2	44	111.2	195	383	370	698	950	1742
-30	-21.0	10	50.0	45	113.0	200	392	375	707	1000	1832
-28	-18.4	11	51.8	46	114.8	205	401	380	716	1050	1922
-26	-14.8	12	53.6	47	116.6	210	410	385	725	1100	2012
-24	-11.2	13	55.4	48	118.4	215	419	390	734	1150	2102
-22	-7.6	14	57.2	49	120.2	220	420	395	743	1200	2192
-20	-4.0	15	59.0	50	122.0	225	437	400	752	1250	2282
-19	-2.2	16	60.8	55	131.0	230	446	435	761	1300	2372
-18	-0.4	17	62.6	60	140.0	235	455	410	770	1350	2462
-17	+1.4	18	64.4	65	149.6	240	464	415	779	1400	2552
-16	3.2	19	66.2	70	158.0	245	473	420	788	1450	2642
-15	5.0	20	68.0	75	167.0	250	482	425	797	1500	2732
-14	6.8	21	69.8	80	176.0	255	491	430	806	1550	2822
-13	8.6	12	71.6	85	185.0	260	500	435	815	1600	2912
-12	10.4	23	73.4	90	194.0	265	509	440	824	1650	3002
-11	12.2	24	75.2	95	203.0	270	518	445	833	1700	3092
-10	14.0	25	77.0	100	212.0	275	527	450	842	1750	3182
-9	15.8	26	78.8	105	221.0	280	536	455	851	1800	3272
-8	17.6	27	80.6	110	230.0	285	545	460	860	1850	3362
-7	19.4	28	82.4	115	239.0	290	554	465	869	1900	3452
-6	21.2	29	84.2	120	248.0	295	563	470	878	1950	3542
-5	23.0	30	86.0	125	257.0	300	572	475	887	2000	3632
-4	24.8	31	87.8	130	266.0	305	581	480	896	2050	3722
-3	26.6	32	89.6	135	275.0	310	590	485	905	2100	3812
-2	28.4	33	91.4	140	284.0	315	599	490	914	2150	3902
-1	30.2	34	93.2	145	293.0	320	608	495	923	2200	3992
0	32.0	35	95.0	150	302.0	325	617	500	932	2250	4082
+1	33.8	36	96.8	155	311.0	330	626	505	941	2300	4172
2	35.6	37	98.6	160	320.0	335	635	510	950	2350	4262
3	37.4	38	100.4	165	329.0	340	644	515	959	2400	4352
4	39.2	39	102.2	170	338.0	345	653	520	968	2450	4442

TABLA DE VALORES PARA INTERPOLACIÓN EN LA TABLA ANTERIOR

Grados Celsius	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grados Fahrenheit	1.8	3.6	5.4	7.2	9.0	10.8	12.6	14.4	16.2

## **APENDICE C**

### **CALIDAD DEL AGUA**

Tabla 1. **Uso del agua en Estados Unidos, 1970\***  
 (Todas las cantidades en miles de millones de galones/día ( $\times 0.00378 = \text{Cm}^3/\text{día}$ ))

	Captación total	Agua potable	Agua salina	Uso para consumo
<b>Riego</b>	130	130		73
<b>Servicio público de agua</b>	27	27		5.4
<b>Doméstico rural</b>	4.5	4.5		1.69 1.71
				3.4
<b>Industrial y diversos</b>	16.2	31.8	14.4	9
Plantas termoeléctricas	163.8	124.2	39.6	0.5
<b>Total</b>	371.5	317.5	54	91.3

\*Compilado de diversas fuentes

ción es la cantidad de agua extraída de la tierra o desde un cuerpo de aguas de superficie. El uso pars es la parte de esa agua que se descarga a la atmósfera a en los cultivos o en los productos industriales o ali-

lación estimada de agua en los Estados Unidos en le 372 mil millones de galones por día, incluyendo al- las salinas (véase la Tabla 1).

ación de agua dulce es alrededor del 25% de la afluencia para consumo es alrededor del 7% de la afluencia. El consumo de agua para riego es más o menos un 64%; tiene una tolerancia de otro 15% por pérdidas en la ón o conducción y en la distribución.

vide la captación total de agua entre la población que los Estados Unidos en 1970, muestra un uso de agua, c Agua, de 6 866 litros (1 814 galones) por cabeza y por d). Refleja el gran uso de agua en la industria y la agri-, porque el hombre puede sobrevivir con un mínimo de 0.946 litros (1 "quart" o cuarto de galón) por día. El méstico promedio de agua en las zonas urbanas norte- anas es de 114 a 227 litros (30 a 60 gped). Pero, dadtr que es municipales también deben abastecer a los consumi- industriales. la producción de servicios públicos de agua, dio, es de 628 litros (166 gped), pues va de 150 a 1 500 40 a 400 gped). Estas cifras incluyen pérdidas de 15% en ribución.

adiciones a los recursos hidráulicos para el futuro se n lograr mediante: 1) aumento en los depósitos para imiento; 2) la inyección del agua de desecho o el agua de aciones hacia los estratos subterráneos llamados capas ras o freáticas; 3) cubrir los depósitos con películas para ir la evaporación; 4) producción artificial de lluvia; 5) rsión de aguas saladas y salubres.

de igual importancia mejorar la eficiencia en el uso de los litros de agua mediante: 1) uso múltiple del agua para imiento; 2) uso de enfriamiento por aire en lugar de enfriamiento por agua; 3) uso de torres de enfriamiento; 4) recu- sión de las aguas de desecho, tanto industriales como is; 5) abatimiento de la contaminación por tratamiento en e dilución, la cual requiere el uso de agua dulce adicional.

## ACIONES Y DEFINICIONES

s cantidades de agua en los Estados Unidos se miden en gal- s U.S.; la unidad más grande es de 1 000 galones U.S. Para agricultura y el riego, el uso de agua se mide en acre-pies, es decir, la cantidad de agua que cubre un acre de superficie a una tura de 1 pie. En Canadá y países de la Comunidad Británica, se usa el galón imperial (4.54 litros o 1.20 galón U.S.). En los aíses y zonas que tienen sistema métrico decimal el agua se mide

por kilogramos y la unidad más grande es la tonelada métrica, equivalente a un metro cúbico de agua, que se expresa como  $\text{m}^3$ .

## Tabla de conversiones

1 acre-pie	= 325 850 galones U.S., que se redondean a 326 000
1 acre-pie	= 1 233 metros cúbicos
1 acre-pie	= 43 560 pies <sup>3</sup>
1 galón imperial	= 1.20 galón U.S. o 4.54 litros
1 tonelada métrica	= 1 000 kg
	= 2 204 lb (tonelada larga)
	= 264.2 galones U.S. o 220 galones imperiales
1 tonelada U.S.	= 240 galones U.S.
1 000 000 galones U.S.	= 3.07 acre-pies

Para caudal o gasto de las corrientes y para usos hidráulicos, el agua se mide en pies cúbicos o metros cúbicos por segundo.

