



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL CONDENSADOR DE UNA PLANTA
TERMOELÉCTRICA QUE UTILIZA CICLOS COMBINADOS RAUKINE-
BRAYTAN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

GUTIÉRREZ ALBAVERA, ÁNGEL

ASESOR: FLORES RUÍZ, ANTONIO CARLOS

Ciudad Universitaria, México, Distrito Federal,

1980



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Al Pasante señor ANGEL GUTIERREZ ALBAVERA,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Antonio Carlos Flores Rulz, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.

"SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL CONDENSADOR DE UNA PLANTA TERMOELECTRICA QUE UTILIZA CICLOS COMBINADOS RANKINE-BRAYTON"

Introducción

- 1 Descripción de la planta
 - 1.1 Ciclos Rankine-Brayton aplicados
 - 1.2 Ventajas al combinar los ciclos
 - 1.3 Equipo utilizado en la planta
2. Sistema de enfriamiento del condensador
 - 2.1 Diagrama del sistema
 - 2.2 Cálculo de tuberías
 - 2.3 Cálculo de bombas
 - 2.4 Selección de bombas
- 3 Equipo enfriador
 - 3.1 Torre de enfriamiento
 - 3.2 Torre de enfriamiento y enfriador atmosférico
 - 3.3 Evaluación de alternativas
- 4 Instalación y operación del sistema de enfriamiento

1 ej
69

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., a 4 de febrero de 1977

EL DIRECTOR


ING. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON

I N D I C E

INTRODUCCION:

CAPITULO I.- DESCRIPCION DE LA PLANTA	5
1.1 Ciclos Rankine y Brayton Aplicados	6
1.2 Ventajas de combinar los ciclos	8
1.3 Determinación de las eficiencias	9
1.4 Equipo Utilizado en la Planta	15
CAPITULO II.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL CONDENSADOR	18
2.1 Generalidades	19
2.2 Diagramas de Flujo	20
2.3 Cálculo de las Tuberías	20
2.4 Cálculo de las Bombas	26
2.5 Selección de las Bombas	27
2.5.1 Tabla de evaluación	31
CAPITULO III.- EQUIPO ENFRIADOR	32
3.1 Torre de Enfriamiento	33
3.2 Parámetros de la Torre de Enfriamiento	35
3.3 Cálculo del Agua de Repuesto	36
3.4 Balance Térmico de la Torre de Enfriamiento	37
3.5 Enfriador Atmosférico	41
3.6 Evaluación de las Alternativas	46
CAPITULO IV.- INSTALACION Y OPERACION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	48
4.1 Diseño del Cárcamo de Bombeo	49
4.1.2 Recomendaciones de Instalación	51
4.2.1 Operación del Sistema	55
4.2.2 Recomendaciones de Mantenimiento	57
CAPITULO V.- CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFIA	63
SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES	64
CARTA PSICROMETRICA	66
PROPIEDADES PSICROMETRICAS DEL AIRE	67
TABLA No. 2 VALORES DE F PARA TUBERIA DE ACERO	71

I N T R O D U C C I O N .

INTRODUCCION.

México es un país en pleno desarrollo que requiere un incremento continuo en la producción de la energía eléctrica, lo cual trae como consecuencia, la necesidad de instalar más y mejores plantas de generación.

Debido a esa necesidad y a que cada vez se requiere menor tiempo de instalación y puesta en marcha de las plantas, la Ingeniería Electro-Mecánica ha desarrollado diseños más eficientes.

Se debe mencionar que las plantas de generación de Energía Eléctrica, en nuestro país son Hidráulicas, Térmicas, Geotérmicas, y recientemente se iniciaron las nucleares.

Dentro de la clase de plantas térmicas hay dos tipos fundamentales, las que utilizan el vapor de agua y las que usan los gases de la combustión como medios de trabajo; sin embargo, recientemente se instalaron en México plantas de ciclos combinados, es decir, plantas que desarrollan simultáneamente los ciclos de vapor y gas. El equipo correspondiente está construido en unida-

des compactas, que requieren corto tiempo de instalación y que ocupan poco espacio. Este tipo de plantas se diseñaron para operar con curvas de demanda intermedia y para absorber picos de carga.

El objetivo fundamental de éste trabajo es estudiar el sistema de enfriamiento al condensador de la turbina de vapor de la planta de ciclos combinados. Para éste fin se ha dividido en cinco capítulos, el primero de ellos dá una descripción general de la planta, situando el sistema, objeto de estudio, y mediante la determinación de eficiencias justificar la combinación de los ciclos Rankine y Brayton.

El capítulo dos trata del cálculo de las bombas y tuberías del sistema y mediante la evaluación técnica y económica se selecciona el equipo de bombeo.

En el capítulo tres se estudia el equipo enfriador y se plantean las alternativas de instalar una torre de enfriamiento ó una torre de enfriamiento y un enfriador atmosférico, haciendo una evaluación se selecciona la más conveniente.

El capítulo cuatro estudia el diseño del cárcamo de bombeo, la instalación y prueba de equipos y la

operación del sistema.

En el capítulo cinco se hacen las conclusiones pertinentes de los temas tratados en los capítulos - anteriores.

CAPITULO 1. DESCRIPCION GENERAL DE LA PLANTA.

DESCRIPCION GENERAL DE LA PLANTA.

1.1. Ciclos Rankine y Brayton combinados.

Como auxiliar en la explicación nos referiremos a la figura siguiente:

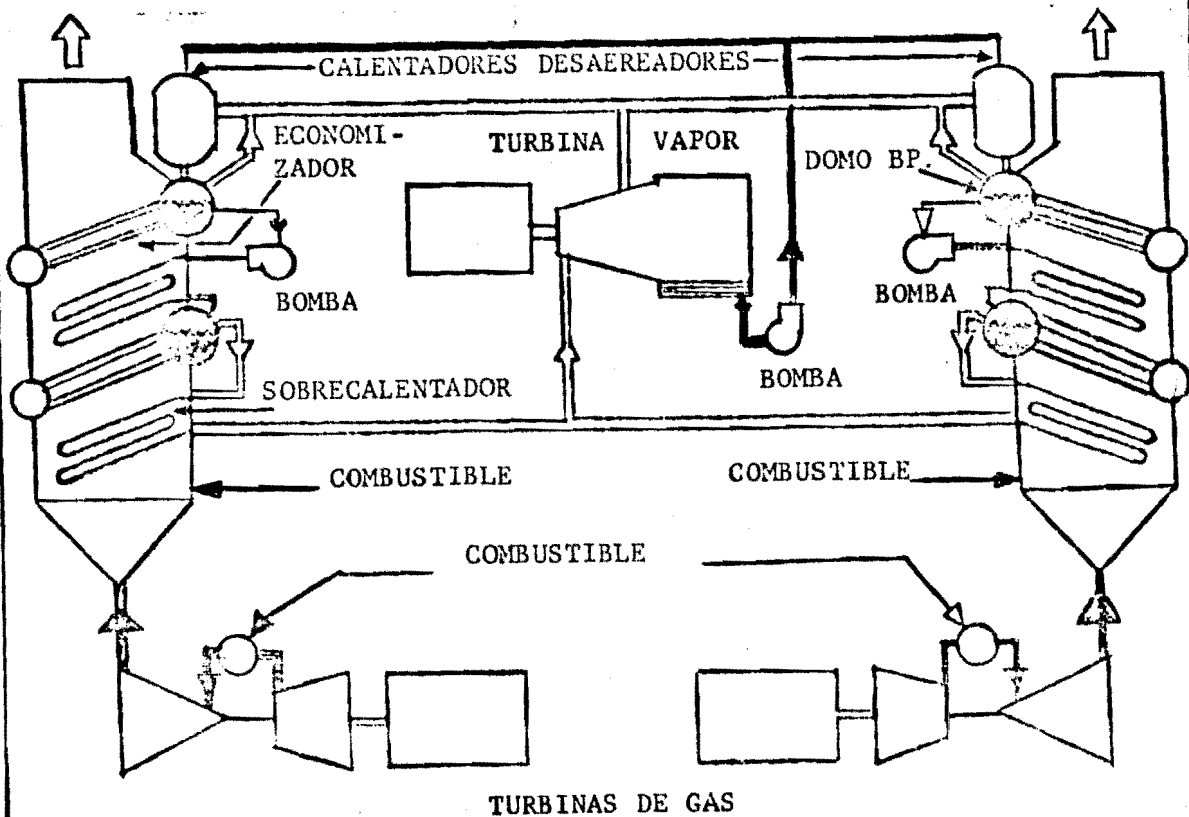


FIGURA 1

El aire atmosférico que es introducido en cada turbina de gas se comprime a 10.2 bar, se mezcla con combustible y se inflama. La turbina de gas cumple --

con dos objetivos: 1.-Produce energía eléctrica por medio del generador que tiene acoplado;2.-Proporciona gases calientes a las calderas recuperadoras de calor para la producción del vapor.