1 000 000 galones U.S.	
por día	= 1.55 pies <sup>3</sup> /s (0.044 $\text{m}^3/\text{s}$ )
	= 1 120 acre-pies (1 380 000 m por año)

Los costos del agua se expresan en términos de precio por 1 000 galones, por acre-pie, por pie cúbico o por metro cúbico.

10¢ por 1 000 galones	= US\$32.59 por acre-pie
	= 0.075¢ por pie <sup>3</sup>
	= 2.64 ¢ por metro cúbico

La calidad del agua se mide en términos de sólidos, de cualquier carácter, que están disueltos en el agua. Los sólidos se suelen expresar en partes por millón o en grmos por galón. 1 grano es igual a 64.8 mg (1/7 000 de libra). Por tanto, 17.1 ppm = 1 grano por galón U.S. En el sistema métrico 1 ppm = 1 g/ $\text{m}^3$  = 1 kg/litro. El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos (U.S. Public Health Service) ha establecido las normas para el agua potable. El límite recomendado es de 500 ppm de sólidos disueltos totales (véase la Tabla 2). El agua potable también debe ser bacteriológicamente segura y estar libre de olor, turbidez y radioactividad. Durante una prolongada sequía, la Dirección Estatal de Salud Pública de California permitió el uso de agua con hasta 1 500 ppm de sólidos disueltos totales, pero que no contuviera más de 600 ppm de sulfato, 600 ppm de cloruro y 150 ppm de magnesio.

En el agua para usos agrícolas, un contenido de minerales hasta de 700 ppm se considera desde excelente hasta bueno. Sin embargo, ciertos elementos son indeseables, en particular el sodio y el boro. La Dirección de Recursos Hidráulicos de California limita el agua de riego Clase 1 a:

**Tabla 1. Uso del agua en Estados Unidos, 1970'**  
 (Todas las cantidades en miles de millones de galones/día (x 0.00378 = Gm<sup>3</sup>/día))

	Captación total	Agua potable	Agua salina	Uso para consumo
<b>Riego</b>	130	130		73
Servicio público de agua	27	27		5.4
Doméstico rural	4.5	4.5		1.69 1.71 } 3.4
<b>Industrial y diversos</b>	16.2	31.8	14.4	9
Plantas termoeléctricas	163.8	124.2	39.6	0.5
<b>Total</b>	371.5	317.5	54	91.3

\*Compilado de diversas fuentes.

ción es la cantidad de agua extraída de la tierra o desde un cuerpo de aguas de superficie. El uso para la parte de esa agua que se descarga a la atmósfera en los cultivos o en los productos industriales o ali-

captación estimada de agua en los Estados Unidos en 1970 es de 372 mil millones de galones por día, incluyendo aguas salinas (véase la Tabla 1).

La captación de agua dulce es alrededor del 25% de la afluencia natural. El consumo para riego es más o menos un 64%; tiene una tolerancia de otro 15% por pérdidas en la conducción y en la distribución.

La Tabla 1 divide la captación total de agua entre la población que vive en los Estados Unidos en 1970, muestra un uso de agua

de 6 866 litros (1 814 galones) por cabeza y por día. Refleja el gran uso de agua en la industria y la agricultura porque el hombre puede sobrevivir con un mínimo de 1.946 litros (1 "quart" o cuarto de galón) por día. El consumo promedio de agua en las zonas urbanas norteamericanas es de 114 a 227 litros (30 a 60 gpcd). Pero, dado que las ciudades municipales también deben abastecer a los consumidores industriales, la producción de servicios públicos de agua, en promedio, es de 628 litros (166 gpcd), pues va de 150 a 1 500 litros (40 a 400 gpcd). Estas cifras incluyen pérdidas de 15% en distribución.

Las estrategias de adiciones a los recursos hidráulicos para el futuro se pueden lograr mediante: 1) aumento en los depósitos para almacenamiento; 2) la inyección del agua de desecho o el agua de desecho hacia los estratos subterráneos llamados capas acuíferas o freáticas; 3) cubrir los depósitos con películas para reducir la evaporación; 4) producción artificial de lluvia; 5) desalinización de aguas saladas y salubres.

Es de igual importancia mejorar la eficiencia en el uso de los recursos de agua mediante: 1) uso múltiple del agua para riego; 2) uso de enfriamiento por aire en lugar de enfriamiento por agua; 3) uso de torres de enfriamiento; 4) recuperación de las aguas de desecho, tanto industriales como municipales; 5) abatimiento de la contaminación por tratamiento en origen, la cual requiere el uso de agua dulce adicional.

## UNIDADES Y DEFINICIONES

Las cantidades de agua en los Estados Unidos se miden en galones U.S.; la unidad más grande es de 1 000 galones U.S. Para riego y la agricultura, el uso de agua se mide en acre-pies, es decir, la cantidad de agua que cubre un acre de superficie a una profundidad de 1 pie. En Canadá y países de la Comunidad Británica, el galón imperial (4.54 litros o 1.20 galón U.S.). En los países y zonas que tienen sistema métrico decimal el agua se mide

por kilogramos y la unidad más grande es la tonelada métrica, equivalente a un metro cúbico de agua, que se expresa como m<sup>3</sup>

## Tabla de conversiones

1 acre-pie	= 325 850 galones U.S., que se redondean a 326 000
1 acre-pie	= 1 233 metros cúbicos
1 acre-pie	= 43 560 pies <sup>3</sup>
1 galón imperial	= 1.20 galón U.S. o 4.54 litros
1 tonelada métrica	= 1 000 kg
	= 2 204 lb (tonelada larga)
	= 264.2 galones U.S. o 220 galones imperiales
1 tonelada U.S.	= 240 galones U.S.
1 000 000 galones U.S.	= 3.07 acre-pies

Para caudal o gasto de las corrientes y para usos hidráulicos, el agua se mide en pies cúbicos o metros cúbicos por segundo.

1 000 000 galones U.S.	
por día	= 1.55 pies <sup>3</sup> /s (0.044 m <sup>3</sup> /s)
	= 1 120 acre-pies (1 380 000 m <sup>3</sup> ) por año

Los costos del agua se expresan en términos de precio por 1 000 galones, por acre-pie, por pie cúbico o por metro cúbico.

10¢ por 1 000 galones	= US\$32.59 por acre-pie
	= 0.0754 por pie <sup>3</sup>
	= 2.64¢ por metro cúbico

La calidad del agua se mide en términos de sólidos, de cualquier carácter, que estén disueltos en el agua. Los sólidos se suelen expresar en partes por millón o en granos por galón. 1 grano es igual a 64.8 mg (1/7 000 de libra). Por tanto, 17.1 ppm = 1 grano por galón U.S. En el sistema métrico 1 ppm = 1 g/m<sup>3</sup> = 1 kg/litro. El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos (U.S. Public Health Service) ha establecido las normas para el agua potable. El límite recomendado es de 500 ppm de sólidos disueltos totales (véase la Tabla 2). El agua potable también debe ser bacteriológicamente segura y estar libre de olor, turbidez y radioactividad. Durante una prolongada sequía, la Dirección Estatal de Salud Pública de California permitió el uso de agua con hasta 1 500 ppm de sólidos disueltos totales, pero que no contuviera más de 600 ppm de sulfato, 600 ppm de cloruro y 150 ppm de magnesio.

En el agua para usos agrícolas, un contenido de minerales hasta de 700 ppm se considera desde excelente hasta bueno. Sin embargo, ciertos elementos son indeseables, en particular el sodio y el boro. La Dirección de Recursos Hidráulicos de California limita el agua de riego Clase 1 a:

	ppm máx
Sodio, como % de equivalentes totales de sodio, potasio, magnesio y calcio.....	60
Boro.....	0.5
Cloruro.....	177
Sulfato.....	960

El agua para riego Clase II puede tener hasta 2 100 ppm de sólidos disueltos totales, con límites más altos para los elementos específicos; el que esa agua sea benéfica o dañina depende de las características del suelo, clima, métodos de cultivo y tipo de cultivos.

Las aguas que contienen sales disueltas se llaman **aguas salinas**; las que tienen concentraciones bajas se llaman **salobres**. Estas aguas se definen, en ppm, como sigue:

Salina.....	Todas las concentraciones hasta	42 000
Ligeramente salobre.....		1 000 a 3 000
Salobre.....		3 000 a 10 000
Agua de mar, promedio.....		32 000 a 36 000
Salmuera.....		Más de 42 000

La dureza del agua se refiere al contenido de sales de calcio y magnesio, que pueden ser bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros o nitratos. El contenido de bicarbonatos se llama **dureza temporal**, ya que se puede eliminar al hervirla. Las sales del "agua dura" aumentan la cantidad de jabón necesaria para hacer espuma y también forman depósitos o "incrustaciones" cuando se calienta o se evapora el agua.

La dureza es una medida de las sales de calcio y magnesio, expresada como contenido equivalente de carbonato de calcio y

se expresa por lo general en ppm (o granos por galón), como sigue: agua muy blanda, menos de 15 ppm; agua blanda, 15 a 50 ppm; agua ligeramente dura, 50 a 100 ppm; agua dura, 100 a 200 ppm; agua muy dura, más de 220 ppm.

AQUA INDUSTRIAL

El uso de agua derivado de una industria varía mucho debido a las condiciones de precio, disponibilidad y tecnología de los procesos (véase Tabla 3).

Cuando está disponible un suministro suficiente de agua, de calidad adecuada a un precio bajo, las fábricas tienden a usar los volúmenes máximos. Cuando el agua es escasa y costosa en un sitio por lo demás deseable para una planta, las mejoras en los procesos y una administración cuidadosa del agua pueden reducir el consumo de agua al mínimo. El agua industrial se puede comprar al servicio público de aguas o la puede extraer la propia industria. En la Fig. 1 se ilustra la distribución de las fuentes de agua entre 3 000 plantas típicas. Las industrias pequeñas, por lo general, adquieren el agua con la red local a precios que van de 3.2 a 7.4 ¢ por m<sup>3</sup> (12 a 28 ¢ por 1 000 gal). Las industrias grandes pueden lograr su propia agua con fuentes disponibles en el sitio. Los costos van de 1 a 11 ¢ por 1 000 galones e incluye recolección, bombeo, distribución, tanques de almacenamiento y sistema de protección contra incendio (véase la Sec. 12). El tratamiento, si es necesario, puede aumentar esos costos en forma considerable. La oposición de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y otras instituciones a la contaminación térmica, ha ocasionado en forma continua el uso más extenso de sistemas de enfriamiento más complejos y las extracciones se afectarán en forma palpable en el futuro.

Tabla 2. Limitaciones en los constituyentes del agua potable

Constituyente	Niveles máximos o inorgánicos		Otros niveles máximos	
		mg por litro		Unidades
Arsénico	0.05		Orgánicos clorados	mg por litro
Bario	1.0		Endrin	0.002
Cadmio	0.010		Lindano	0.004
Cromo	0.05		Metoxiclor	0.1
Flúor*			Toxafeno	0.005
Plomo	0.05		2, 4-D	0.1
Mercurio	0.002		2, 4, 5-TP Silvex	0.01
Nitratos (como N)	10		Radionucleicos	pCi por litro:
Selenio	0.01		Tritio	20,000
Plata	0.05		Estroncio 90	8
Turbidez (promedio mensual)	1 FTU		Otros (véase EPA 40CFR141)	

\*Según disposiciones del U.S. Public Health Service.  
Fuente: Reglamentos Temporales de EPA, Interim Drinking Water Regulations

Tabla 3. Variaciones en el consumo de agua industrial\*

Producto o usuario y unidad	Consumo en galones x 3.78 = litros		
	Máximo	Típico	Mínimo
Plantas termoeléctricas por kW <sup>h</sup>	170	80	1.32
Refinación de petróleo, por galón de crudo	44.5	18.3	1.73
Acero, por tonelada terminada	65 000	40 000	1 400
Jabones, aceites comestibles, por libra	7.5		1.57
Recipientes de vidrio, por tonelada	667		118
Automóviles, por unidad	16 000		12 (Hill)
Papel de periódico, por tonelada	26 000		6 000
Empacadoras, por tonelada	2 500		1 200

\*De datos de Wolman, AAAS

## **APENDICE D**

### **TECNICAS DE ANALISIS DE AGUAS INDUSTRIALES**



## TECNICAS DE ANALISIS DE AGUAS INDUSTRIALES

### ALCALINIDAD

- 1.- Tomar 10ml. de muestra (cualquier agua).
- 2.- Agregar una o dos gotas reactivo N° 1 (indicador de fenol-ftaleína).

Si hay ausencia de coloración anotar:

**ALCALINIDAD P = 0**

Si la muestra se torna color rosado quiere decir que hay **ALCALINIDAD P** y proceder al siguiente paso.

- 3.- Valorar o titular con reactivo N° 3 (solución de ácido sulfúrico) hasta decoloración.

Contabilizar el consumo y multiplicar por el valor de la gota o del consumo en mililitros, y anotar en el casillero de **ALCALINIDAD P**.

- 4.- Agregar dos o tres gotas de reactivo N° 2 (indicador de anaranjado de metilo). La muestra se tomará un color amarillento.

- 5.- Valorar o titular con reactivo N° 3 (solución de ácido sulfúrico) . Hasta cambio a coloración anaranjado.