El punto de unión entre los ciclos lo constituyen precisamente las calderas recuperadoras de calor.

Antes de introducir los gases de la combustión provenientes de las turbinas, se les inyectan cantidades adicionales de aire y combustible, incrementándose la energía del torrente, el cual en última instancia producirá el vapor.

El vapor generado es recolectado por un cabezal y conducido a la turbina de vapor el cual al expanderse libera su energía. La turbina de vapor cumple con dos objetivos: 1.-Produce energía eléctrica por medio del generador que tiene acoplado; 2.- Calienta el agua de alimentación a la caldera por medio del vapor de extracción.

El vapor de escape de la turbina se conduce al condensador, el cual al cambiar de fase, produce el agua de alimentación; esta agua de condensados es -

llevada a los calentadores desaeradores los que -
reciben calor de dos fuentes, del domo de baja pre-
sión y de la extracción de la turbina; a continuación
el agua es calentada a 125°C antes de entrar en los
economizadores de alta presión de cada caldera.

El calor transferido en los economizadores in-
crementan la temperatura del agua de alimentación -
hasta alcanzar la correspondiente a la saturación.
Dentro de las secciones evaporadoras del economiza-
dor y sobrecalentador los gases calientes logran las
condiciones deseadas del vapor para accionar las --
turbinas.

1.2. Ventajas de combinar los ciclos.

La ventaja principal de combinar los ciclos de
vapor y de gas estriba en el mejor aprovechamiento
de la energía suministrada en forma de combustible,
lo cual se logra, como se dijo antes inyectando más
combustible y aire a los gases de escape de las tur-
binas de gas para producir el vapor necesario en la
turbina de vapor. Al aprovechar más la energía la efi-
ciencia global de los dos ciclos se incrementa .

1.3. Determinación de las eficiencias.

Para el cálculo de la eficiencia de los ciclos Rankine-Brayton combinados, se efectúa el balance de energía, es decir, aplicaremos la primera ley de la Termodinámica a los ciclos representados en las figuras 2, 3 y 4 siguientes:

Debido a que ni la mezcla aire combustible, ni los gases de la combustión, ni el vapor de agua son gases ideales se hacen los supuestos que siguen:

1.- El medio de trabajo no cambia de composición química y permanece dentro del sistema.

2.- La adición de calor a volumen constante se -- hace en forma equivalente a la combustión de la mezcla aire combustible.

3.- Los procesos de compresión y expansión son -- isoentrópicos.

4.- Los calores específicos permanecen constantes

5.- Dado que la relación aire combustible es alta los productos de la combustión se tratan como aire -- solamente.

Ciclo Brayton.

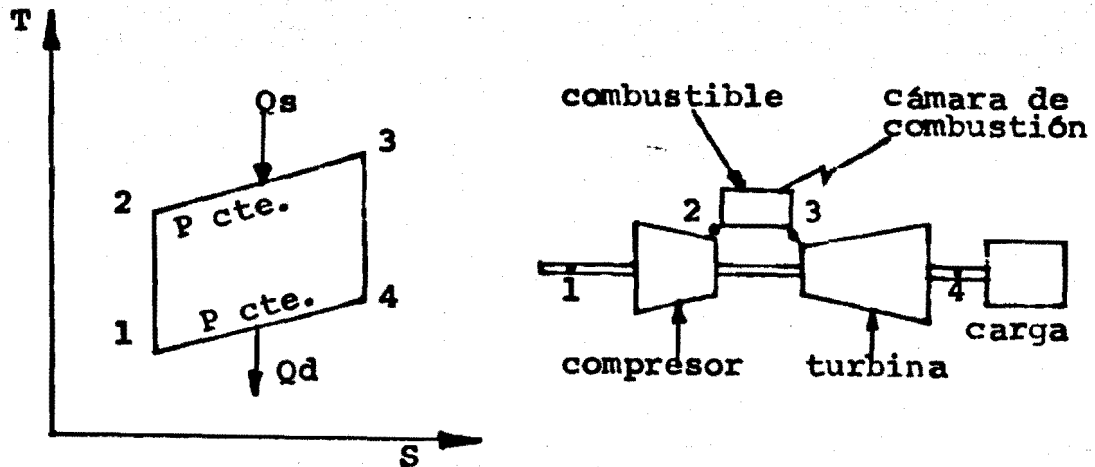


Figura 2.

De acuerdo con la figura 2, tenemos:

1-2 Compresión isoentrópica.

2-3 Adición de energía a presión constante.

3-4 Expansión isoentrópica.

4-1 Cesión de energía a presión constante.

El ciclo definido es reversible y su eficiencia

es:
$$E = \frac{\text{Calor suministrado} - \text{calor cedido}}{\text{Calor suministrado}}$$

$$E = \frac{Q_s - Q_c}{Q_s}$$

Pero, $Q_s = m C_p (T_3 - T_2)$

$$Q_c = m C_p (T_4 - T_1)$$

Por lo tanto:

$$E = \frac{m C_p (T_3 - T_2) - m C_p (T_4 - T_1)}{m C_p (T_3 - T_2)}$$

$$E = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$E = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

Pero,

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3} \right)^{k-1}$$

:

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

Substituyendo:

$$E = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad \dots (1)$$

Ciclo Rankine.

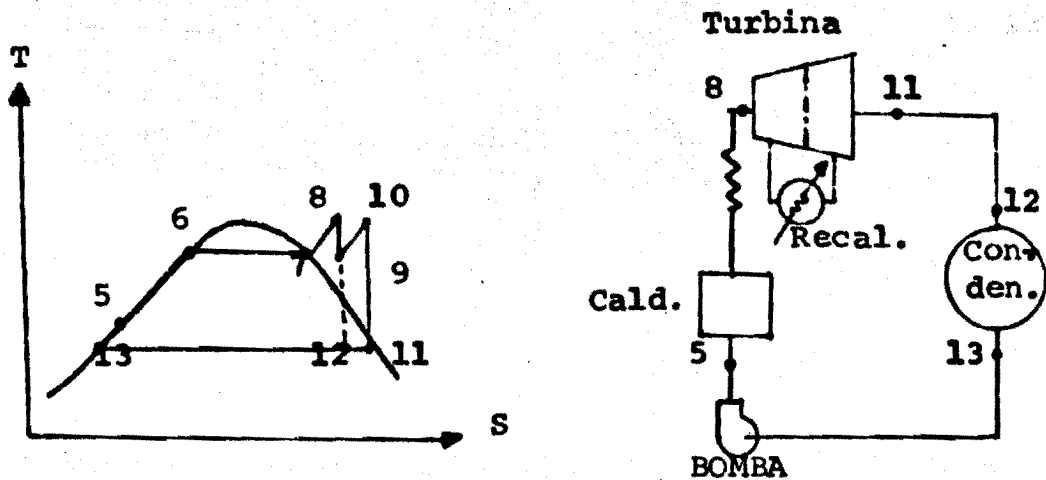


Figura 3.

En términos de entalpías, se tiene:

$$E_r = \frac{(h_8 - h_9) + (h_{10} - h_{11})}{(h_8 - h_{13}) + (h_{10} - h_9)} \dots (2)$$

Determinación de las entalpías.

Los puntos de la figura 3, del 1 al 10, están completamente definidos y las entalpías de ellos se obtienen de las tablas de vapor⁽¹⁾.

Las entalpías de los puntos restantes se determinan a continuación:

(1) Ver referencia 14 del apéndice.

Punto 11.

$$S_{11} = 7.45 \quad T_{11} = 32^{\circ}\text{C}$$

$$S_{11} = S_{f11} + X S_{fg11} \therefore X = \frac{S_{11} - S_{f11}}{S_{fg11}}$$

$$X = \frac{7.49 - 0.47}{7.94} = 0.88$$

$$h_{11} = h_{f11} + h_{fg11} = 134.54 + 0.88 \times 2433.68$$

$$h_{11} = 2276.18 \text{ J/gm}$$

Punto 12.

$$S_{12} = S_{f12} + S_{fg12} \quad , \quad S_{12} = 6.78$$

$$X_{12} = \frac{6.78 - 0.47}{7.94} \equiv 0.80$$

$$h_{12} = h_{f12} + h_{fg12} = 57.99 + 0.80 \times 2433.68$$

$$h_{12} = 2081.48 \text{ J/gm}$$

Punto 13.

$$h_{13} = h_{f13} = 134.54 \text{ J/gm}$$

(Para un vacío de 76.2 mm de mercurio el cuál es el vacío del condensador)

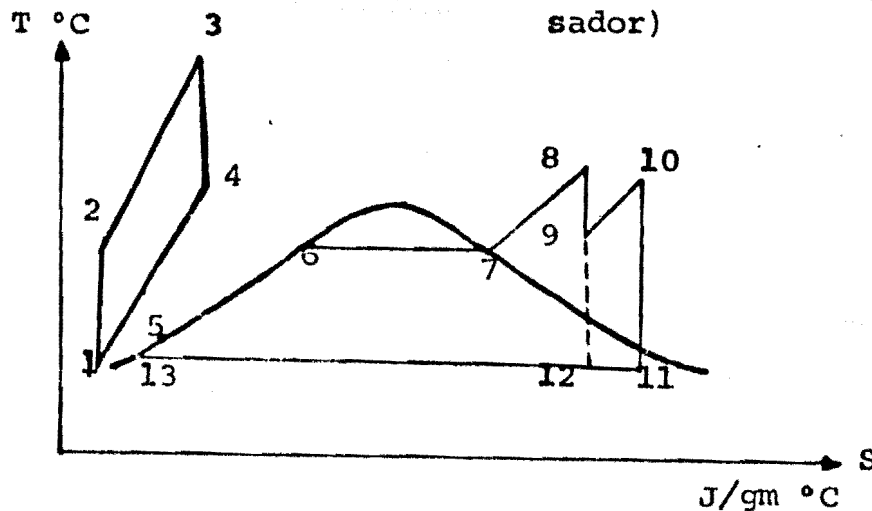


Figura 4.

Para facilidad se elabora la tabla siguiente:

Tabla 1. *

ENTALPIAS PARA EL DIAGRAMA T-S DE LA FIGURA 2				
Punto	T°C	S J/gm	h J/gm	X %
1	27			
2	260			
3	800			
4	450			
5	93	1.34	389.94	0
6	326	3.18	1500.34	0
7	326	5.44	2668.70	100
8	510	6.70	3405.76	S.C.
9	383	6.78	3183.97	S.C.
10	510	7.45	3481.39	S.C.
11	32	7.45	2276.18	88
12	32	6.78	2081.48	79.5
13	32	1.65	134.32	10.0

Substituyendo los valores de la tabla en las ecuaciones (1) y (2), tenemos:

$$E_B = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{27 + 273}{260 + 273} = 1 - 0.56$$

$$E_B = 0.44 \quad \text{Para el ciclo Brayton}$$

$$E_r = \frac{h_8 - h_9 + h_{10} - h_{11}}{h_8 - h_{13} + h_{10} - h_9}$$

$$E_r = \frac{3405.76 - 3183.97 + 3481.39 - 2276.18}{3405.76 - 134.32 + 3481.39 - 3183.97} = \frac{1427.00}{3568.83}$$

$$E_r = 0.39 \quad \text{Para el ciclo Rankine}$$

La eficiencia de los ciclos combinados es:

* Ver referencia 18 en el apendice.

$$E_{cc} = E_B + E_r = 0.44 + 0.39$$

$$\therefore E_{cc} = 83 \%$$

Lo cual justifica la combinación de los ciclos de vapor y de gas.

1.4. Equipo constitutivo de la Planta.

La planta descrita anteriormente consta del siguiente equipo principal:

I.- Dos turbogeneradores de gas, cada uno de ellos con los siguientes accesorios:

a.- Sistema de enfriamiento por aire.

b.- Equipo de lubricación y alimentación de combustible.

c.- Generador enfriado con hidrógeno.

d.- Equipo de arranque.

e.- Generador auxiliar, incluyendo suministro de hidrógeno, sistema de sellos, centro de control, sistema de baterías y accesorios menores.

II.- Dos generadores de vapor, incluyendo el siguiente equipo:

a.- Sobrecalentador.

b.- Evaporador de alta presión.

c.- Economizador.

d.- Evaporador de baja presión.

e.- Accesorios tales como calentadores eléctricos, desaeradores, calentadores de agua quemadores, etc.

f.- Controles de combustión, alimentación de agua, quemadores, bombas, etc.

g.- Bombas de alimentación, inyección química, alimentación de combustible, etc.

III.- Turbogenerador de vapor, el cual incluye lo siguiente:

a.- Turbina de flujo simple y escape axial

b.- Accesorios como son válvulas de control, gobernador electrohidráulico, sistema de sellos, sistema de extracción, etc.

c.- Generador enfriado por hidrógeno.

d.- Accesorios varios como son centro de control, sistema de baterías, arrancadores, etc.

IV.- Sistema de agua de circulación, el cual contiene:

a.- Bombas de agua de circulación .

b.- Bombas de agua de servicio.

- c.- Torre de enfriamiento.
- d.- Condensador de superficie.
- e,- Enfriador de agua del sistema de enfriamiento interno.
- f.- Bombas de agua de enfriamiento interno.
- V.- Equipos auxiliares tales como planta des-- mineralizadora de agua, de inyección de cloro, bombas misceláneas, tanques, sistema de -- almacenamiento y distribución de hidrógeno, caldera auxiliar, etc.
- VI.- Equipo eléctrico tal como subestación, transformadores, centro de control de motores, -- interruptores, etc.
- VII.- Centro electrónico de control.

En el dibujo de la pagina siguiente se ve la distribución de los equipos.

CAPITULO II. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AL CONDENSADOR.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AL CONDENSADOR.

2.1. Generalidades. El agua usada en las plantas termoeléctricas es de alta calidad, obviamente para lograr esta calidad debe ser tratada con equipos de filtración, suavización o con plantas desmineralizadoras. Por lo tanto lograr las condiciones requeridas del agua es costoso, por ello el vapor que se ha utilizado en la turbina debe condensarse y utilizarse nuevamente como agua de alimentación a las calderas.

Para cumplir con este objetivo se cuenta con un condensador de superficie, un sistema de bombeo de agua, una torre de enfriamiento y auxiliares.

El condensador tiene las características* siguientes:

Superficie efectiva	9100 m ²
Número de pasos	2
Disipación de calor	82.2 J/hr.
Gasto de enfriamiento	290 m ³ /min.
Temp. agua de enfriamiento	30.5°C
Rango	11.5°C
Vacío	7.62 cm. de Hg.
Longitud total de tubos	9.5 m
Diámetro de los tubos	2.22 cm.
Velocidad en los tubos	2.14 m/sg.