1 gota = 5 p.p.m                                  1ml. = 100 p.p.m

Sumar este valor al del alcalinidad P y anotar en el casillero de alcalinidad T (total).

### DUREZA TOTAL

- 1.- Tomar 10ml. de muestra (cualquier agua).
- 2.- Agregar de 3 a 5 gotas de reactivo N° 1 (alcalinizante).
- 3.- Agregar un palillo de reactivo N°2 (negro de eriocromo polvo).

Si la coloración da azul anotar **DUREZA= 0**.

Si la coloración da rosado indica que hay dureza y procedemos al siguiente paso.

- 4.- Valorar o titular gota a gota o milimetro a milimetro con reactivo N°3 (solución de EDTA).

Ejemplo:

Una gota = 5 p.p.m

1ml. = 100 p.p.m





## TECNICAS DE ANALISIS DE AGUAS INDUSTRIALES

### ALCALINIDAD

- 1.- Tomar 10 ml. de muestra (cualquier agua).
- 2.- Agregar una o dos gotas reactivo N° 1 (indicador de fenol-ftaleína).

Si hay ausencia de coloración anotar:

**ALCALINIDAD P = 0**

Si la muestra se torna color rosado quiere decir que hay **ALCALINIDAD P** y proceder al siguiente paso.

- 3.- Valorar o titular con reactivo N° 3 (solución de ácido sulfúrico) hasta decoloración.

Contabilizar el consumo y multiplicar por el valor de la gota o del consumo en mililitros, y anotar en el casillero de **ALCALINIDAD P**.

- 4.- Agregar dos o tres gotas de reactivo N° 2 (indicador de anaranjado de metilo). La muestra se tornará un color amarillento.

- 5.- Valorar o titular con reactivo N° 3 (solución de ácido sulfúrico) . Hasta cambio a coloración anaranjado.

1 gota = 5 p.p.m

1ml. = 100 p.p.m

Sumar este valor al de la alcalinidad P y anotar en el casillero de alcalinidad T (total).

### DUREZA TOTAL

- 1.- Tomar 10ml. de muestra (cualquier agua).
- 2.- Agregar de 3 a 5 gotas de reactivo N° 1 (alcalinizante).
- 3.- Agregar un palillo de reactivo N°2 (negro de eriocromo polvo).

Si la coloración da azul anotar **DUREZA= 0**.

Si la coloración da rosado indica que hay dureza y procedemos al siguiente paso.

- 4.- Valorar o titular gota a gota o milimetro a milimetro con reactivo N°3 (solución de EDTA).

Ejemplo:

Una gota = 5 p.p.m

1ml. = 100 p.p.m



### REDUCTORES OSULFITOS

- 1.- Tomar 10 mililitros de muestra.
- 2.- Agregar una o dos gotas de reactivo N°1 (acidificante), verificar que la muestra tenga PH 2 a 3.
- 3.- Agregar 2 a 3 gotas de reactivo N°2 (indicador).
- 4.- Valorar o titular con reactivo N°3 (solución de yoduro yodato) hasta coloración azul obscuro.

1 gota = 3 p.p.m

1 ml. = 60 p.p.m

### CLORUROS MOHR

- 1.- Tomar 10 mililitros de muestra.
- 2.- Agregar una o dos gotas de reactivo N°1 de alcalinidad (indicador de fenol-taleína).

Si la muestra da una coloración rosado proceder a decolorar la misma con el reactivo N°3 de alcalinidad y proceder al siguiente paso.

Si la muestra no colorea, proceder al siguiente paso.

### SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS = S.T.D.

Este análisis se lo hace con un equipo de medición llamado conductímetro, cuya escala es de 0 a 5 y trae tres rangos, rango 10 para medir .

Rango 0 para medir aguas hasta 50 p.p.m.

Rango 100 para medir aguas hasta 500 p.p.m.

Rango 1000 para medir aguas hasta 5000 p.p.m.

Si el agua sale mayor de 5.000 p.p.m. es necesario duplicar el rango o diluir la muestra con agua destilada.



## POSFATOS

- 1.- Tomar 10 mililitros de muestra.
- 2.- Agregar de 20 a 40 gotas o de uno a 2 cm<sup>3</sup> o mililitros de reactivo ( indicador único de fosfato ), esperar dos minutos para que desarrolle la coloración e introducir en la probeta colorimétrica y comparar con la escala, la lectura resultante multiplicar por 0.58 y anotar en el casillero de fosfatos.

## HIERRO T

### Procedimiento MERCK

- 1.- Tomar 10 mililitros de muestra.
  - 2.- Agregar 6 gotas de reactivo N°1 y agitar.
  - 3.- Agregar 6 gotas de reactivo N°2 y agitar.
  - 4.- Agregar 6 gotas de reactivo N°3 y agitar.
- Esperar dos minutos para que se desarrolle la coloración y leer directamente en la probeta colorimétrica.

## PH

Para determinar PH se dispone de una caja indicadora de PH universal o con un equipo llamado P achímetro.

## CALCULOS DE ALCALINIDAD

Hidróxidos =  $2P - T$

Carbonatos =  $2(T - P)$

Bicarbonatos = 0

Cuando la alcalinidad P es mayor que el 50% de la total.

Hidróxidos = 0

Carbonatos =  $2P$

Bicarbonatos =  $T - 2P$

Cuando el PH es menor de 8.3

## **APENDICE E**

### **CLASIFICACION DE LOS CONDENSADORES**

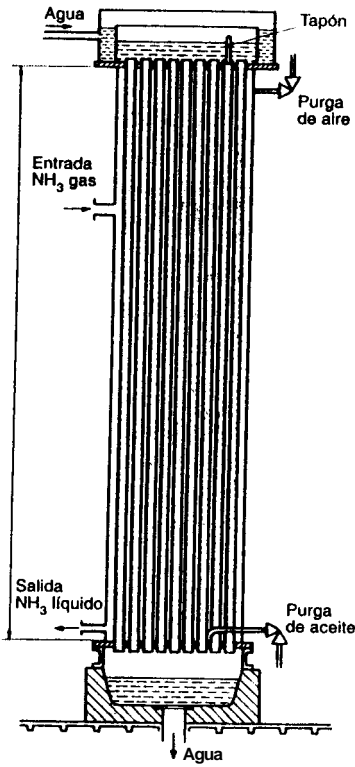


Figura 13. Condensador multitubular vertical.