El sistema de enfriamiento tiene dos objetivos:

Proporcionar agua para el condensador de la turbina -

*Condiciones de diseño del equipo.

de vapor de 110 MW. y agua para el enfriamiento de equipo axiliar de la planta, tal como:

Enfriadores de hidrógeno	9450	Lts./min
Enfriadores de excitatrices	9450	"
Enfriadores de aceite	13200	"
Enfriadores de muestras	13200	"
Otros	3785	"
Total	49085	Lts./min

2.2. Diagramas de flujo. Para la determinación del diámetro de las tuberías, las pérdidas por fricción de las mismas y los parámetros de las bombas del sistema nos valdremos de los dibujos de las paginas siguientes:

2.3. Cálculo de las tuberías. Para dar las condiciones de diseño se calculan las bombas con el criterio de tener dos bombas de agua de circulación de 60% y dos bombas de enfriamiento auxiliar de 100%

Con este arreglo el sistema de bombeo podrá suministrar un 80 % de la demanda total de agua de la planta; es decir que en caso de sacar una bomba de circulación de operación para mantenimiento, tendremos:

Circ. Gasto de 1 bomba	=	290000x0.6	=	174000Lts/min.
Aux. Gasto de 2 bombas	=	49085x2	=	98170 "
Total,			=	272170 "

$$\text{Relación} = \frac{272170}{339085} = 80 \%$$

Cálculo del diámetro de las tuberías. Por economía y para evitar la corrosión la tubería subterránea será de concreto y la externa de acero al carbón.

Tubería de acero.

La velocidad media del agua en la tubería, la tomaremos de: $V = 2.15 \text{ m/sg}$ (1)

Se toma el gasto de una bomba, ya que solo en la descarga de cada bomba se utilizará tubería de acero.

Por lo tanto, se tiene:

$$Q = \text{gasto} = 174000 \text{ Lts./min.} = 2.92 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$\text{Por continuidad: } Q = AV \quad \therefore \quad A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{2.92 \text{ m}^3/\text{sg}}{2.15 \text{ m/sg}} = 1.168 \text{ m}^2$$

$$\therefore D = \frac{4A}{\pi} = \frac{4 \times 1.168}{\pi} = 1.22 \text{ m}$$

Tubería de concreto.

Tomando la misma velocidad y el flujo total requerido, es decir el flujo de agua al condensador más el flujo al intercambiador, tenemos:

$$Q = 290000 + 49085 = 339085 \text{ Lts./min.}$$

$$Q = 339085/60 = 5660 \text{ Lts./sg.} = 5.66 \text{ m}^3/\text{sg.}$$

(1) Ver referencia 12 en el Apendice.

$$A = \frac{5.66}{2.15} = 2.64 \text{ m}^2$$

$$D = \frac{4 \times 2.64}{11} = 3.36 = 1.83 \text{ m} \quad (72 \text{ pulgadas})$$

Cálculo de los factores de fricción.

Para la determinación de los factores de fricción utilizaremos la fórmula siguiente: (1)

$$f = \frac{0.0425}{1.79 + D}$$

En la cual, f = factor de fricción
 D = diámetro de la tubería en m.

El valor obtenido con la fórmula se promediará con el dado en la tabla que aparece en el apendice (2).

Para la tubería de acero, tenemos:

$$D = 1.22 \text{ m} , \quad f = \frac{0.0425}{1.79 + 1.22} = 0.0141$$

La tabla mencionada da un valor de $f = 0.0155$, el cual al promediarse con el dado por la fórmula nos da finalmente: $f = 0.0143$

Para la tubería de concreto:

$$D = 1.83 \text{ m} , \quad f = \frac{0.0425}{1.79 + 1.83} = 0.0117$$

La tabla da un valor de $f = 0.0135$, haciendo el promedio de ambos valores, tenemos: $f = 0.0126$.

(1) Ver referencia 12 en el Apendice.

Cálculo de las pérdidas de presión por fricción.

Para la determinación de las pérdidas de presión por fricción en las tuberías, aplicaremos el método de la longitud equivalente* para accesorios, sumaremos las longitudes de tubería recta y aplicaremos la ecuación de Darcy, ésta es:

$$H_f = f \frac{l v^2}{D 2g}$$

En la ecuación anterior las literales tienen el siguiente significado:

- H_f = Pérdidas de presión por fricción en m de ag.
- f = Factor de fricción sin dimensiones
- l = Longitud de tubería en m
- D = Diámetro de la tubería en m
- V = Velocidad del agua en m/sg
- g = Aceleración de la gravedad en m/sg²

Tramo de tubería de acero al carbón de 122 cm.

Accesorios	cantidad	Longitud eq.	Long.eq.Total
Entrada	1	64.0	64.0
Valv.marip.	1	48.6	48.6
Junta exp.	1	15.8	15.8
Codo de 45°	1	19.6	19.6
Salida	1	122.0	122.0
Total			270.0 m
Longitud de tubería recta			6.0 m
Longitud total			276.0 m

$$H_f = \frac{0.0141 \times 276 \times 2.15^2}{1.22 \times 19.6} = 0.81 \text{ m de agua.}$$

* Ver referencias: 1 y 5 .

Tramo de tubería de concreto de 183 cm.

Accesorios	cantidad	Longitud eq.	Long.eq.total
Codo 90°	2	54.5	109.0
T derivada	2	109.5	219.0
T principal	2	36.5	73.0
Total			401.0 m
Longitud de tubería recta			64.0 m
Longitud total			465.0 m

$$H_f 2-3-4 = \frac{0.0114 \times 465 \times 2.15^2}{1.83 \times 19.6} = 0.683 \text{ m de agua}$$

Tramo 4-5-6-7 Tubería de acero de 122 cm.

Accesorios	cantidad	Longitud eq.	Long.eq.total
T derivada	1	73.0	73.0
T Principal	1	24.3	24.3
Codo 90°	2	36.5	73.0
Junta exp.	2	15.8	31.6
Valv.marip.	2	48.7	97.4
Entrada	1	64.2	64.2
Total			427.7 m
Longitud de tubería recta			17.0 m
Longitud total			444.7 m

$$H_f 4-5-6-7 = \frac{0.0141 \times 444.7 \times 2.15^2}{1.22 \times 19.6} = 1.21 \text{ m de agua}$$

Tramo 7-9-16 tubería de concreto de 183 cm.

Accesorios cantidad Longitud eq. Long eq. total

T principal	1	36.5	36.5
Reducción			
1.83x1.22	3	43.6	131.0
Total			167.5 m
Longitud de tubería recta			55.0 m
Longitud total			222.5 m

$$H_f 7-9-16 = \frac{0.0114 \times 222.5 \times 2.15^2}{1.83 \times 19.6} = 0.34 \text{ m de agua}$$

Tramo 16-15 tubería de acero de 122 cm.

Accesorios cantidad Longitud eq. Long: eq. total

T derivada	1	73.0	73.0
Codo 90°	3	36.6	110.0
Salida	1	64.0	64.0
total			247.0 m
Longitud de tubería recta			40.0 m
Longitud total			287.0 m

$$H_f 16-15 = \frac{0.0141 \times 287.0 \times 2.15^2}{1.22 \times 19.6} = 0.78 \text{ m de Ag.}$$

La caída de presión en el condensador* es:

$$H_{fc} = 6.7 \text{ m de agua}$$

La caída total de presión es:

$$H_{ft} = H_{f1-2} + H_{f2-3-4} + H_{f4-5-6-7} + H_{f7-9-16} + H_{fc} + H_f 16-15$$

$$H_{ft} = 0.81 + 0.683 + 1.21 + 0.34 + 0.78 + 6.70$$

*

Dato del fabricante

Finalmente:

$$H_{ft} = 10.523 \text{ metros de agua.}$$

2.4.Cálculo de las bombas.

De acuerdo con los datos obtenidos en el párrafo anterior y con los dibujos del cárcamo de bombeo, se tienen los valores siguientes:

$$\text{Columna estática de succión} \quad H_s = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Columna estática de descarga} \quad H_d = 10.7 \text{ m}$$

$$\text{Carga de fricción} \quad H_f = 10.52 \text{ m}$$

La altura total que debe desarrollar la bomba, es:

$$H_t = H_f + H_s + H_d = -0.6 + 10.52 + 10.7$$

$$H_t = 20.42 \text{ m de agua}$$

Para el cálculo de la potencia utilizaremos la fórmula siguiente:

$$P = p Q H_t$$

$$P = \text{Potencia} \frac{\text{Kg-m}}{\text{sg}}$$

$$p = \text{Peso específico} \\ = 1000 \text{ Kg./m}^3$$

$$H_t = \text{Altura de presión} \\ \text{total de la bomba} \\ \text{en m de agua.}$$

En nuestro caso, tenemos:

$$Q = 174000 \text{ Lts./min} = 2.93 \text{ m}^3/\text{sg.}$$

$$H_t = 20.42 \text{ m de agua}$$

Por lo tanto :

$$P = 1000 \times 2.9 \times 20.42 = 60000 \text{ Kg-m/sg.}$$

$$P = \frac{60000}{76.04} = 785 \text{ HP.}$$

La potencia nominal del motor es :

$$P_n = \frac{P}{E} \quad E = \text{Eficiencia} = 0.80 \quad (1)$$

$$\therefore P_n = \frac{785}{0.80} = 980 \text{ HP.}$$

Resumiendo, las características de las bombas, son:

Altura de presión desarrollada	20.65 m
Gasto	2.9 m/sg
Potencia del motor	980 HP.
Sumergencia	De acuerdo al dibujo 2
Temperatura de bombeo	38 °C

2.5 Selección de las bombas.

Este apartado tiene por objeto establecer los lineamientos generales en relación con la adquisición del equipo calculado, tomando en cuenta que es el procedimiento general que normalmente se sigue en las empresas dedicadas a la Ingeniería y construcción de

(1) Ver referencias 1 y 2 del Apéndice.

plantas. El proceso es como sigue:

1.- En base a las características calculadas se elaboran las especificaciones correspondientes y los cuestionarios técnicos, considerando aspectos legales administrativos, de carácter técnico, fechas de entrega y costos.

2.- Se investiga que fabricantes pueden suministrar los equipos y se les invita a una entrevista.

3.- En base a la entrevista y a los datos dados (información escrita) se selecciona a los más viables para el suministro.

4.- Los fabricantes seleccionados son invitados al concurso para lo cual se les envía un juego de especificaciones y cuestionario.

5.- Con las ofertas y cuestionarios debidamente contestados se procede a hacer la evaluación de ellas mediante una tabla de comparación.

6.- En base a los resultados de la tabla se hace la recomendación del proveedor más conveniente.

En nuestro caso la evaluación está contenida en la tabla 2.51. y la explicación de los conceptos -

ahí contenidos se dá a continuación:

Datos técnicos. Se consideran bajo éste concepto las características propias de las bombas, como son gasto, presión de succión ó sumergencia, presión de - descarga, eficiencia, consumo de energía, peso del equi- po, presión máxima de diseño, etc.

Materiales. Se comparan, en éste concepto, los mate- riales propuestos con los especificados.

Consumo de energía. De éste concepto dependen los costos de operación del equipo por lo cuál su impor- tancia es obvia.

Costos generales. Se comparan los precios en fun- ción de los equipos propuestos y los accesorios.

Tiempo de entrega. Este concepto es de suma impor- tancia debido al hecho de que cada equipo tiene una fecha de instalación dentro del programa de desarro- llo del proyecto.

Protección a la industria nacional. Se dará prefe- rencia a los equipos fabricados en México en la ma- yoría de sus componentes.


Ajuste de precios. Este concepto compara los pre- cios de acuerdo a los datos generales de la oferta,

ajustando errores, omisiones, incongruencias, etc.

Aspectos legales. En general se tratará de proteger a la empresa y al proyecto mediante contratos que garanticen los equipos plenamente.

Para hacer observaciones y aclaraciones se incluye una columna titulada "Comentarios".

2.5.1. TABLA DE EVALUACION

CONCEPTOS	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B	COMENTARIOS
1. Datos técnicos.			
1.1. Capacidad m ³ /sg.	2.9	2.9	(1) Nominal
1.2. Alt. de presión m de Ag.	20.65	20.65	(2) En operación
1.3. Sumergencia m	2.10	2.00	(3) Incluidos en 3.1.
1.4. Eficiencia %	79	77	(4) A partir de la fecha del contrato.
1.5. Potencia motor KW	1000	1100	(5) Se considera 70% la bomba, 20% el motor y 10 % otros.
1.6. Voltaje V	4000	4000	(6) Se investiga la reputación de la compañía dentro de
1.7. Amperaje A	150 (2)	167 (2)	(7) Se consideraran incluidos en 3.1.
1.8. Factor de potencia %	80 (2)	73 (2)	(8) Se considera \$ 2300.00 por KW anual.
1.9. Fases	3	3	(9) Se consideran 10 días para supervisión.
1.10. Frecuencia Hz	60	60	N.I. No indicado.
1.11. Consumo de potencia KW	746	820	
2. Materiales.			
2.1. Carcasa ASTM	A-48	A-48	
2.2. Flecha "	A-276-410	SS-416	
2.3. Impulsor "	145-4A	B-143	
2.4. Anillos de desgaste "	B-144-3B	N.I.	
2.5. Chumaceras "	B-144-3B	B-143	
3. Precios			
3.1. En fábrica \$	2100000	2800000	
3.2. Fletes	94000	(3)	
3.3. Refacciones	100000	N.I. (7)	
3.4. Supervisión \$/día	400	700	
4. Ajustes			
4.1. Consumo de Energía \$	BASE	43700 (8)	
4.2. Supervisión \$	BASE	3000 (9)	
4.3. Refacciones \$	--	--	
4.4. Precio total ajustado \$	2294000	2846700	
5. Tiempo de entrega (Semanas)	30 (4)	36 (4)	
6. Protección Industria Nal.	79%	65%	
7. Garantía	Aceptable (6)	Aceptable (6)	
8. RECOMENDACION			SE RECOMIENDA LA ALTERNATIVA INDICADA POR LA FLECHA.

CAPITULO III. EQUIPO ENFRIADOR.

EQUIPO ENFRIADOR

3.1. Torres de Enfriamiento.

Uno de los métodos más frecuentemente usado para enfriar grandes volúmenes de agua, consiste en rociar partículas de ella a través de un flujo de aire. El proceso que tiene lugar es de humidificación adiabática ó de transferencia de calor por contacto directo. El desarrollo moderno de éste concepto lo constituyen las torres de enfriamiento, de las cuales podemos citar, los tipos siguientes:

- 1.- De corriente natural, que pueden ser con chimenea ó atmosféricas.
- 2.- De corriente de aire mecánica ya sean de tiro forzado ó de tiro inducido.
- 3.- Hiperbólicas
- 4.- Torres secas.

De las citadas, las de doble flujo transversal de tiro inducido son las de mayor aplicación en el campo de las plantas térmicas.

Para el cálculo de los parámetros de la torre de enfriamiento, requerimos de las definiciones si-

guientes:

Capacidad. Cantidad de agua requerida en Lts/min - para rechazar una carga de calor en condiciones dadas.

Rango. Es la diferencia expresada en grados centígrados entre el agua caliente y el agua fría.

Aproximación. Es la diferencia en grados centígrados entre la temperatura del agua que sale de la torre y la temperatura del bulbo húmedo ambiente.

Temperatura de bulbo húmedo. Es la temperatura a la cual el aire puede ser enfriado adiabáticamente a saturación, adicionando vapor de agua.

Temperatura de bulbo seco. Es la temperatura del aire indicada por un termómetro convencional.

Carga de calor. Es la cantidad de calor disipado por la torre de enfriamiento, expresado en Kcal/hr.

Grado de ejecución. Es la medida de la capacidad de enfriar agua. Se expresa en m^3/sg para un rango y un bulbo húmedo dados.

Pérdidas por arrastre. Es la cantidad de agua que el aire al salir lleva consigo, se expresa en % de la capacidad.

Pérdidas por evaporación. Es la cantidad de agua que

por efectos de saturación adiabática se lleva el aire se expresa en % de la capacidad.

Purga de la torre. Tiene por objeto evitar la acumulación excesiva de sólidos en suspensión, se expresa en % de la capacidad.

Agua de repuesto. Es la que reemplaza las pérdidas - por arrastre, evaporación y purgas.

Recirculación. Es la parte de la descarga de la torre que inevitablemente es realimentada.

Interferencia. Es la posible entrada de gases o vapores de otros cambiadores de calor.

Altura de bombeo. Es la altura de presión en la línea de centros del sistema de distribución de agua de la torre, más la diferencia en elevación entre ella y la línea de centros del ojo de la bomba.