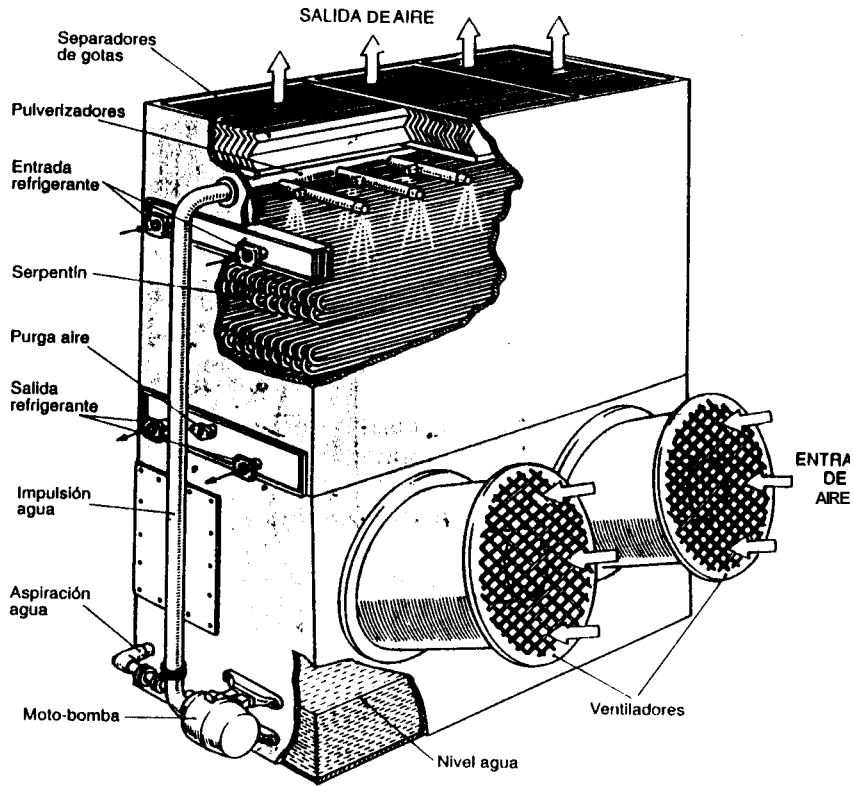


Figura 14. Condensador evaporativo.

TABLA 1. Clasificación de los condensadores.

Condensadores	de calor sensible	de aire	circulación de aire natural circulación por aire forzado
		de agua	de inmersión de doble tubo contracorriente multitubulares horizontales
	de calor latente	atmosféricos	multitubulares verticales de lluvia de lluvia a contracorriente
		de evaporación forzada	condensadores evaporativos

## **APENDICE F**

**DIAGRAMA ESQUEMATICO P VS H DE UN REFRIGERANTE**

Más práctico, no obstante, resulta la utilización de los diagramas o gráficos donde se representan las variaciones del fluido frigorífico y sobre los cuales puede dibujarse el ciclo correspondiente, identificando los diferentes puntos con los aparatos y cambios de estado que los producen.

De esta forma quedan reflejados de una manera más visual y es más fácil la identificación del proceso en su totalidad.

En los diagramas y tablas contenidos en este capítulo, podrá encontrar los datos de los refrigerantes más frecuentemente utilizados.

De todos los datos que contienen se resaltan los más significativos comúnmente necesarios.

En la figura 13 se representa su localización de forma esquemática.

En el próximo capítulo se volverá a insistir sobre esta cuestión de manera que los empiece a utilizar en la determinación de los ciclos con ejemplos prácticos.

Hay que tener la precaución de observar las unidades en que se relacionan las distintas magnitudes, de modo que al utilizarlas sean homogéneas con las que aparecerán en las fórmulas en los distintos ejemplos de capítulos posteriores.

Según la procedencia de los datos, tanto en gráficos como en tablas, para cada refrigerante nos podemos encontrar con unidades distintas.

- VALORES PRINCIPALES
- Presión
  - Temperatura
  - Entalpía
  - Volumen específico
  - Línea isoentrópica

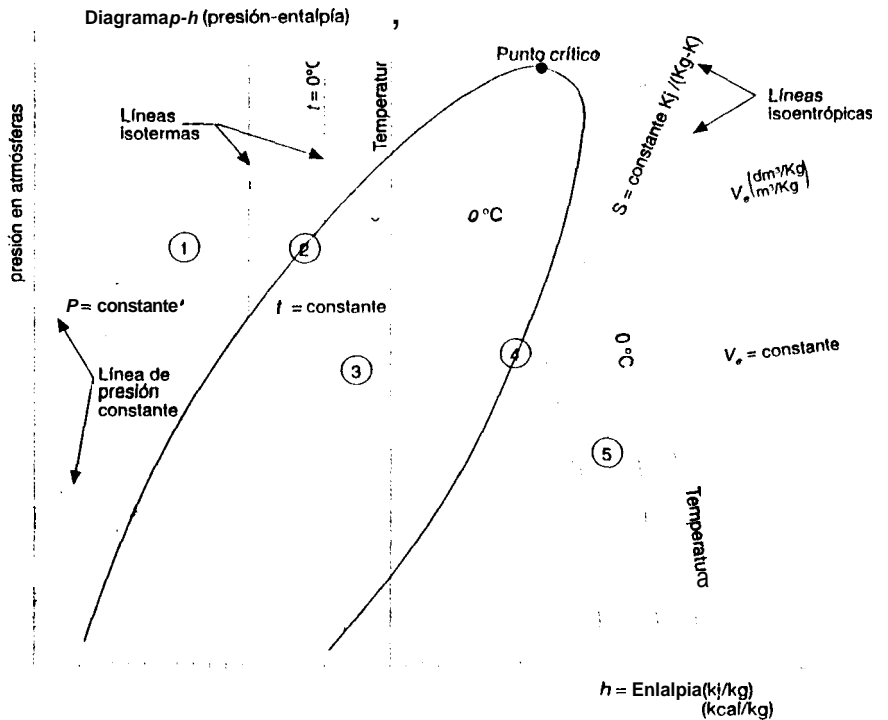


Figura 13. Diagrama esquemático p-h (presión-entalpía).