3.2. Parámetros de la torre de enfriamiento.

* Capacidad.	339085	Lts/min
(1) Temperatura de bulbo seco	24	°C
(1) Temperatura de bulbo húmedo	20	°C
* Temperatura del agua a la salida	30.5	°C
* Temperatura del agua a la entrada	42.1	°C

Rango de la torre 11.6 °C

Aproximación 10.5 °C

$$\begin{aligned} \text{Carga térmica} &= \text{GastoxRango} = 339085 \times 11.6 \\ &= 393 \times 10^3 \text{ Kcal/min.} \end{aligned}$$

3.3. Cálculo del gasto de agua de repuesto.

Tenemos la siguiente igualdad:

$$G_r = G_e + G_a + G_p$$

En la cuál las literales tienen el significado siguiente:

G_r = Gasto de repuesto en Lts/min

G_e = Gasto de agua que se evapora en Lts/min.

G_a = Pérdidas de agua por arrastre en Lts/min.

G_p = Purga continua en Lts/min.

Las pérdidas por evaporación, son:

$$G_e = 0.01 \times G_t \times R \frac{1}{5.5^\circ\text{C}}, \quad \begin{aligned} G_t &= \text{Capacidad de la torre} \\ &\text{en Lts/min} \\ R &= \text{Rango de la torre } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$G_e = \frac{0.01 \times 339085 \times 11.6}{5.5} = 7360 \text{ Lts/min.}$$

Las pérdidas por arrastre, de acuerdo con experiencia de algunos fabricantes, se estima en:

$$G_a = 0.01 \text{ a } 0.03 \% \text{ de } G_t$$

$$G_a = 0.0002 \times 339085 = 670 \text{ Lts/min.}$$

La purga continua se calcula con la fórmula empí-

rica siguiente:

$$G_p = \frac{G_e}{(C - 1)} - G_a \quad , \quad C = \text{Ciclos de concentración} \\ = \text{Aprox. } 4$$

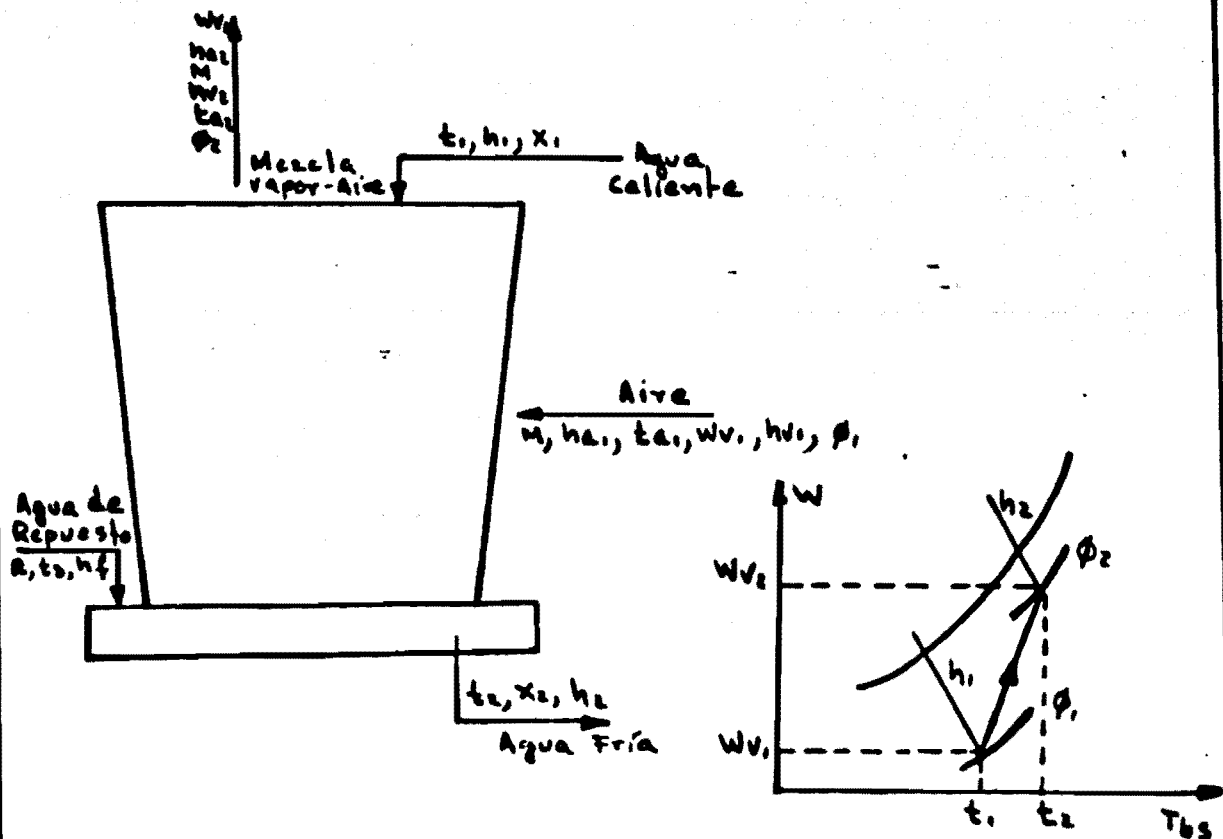
$$G_p = \frac{7360}{4-1} - 678 = 1772 \text{ Lts/min.}$$

Sumando, tenemos:

$$G = 7360 + 678 + 1772 = 9810 \text{ Lts/min.}$$

3.3. Balance térmico de la torre de enfriamiento.

Para hacer el balance de la torre, nos valdremos de la figura siguiente:



Notación:

t_1 = Temperatura del agua caliente °C

x_1 = Flujo de agua caliente Kg/hr

h_1 = Entalpia del agua caliente J/gr.

t_2 = Temperatura del agua que sale °C

x_2 = Flujo de agua que sale de la torre Kg/hr.

h_2 = Entalpía del agua que sale J/gr.

h_{a1} = Calor sensible del aire a la entrada J/gr

M = Flujo de aire seco Kg/hr

t_{a1} = Temperatura del aire ala entrada °C

w_{v1} = Humedad específica del aire a la entrada $\frac{Kgv}{Kga}$

h_{fg1} = Color latente del vapor de agua que entra
con el aire J/gr

F_1 = Humedad relativa del aire en la entrada %

h_{a2} = Calor sensible del aire a la salida J/gr.

t_{a2} = Temperatura del aire a la salida °C

w_{v2} = Humedad específica del aire a la salida $\frac{Kgv}{Kga}$

h_{fg2} = Calor latente del vapor de agua que sale
con el aire J/gr

F_2 = Humedad relativa del aire a la salida %

R = Gasto de agua de repuesto Kg/hr

t_3 = Temperatura del agua de repuesto °C

h_f = Entalpia del agua de repuesto J/gr

De acuerdo con la figura 6 y haciendo balance de energías, tenemos:

$$(M_{h1} + W_{v1} M_{hfg1} F_1) + X_1 h_1 + R h_f = (M_{h2} + W_{v2} M_{hfg2} F_2) + X_2 h_2$$

Tambien: $R + M_{W1} = M_{W2}$

En nuestro caso, se tiene:

$$t_1 = 42.1 \text{ °C}$$

$$X_1 = 339085 \text{ Kg/min} = 20.34 \times 10^6 \text{ Kg/hr}$$

$$h_1 = 176.77 \text{ J/gr} \quad (\text{tablas de vapor})$$

$$t_2 = 30.5 \text{ °C} \quad (\text{dato})$$

$$X_2 = X_1 = 20.34 \times 10^6 \text{ Kg/hr}$$

$$h_2 = 127.94 \text{ J/gr}$$

$$M = \text{Incognita Kg aire seco/hr}$$

$$h_{a1} = 47.49 \text{ J/gr} \quad (\text{tablas psicrométricas})$$

$$t_{a1} = 35 \text{ °C} \quad (\text{dato})$$

$$t_{bh1} = 20 \text{ °C} \quad (\text{dato})$$

$$W_{v1} = 0.0084 \text{ Kgv/Kga} \quad (\text{carta psicrométrica})$$

$$h_{fg1} = 2566.55 \text{ J/gr} \quad (\text{tablas psicrométricas})$$

$$F_1 = 24 \% \quad (\text{carta psicrométrica})$$

$$t_{a2} = 42.1 - 5.56 \quad (\text{tomando } F_2 = 90\%) \quad *$$

$$h_{a2} = 54.77 \quad \text{J/gr} \quad (\text{tablas Psicrométricas})$$

$$t_{ba2} = 36.54 \times 0.9 = 32.88 \quad ^\circ\text{C}$$

$$W_{v2} = 0.9 \times 0.04024 = 0.03622 \quad \text{Kga/Kgv} \quad (\text{tablas Psicrométricas})$$

$$h_{fg2} = 2569.6 \quad \text{J/gr}$$

$$R = 9810 \quad \text{Lts/min} = 588600 \quad \text{Lts/hr}$$

$$t_3 = 42.2 \quad ^\circ\text{C} \quad (\text{dato})$$

$$h_f = 89.66 \quad \text{J/gr} \quad (\text{tablas de vapor})$$

$$f_2 = 0.9 \quad (\text{Experimentalmente})$$

Substituyendo estos valores en la ecuación, se tiene:

$$47.49M + 0.0084M \times 2566.55 \times 0.20 + 20.34 \times 10^6 \times 176.77 + 0.5886 \times 10^6 \times 89.66 = 54.77M + 0.03622M \times 2569.6 + 0.9 + 20.34 \times 10^6 \times 127.94$$

Resolviendo, queda: $M = 12.17 \times 10^6 \quad \text{Kg/hr}$

El flujo de aire húmedo es:

$$M(1 + W_{v2}) = 12.17 \times 10^6 (1 + 0.03622) = 12.61 \times 10^6 \quad \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

En volumen, se tiene:

$$v = v_{as} + (v_{ha} + v_{as})F_2$$

En la cual, v = Volumen específico de la mezcla en m^3/Kg

* Ver referencia 6

vas = volumen específico del aire seco en m³/Kg

vah = volumen específico del aire humedo en m³/KG

De las tablas Psicrométricas, obtenemos:

vas = 0.87 m³/Kg

vah = 0.93 m³/Kg

Substituyendo, tenemos:

$$v = 0.87 + (0.93 - 0.87) 0.9 = 0.924 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$V = 0.924 \times 12.61 \times 10^6 = 11.61 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{hr.}$$
$$= 19.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{min}$$

Para obtener la potencia de los ventiladores de la torre usamos la siguiente formula:

$$P = \frac{V H}{4500 e}$$

P = Potencia en C.V.

V = Volumen de aire trasegado en m³/min.

e = Eficiencia global del conjunto = 0.8

H = Presión desarrollada en Kg/m² = 17.78 Kg/m²

$$\therefore P = \frac{19.3 \times 10^4 \times 17.78}{4500 \times 0.8} = 925.16 \text{ C.V.}$$

$$\text{Potencia por celda} = \frac{P}{6} = 154.2 \text{ C.V.}$$

3.4. Enfriador atmosférico. Para reducir el tamaño de la torre, a continuación, la posibilidad de instalar un enfriador atmosférico en el cárcamo de la -

torre*, el sería de 21.33 m de ancho y de una longitud de $64 - 64/6$ m , es decir un sexto menor de la torre calculada en el parrafo anterior. El cálculo del enfriador es como sigue:

Area de transferencia del enfriador.

El calor a disipar es igual a:

$$Q_e = \frac{Q_t}{6}, \quad Q_e = \text{Calor a disipar por el enfriador en calorías por min.}$$

$Q_t =$ Calor total a disipar por la torre en calorías por min.

$$Q_t = 3.93 \times 10^6 \quad \text{Cal/min}$$

$$Q_e = \frac{3.93 \times 10^6}{6} = 65.5 \times 10^4 \quad \text{Cal/min} = 39.3 \times 10^6 \frac{\text{Cal}}{\text{hr}}$$

De la teoría de la transferencia de calor se tiene la formula siguiente:

$$Q_e = U A (T_2 - T_1) \quad \dots (A)$$

$U =$ Coeficiente total de transferencia de calor en $\text{Cal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$A =$ Area de transferencia de calor en m^2

$T_1, T_2 =$ Temperaturas en $^\circ\text{C}$

$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_2 = 42.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ (del parrafo 3.2.)

El coeficiente total de transferencia de calor U

* Ver dibujo No.

se toma de 1260 en base a los valores dados por Donald Q. Kern (1).

Substituyendo valores en la ecuación (A):

$$39.3 \times 10^6 = 1260A(42.1 - 20) \therefore A = 1411.3 \text{ m}^2$$

Tomando un tubo normalizado de 3.175 cm. el cual tiene una área de $0.0784 \text{ M}^2/\text{m}$ linial, se tiene que el número de tubos de 21.33 m, es:

$$\text{Num. de tubos} = \frac{1411.3}{0.0784(64 - 64/6)} = 337$$

Por lo anterior el enfriador tendría los siguientes parámetros:

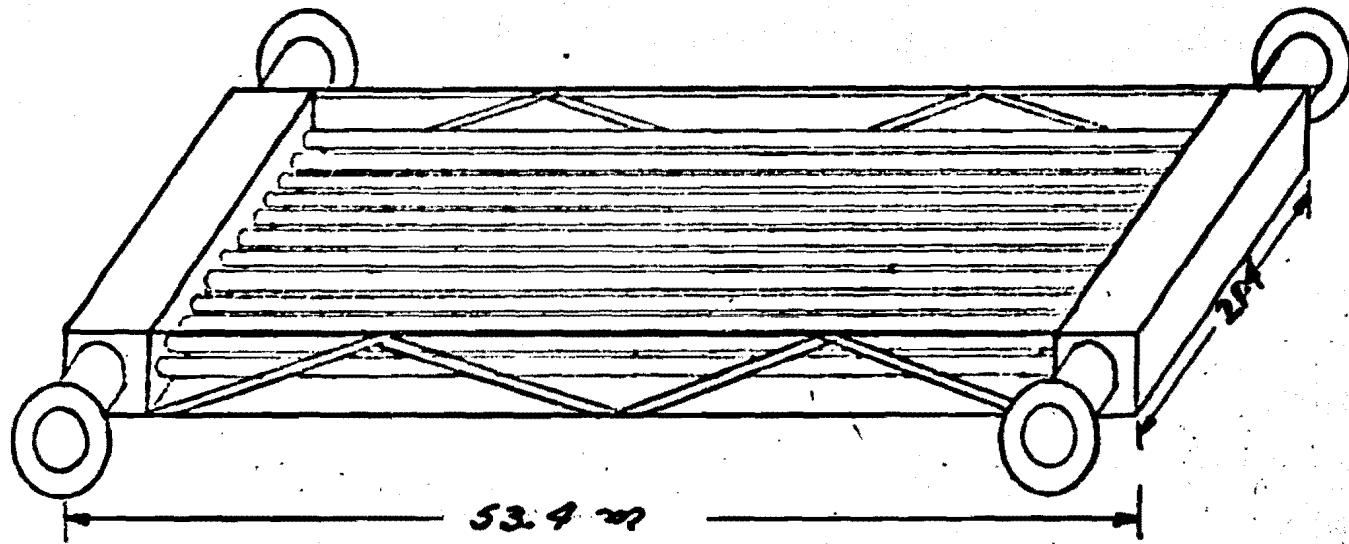
Calor disipado	39.3 Cal/hr
Diámetro de los tubos	3.125 cm.
Número de tubos	337
Paso	3.125
Area de transferencia	1411.3 m^2

Costo del enfriador.

A.- Costo del material (ver fig.7 en la pagina siguiente).

1.- Considerando un espesor de placa de acero de 2.54 cm., tenemos que el volumen de material es:

(1) Ver referencia No.13



ENFRIADOR ATMOSFERICO.

Figura 7.

$$v = 51.48 \times 2.54 / 100 = 1.3 \text{ m}^3$$

El peso específico es $p = 200 \text{ Kg/m}^3$

El peso del material requerido es $W = 200 \times 1.3$
 $W = 256 \text{ kgs.}$

El precio unitario es $16.00 \text{ \$/kg.}$ *

El costo es $= 16.00 \times 256 = \$ 4100.00$

2.- Tubería.