DIAGRAMA P - H del NH<sub>3</sub>

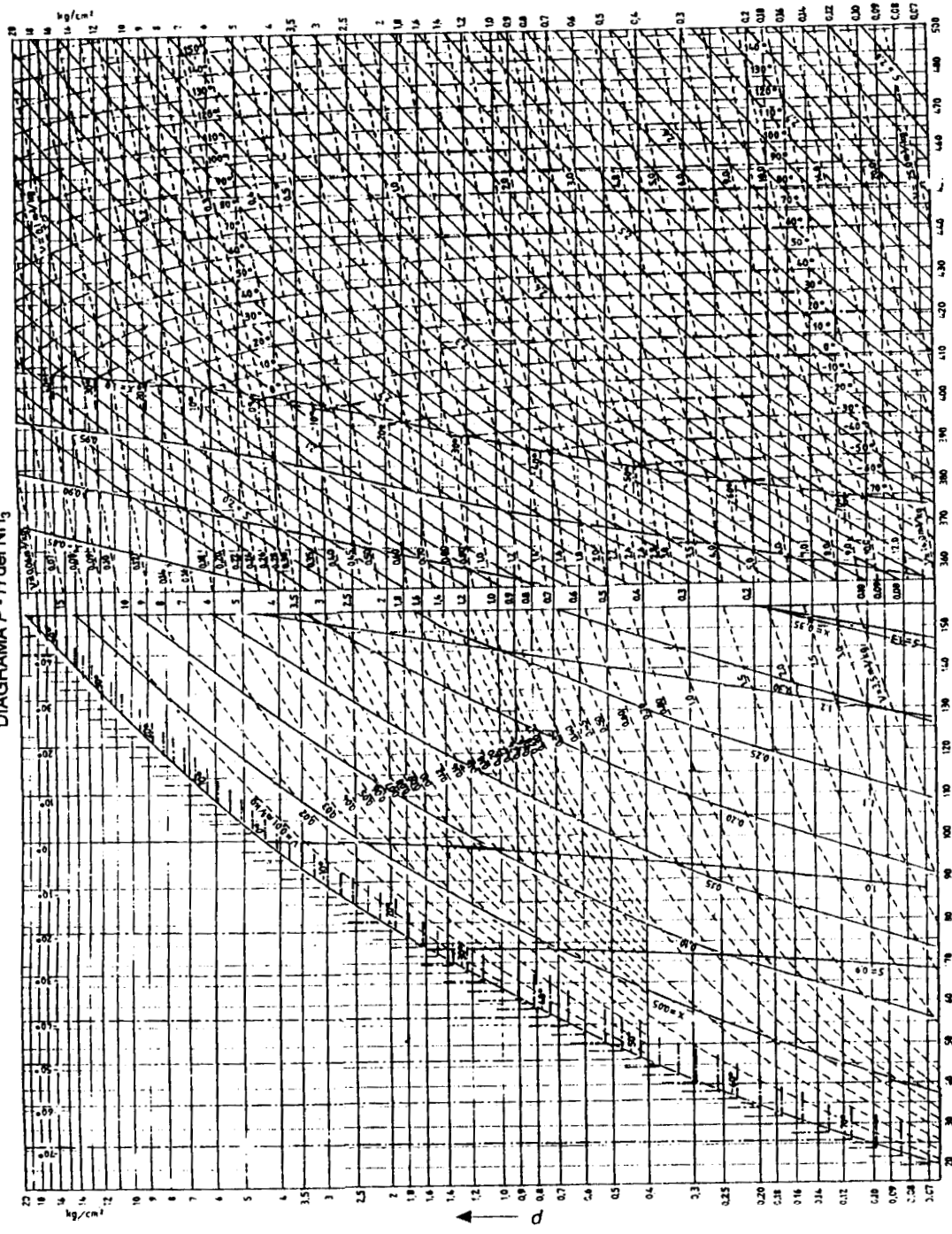


Figura 22. Diagrama p-h del NH<sub>3</sub> (amoníaco).



## **APENDICE G**

**DIAGRAMA P VS H DEL CICLO DE REFRIGERACION ANTES DE LA  
REPARACION CON SU RESPECTIVA HOJA DE CALCULO**

### Características generales

Capacidad	2496 marq/día
Refrigerante primario	NH3
Refrigerante secundario	Cl Na
Capacidad instalada Compresion	900 Hp
Capacidad instalada Condensacion	770 Ton Ref
# Líneas de prod. ( tanques salm. )	3
# Hileras ( filas )	4
# Chasis por hilera	26
# Chasis en cada tanque	104
# Moldes por chasis	8
Cont. aprox de agua-hielo/molde	72 Kg

### Propiedades del agua

Cp antes de solidificación	1 Kcal/Kg°C
Cp después de solidificación	0,8 Kcal/Kg°C
Calor latente del agua	80 Kcal/Kg°C

### Propiedades de la salmuera

Peso específico a 15 °C (densidad)	1,16 ton/mcub
Peso Sal en Peso Solución	22,42 %

### Características del molde

Cp hierro (Incropera A5 AISI 347)	0,1147 Kcal/Kg°C
Densidad del hierro	7978 Kg/mcub
Peso de cada molde	18 Kg
Volumen total bruto por molde	20,58 galones
Altura de chasis	31,7500 mm
Espesor de chasis	3,1750 mm
Largo de cada chasis	5000 mm
Masa de cada chasis	4,0212 Kg

### Dimensiones tanque de Salm.

Ancho de cada compartimiento	2000 mm
Ancho de corredor ( túnel )	1200 mm
Ancho total del tanque	9200 mm
Espacio por compartimiento	500 mm
Separación de cada pared	200 mm
Largo total del tanque	13400 mm
Altura de pared del tanque	1500 mm
Altura de salmuera	1200 mm
Sección libre superior	300 mm
Sección libre inferior	120 mm
Ancho de cada molde	400 mm
Largo de cada molde	195 mm
Altura del molde	1180 mm
Altura sumergida del molde	1080 mm
Vol. total de C/tanque salmuera	147,94 mcub
Vol. ocup. por moldes C/Tanque	70,09 mcub
Vol. ocup. por salmuera C/Tanque	77,85 mcub
Peso de salmuera en C/Tanque	90,30 ton

### Carga frigorífica

Temperatura ambiente	25 °C
Temperatura de enfriamiento	0 °C
Temperatura de subenfriamiento	-10 °C
Tiempo	24 horas
Masa de agua de los tres tanques	179712 Kg
Temperatura de agua de cisterna	24 °C
Calor de enfriamiento	4492800 Kcal'
Calor de congelación	14376960 Kcal
Calor de subenfriamiento	1437696 Kcal
Calor total al agua	20307456 Kcal
Enfriamiento de moldes	185319 Kcal'
# de agitadores	3
Potencia de cada motor/agitador	<b>5,5 Hp</b>
Agitadores	16.5 Hp
Pérdidas por los agitadores	253910 Kcal'
Area de paredes laterales	67,8 mcuad
Area de fondo	123,28 mcuad
Area de cubierta	123,28 mcuad
Pérdidas por paredes	10 %
Perdidas incalculables	5 %
Carga total	23858688 Kcal'
Carga total por hora	994112 Kcallh

#### Operación anterior del NH3

	P [psi]	P [Bar]	T [°F]	T [°C]	Entalpia
1	25	<b>1,72</b>	<b>-7,6</b>	-22	395
2	190	13,10	255,2	124	471
2'	190	13,10	95	<b>35</b>	408
3' x = 25 %	<b>190</b>	13,10	95	35	206
4' x = 25 %	25	<b>1,72</b>	-7,6	-22	<b>208</b>

#### Operación actual del NH3

	P [psi]	P [Bar]	T [°F]	T [°C]	Entalpia
1	20	1,38	-16,6	<b>-27</b>	391
2	165	11,38	258,8	126	469
2'	165	11,38	86	30	406
3	165	11,38	86	30	134
4	20	1,38	-16,6	-27	134

Vol. Específ. en salida de evaporador

Ve 0,7 mcub/kg

Potencia frigorífica

Nf (100%)= 994111,994 Kcal/hora

#### Cálculo Frigorífico:

Calor del evaporador	qe=	h1-h4=	189 Kcal/Kg
Caudal másico	m=	Nf/qe=	5259,85 Kg/hora
Prod. Frigorífica Volum.	qv=	qe/Ve=	270,00 Kcallmcub
Caudal volumétrico	V=	Nf/qv=	3681,90 mcublhora
Trabajo de compresor	qw=	h2-h1	76 Kcal/Kg
Potencia compresor	Pc=	m qw=	399748,74 Kcal/hora
COP frigorífico	COP=	qe/qw=	2,49
Pot. Frig. Específica	Kf=	860 COP	2138,68 Kcal/Kw-h
Potencia Indicada	Ni=	Nf/Kf=	464,82 Kw
Pot. Frig. Condensador	Qc=	m(h2-h3)=	1393860,73 Kcal/hora

Potencia del Compresor =

623,83 Hp

Potencia Frigorífica Condensador =

460,93 Ton Ref

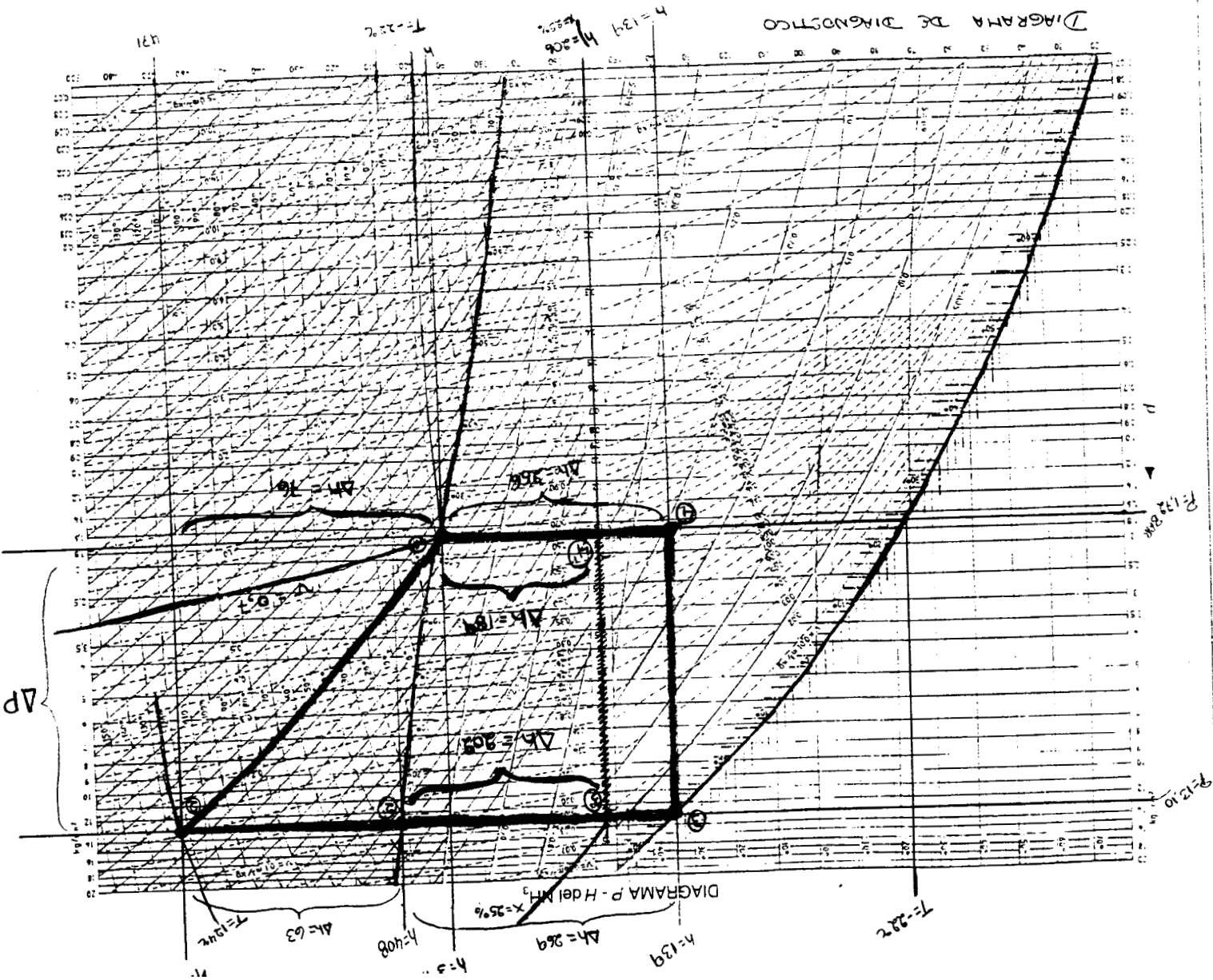


Figura 22. Diagrama p-h del NH<sub>3</sub> (amoniaco).

## **APENDICE H**

**DIAGRAMA P VS H DEL CICLO DE REFRIGERACION DESPUES DE LA  
REPARACION CON SU RESPECTIVA HOJA DE CALCULO**

Carga frigorifica	
Temperatura ambiente	25 °C
Temperatura de enfriamiento	0 °C
Temperatura de subenfriamiento	-10 °C
Tiempo	24 horas
Masa de agua de los tres tanques	179712 Kg
Temperatura de agua de cisterna	24 °C
Calor de enfriamiento	4492800 Kcal
Calor de congelación	<b>14376960</b> Kcal
Calor de subenfriamiento	1437696 Kcal
Calor total al agua	20307456 Kcal
Enfriamiento de moldes	185319 Kcal
# de agitadores	3
Potencia de cada motorlagitador	<b>5,5</b> Hp
Agitadores	16,5 Hp
Pdrdidas por los agitadores	253910 Kcal
Area de paredes laterales	67,8 mcuad
Area de fondo	123,28 mcuad
Area de cubierta	123,28 mcuad
Pdrdidas por paredes	10 %
Pdrdidas incalculables	5 %
Carga total	23858688 Kcal
Carga total por hora	994112 Kcallh

**Operación actual del NH3**

	P [psi]	P [Bar]	T [°F]	T [°C]	Entalpia
1	20	1,38	-16,6	-27	391
2	165	11,38	258,8	126	469
<b>2'</b>	165	11,38	86	30	406
3	165	11,38	<b>86</b>	30	134
4	20	1.38	-16,6	-27	134

**Operación anterior del NH3**

	P [psi]	P [Bar]	T [°F]	T [°C]	Entalpia
1	25	1,72	-7,6	-22	395
2	190	13,1	255,2	124	471
<b>2'</b>	190	13,1	95	35	408
3' x = 25 %	190	13,1	95	35	206
4' x = 25 %	25	1.72	-7.6	-22	206

Vol. Especific. en salida de evaporador

Ve 0,9 mcub/kg

Potencia frigorifica

Nf (100%)= 994111,994 Kcal/hora

**Cálculo Frigorifico:**

Calor del evaporador	qe=	h1-h4=	257 Kcal/Kg
Caudal másico	m=	Nf/qe=	3868,14 Kglhora
Prod. Frigorifica Volum.	qv=	qe/Ve=	285,56 Kcal/mcub
Caudal volumetrico	V=	Nf/qv=	3481,33 mcub/hora
Trabajo de compresor	qw=	h2-h1	78 Kcal/Kg
Potencia compresor	Pc=	m qw=	301714,92 Kcallhora
COP frigorifico	COP=	qe/qw=	3,29
Pot. Frig. Especifica	Kf=	860 COP	2833,59 Kcal/Kw-h
Potencia Indicada	Ni=	Nf/Kf=	350,83 Kw
Pot. Frig. Condensador	Qc=	m(h2-h3)=	1295826,92 Kcallhora

Potencia del Compresor = 470,84 Hp

Potencia Frigorifica Condensador = 428,51 Ton Ref

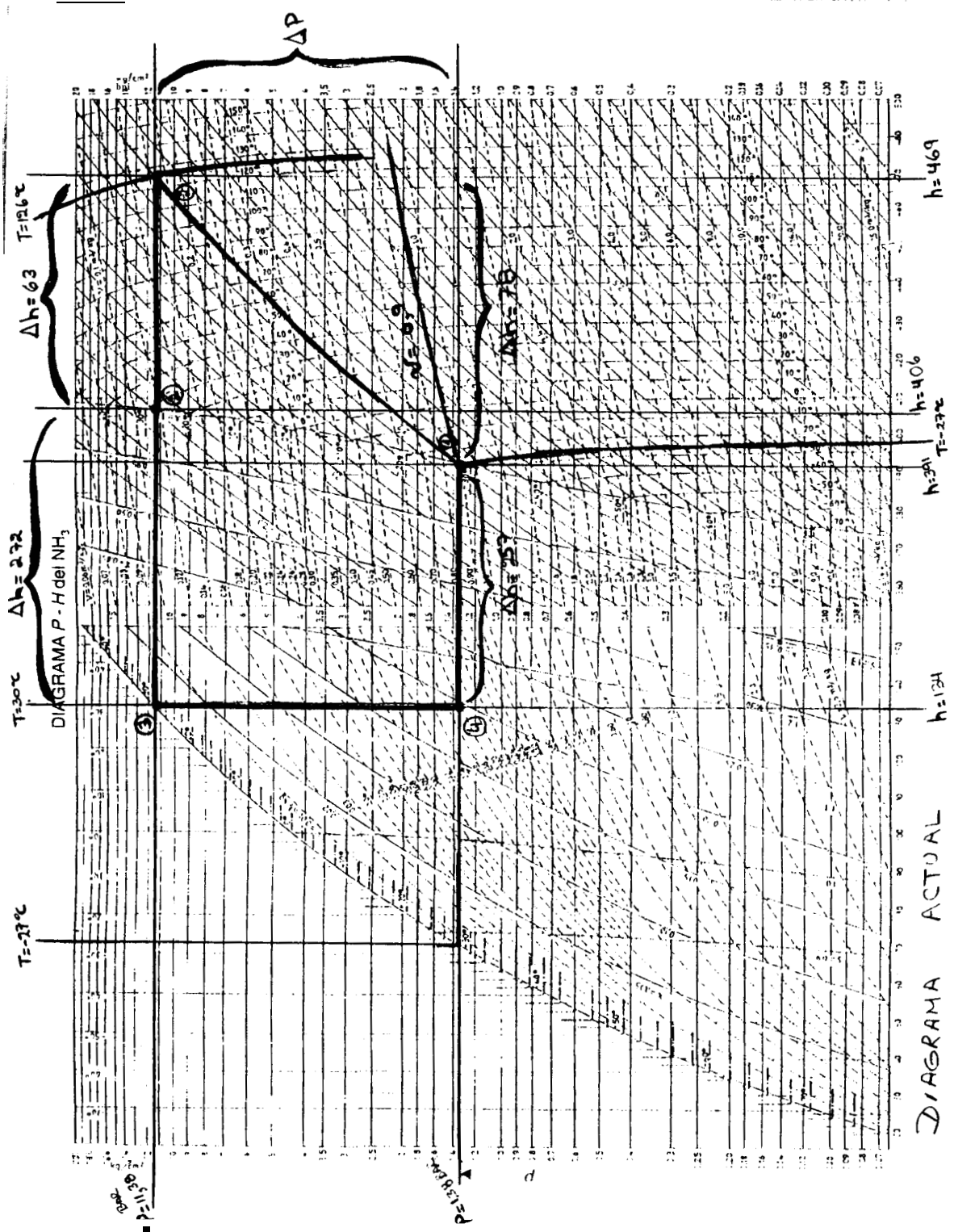


Figura 22 Diagrama p-h del  $\text{NH}_3$

## **BIBLIOGRAFIA**

1. BOLAÑOS NESTOR, "Cambio de Refrigerante R-12 al 134a en el Sistema de Aire Acondicionado del Laboratorio de Conversion de Energía"( Tesis, Facultad de Ingenieria Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1999).
2. COLLAZO JAVIER, Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos Inglés-Español, McGraw-Hill, México, 1994.
3. CRANE, KENNETH MCNAUGHTON, Válvulas, Compresores y Bombas, McGraw-Hill, México, 1995.
4. FRANK INCROPERA, DAVID DE WITT, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Third Edition.
5. RAMÍREZ JUAN ANTONIO. Enciclopedia de la climatización, tomo de refrigeración, Grupo Editorial Ceac S.A., España, 1994.



6. SOLIS SOLIS ANGEL, Técnicas industriales del Tratamiento de agua, Folleto, 1995.
  
7. THEODORE BAUMEISTER, EUGENE AVALLONE, THEODORE BAUMASTER III, Marks Manual del Ingeniero Mecanico, Octava Edición. Volumen I.
  
8. VARGAS ZUÑIGA ANGEL, Mantenimiento de Calderas Industriales y Marinas, Editorial Series VZ, 1990
  
9. VARGAS ZUÑIGA ANGEL, Curso de refrigeración, Editorial Series VZ, 1986
  
10. VILTER MANUFACTURING CORPORATION, Manual de Instrucciones, Catálogos Vilter, Milwaukee-Wisconsin, 1986.
  
11. VILTER MANUFACTURING CORPORATION, Manual de Instrucciones, Catálogos Vilter, Milwaukee-Wisconsin, 1994.