Longitud total $= 337 \times 53.4 = 17900 \text{ m}$

Precio unitario $= 80.00 \text{ \$/m}$

Costo $= 17900 \times 80 = \$ 1432000.00$

3.- Bridas.

Número $= 4 \text{ de } 20.32 \text{ cm}$

Precio unitario $= 300.00 \text{ \$/brida}$

Costo $= 300 \times 4 = \$ 1200.00$

B. Mano de obra.

Se supone que se necesitan 2 paileros y 2 ayudantes trabajando un mes, por lo tanto:

Salario de cada pailero $= \$ 180.00 \text{ diarios}$

Salario de cada ayudante $= \$ 120.00 \text{ diarios}$

Costo $= 30 (120 + 180) \times 2 = \$ 9000.00 \times 2 = 18000.00$

* Al mes de enero de 1977.

C.Otros.Se incluyen bajo este concepto los costos de administración, facturación, finanzas, etc.Se estima que el valor de todos ellos es del 40 % de los costos de los incisos A y B, o sea:

$$\begin{aligned} \text{Otros} &= 0.4(4100+1432000+1200+16000) \\ &= \$ 581320.00 \end{aligned}$$

D.Total	Material	\$	4100.00
	Tubería	\$	1432000.00
	Bridas	\$	1200.00
	Mano de obra	\$	16000.00
	Otros	\$	581320.00
	Total	\$	2034620.00

3.5. Evaluación de las alternativas. De los resultados obtenidos se concluye que la instalación de un enfriador atmosférico no es recomendable económicamente ya que su costo sería mayor. Es decir considerando que la torre de enfriamiento cuesta aproximadamente \$ 6000000.00, el enfriador atmosférico costaría mas del doble que 1/6 del costo de la torre.

Técnicamente el instalar una torre de 5 celdas y un enfriador atmosférico en el cárcamo en lugar de

una torre de 6 celdas tendría las desventajas siguientes:

1.-Se requiere más material y tiempo de instalación.

2.-El enfriador requiere más mantenimiento.

En conclusión se debe instalar una torre de enfriamiento de 6 celdas de acuerdo a los parámetros calculados en los párrafos anteriores.

CAPITULO IV. OPERACION DEL SISTEMA

CAPITULO IV. OPERACION DEL SISTEMA.

Generalidades. Definidos los equipos de bombeo, torre, Tuberías, accesorios, etc, se procede a la instalación de los mismos.

En este capítulo se dan algunas recomendaciones generales para la instalación y operación del sistema de enfriamiento al condensador; tales recomendaciones son el resultado de preguntas hechas por Ingenieros de campo que tuvieron intervención en el desarrollo del proyecto real, es decir están basadas en la -- experiencia personal del que aquí escribe y por lo tanto son soluciones prácticas.

4.1. Diseño del cárcamo de bombeo. El diseño del cárcamo de bombeo tiene influencia en la operación del sistema; interferencia, volumen insuficiente de -- agua en la succión, inadecuada sumergencia, velocidad excesiva del agua son los principales problemas que se evitan con un correcto diseño del cárcamo de bombeo.

Las recomendaciones para dimensionar el cárcamo de bombeo se basan en experiencias de instalaciones

reales y pruebas de laboratorio de fabricantes de bombas *. Estas reglas son:

1.-La sumergencia mínima, medida arriba de la línea de centros del impulsor, deberá ser de 1.5 a 2.0 veces el diámetro de la campana de succión de la bomba.

2.-El ancho del foso de succión de cada bomba deberá ser igual a 2.5 veces el diámetro de la campana de succión como mínimo.

3.- La distancia entre el nivel mínimo del foso y el fondo del mismo, deberá ser tal que multiplicado por el ancho del foso, no sea menor 10 veces el diámetro de la campana de succión de la bomba.

4.-La distancia del borde inferior de la campana de succión al fondo del foso deberá ser, al menos, la mitad de la campana.

5.-La distancia del perímetro de la campana de succión a cualquier pared lateral de cada foso, deberá ser igual al diámetro de dicha campana como mínimo.

* Ver referencias 1, 2 y 11.

6.-La pendiente del lecho del canal de acceso deberá ser de 7°o menor.

7.-La distancia del eje de la columna de succión de la bomba y el punto de intersección entre el lecho del canal de acceso y el fondo del cárcamo deberá ser de 3 veces el diámetro de la campana de succión como mínimo.

Mediante la aplicación de estas reglas se elaboraron los dibujos de las paginas siguientes.

4.1.2.Recomendaciones de instalación.

I.-BOMBAS.

La instalación de bombas verticales grandes - deberá hacerse bajo la supervisión de un Ingeniero especialista de la empresa que vendió el equipo en estrecha colaboración con el Ingeniero responsable de la instalación en la planta.Se sugiere el siguiente procedimiento:

1.- Verificar la correcta entrega del equipo contra lo especificado y reportar cualquier anomalía para su corrección.

2.-Cuidar que el equipo sea correctamente reempacado despues de la recepcion y almacenado en un -

recinto cerrado para evitar la introducción del polvo y humedad al equipo.

3.-Verificar que la cimentación y pernos de anclaje para las bombas esten de acuerdo con lo especificado en los dibujos embiados por el fabricante.

4.-Disponer de grúa y herramientas especiales necesarias para la instalación.

5.-Siguiendo paso por paso el manual de instalación, operación y mantenimiento de la bomba, proceder con la instalación.

6.-Verificar la lubricación de bujes y chumaceras, verificar niveles de aceite, sentido de rotación, que no haya forzaduras; verificar que las tuercas y tornillos esten correctamente apretados; verificar visualmente el motor, arrancadores y elementos de control.

7.-Proceder al arranque.

II. Torre de enfriamiento.

La instalación de torres de enfriamiento de gran capacidad generalmente la llevan a cabo los fabricantes en el lugar de la planta.

Una vez instalada la torre de enfriamiento es responsabilidad del Ingeniero Mecánico de la planta verificar las condiciones de operación reales con las ofrecidas por el fabricante, para lo cual se deben hacer las mediciones siguientes:

1.-Medición del flujo de circulación. Se puede hacer por medio de los métodos siguientes:

- a. Con medidores de flujo.
- b. Con tubo de Pitot.
- c. Con un tanque auxiliar y un cronómetro.
- d. Con las curvas de operación de las bombas.

2.-Medición del rango de la torre. Las mediciones de temperatura del agua se deben hacer en la descarga de las bombas con un termómetro normal debidamente verificado.

3.-Temperatura de bulbo húmedo. Se debe hacer con un Psicrómetro haciéndolo girar a 30 sgs para la primera lectura y 10 Sgs. para las subsecuentes. Se debe hacer 8 mediciones y se toma el promedio de ellas.

4.-Potencia de los ventiladores. Se toman lecturas de voltaje y de amperaje de cada línea, así como

del factor de potencia. A continuación se aplica la ecuación siguiente:

$$P = \frac{V I \text{ f.p. } n 1.73}{746}$$

En la cual:

P = Potencia del motor en HP.

V = Voltaje de la línea en volts

I = Corriente de la línea en amperes

f.p. = Factor de potencia

n = Eficiencia (se toma de las especificaciones)

5.- Altura de bombeo. La altura de bombeo se determina colocando un manómetro en la tubería de agua de circulación inmediatamente antes del tubo vertical que conduce el agua al distribuidor, a continuación se aplica la igualdad siguiente:

$$H_b = P_i - H_f$$

H_b = Altura de bombeo

P_i = Presión en el manómetro

H_f = Pérdidas de presión por fricción

Para hacer las mediciones anteriores se deben establecer las condiciones siguientes:

A.- Dar el flujo de siseño.

B.- Ajustar los ventiladores para las condiciones de diseño.

C.-Evitar obstrucciones en el sistema, suciedad y materia extraña en general.

D.- Ser muy cuidadoso al hacer las lecturas.

Una vez hechas las pruebas, se recomienda observar las siguientes tolerancias:

En flujo 10 %

En rechazo de calor 20 %

En rango 15 %

En bulbo húmedo \pm 3 %

4.2.1. Operación del sistema.

I.- Arranque del sistema.

1.-Abrir las válvulas de alivio, de descarga de las bombas. de entrada y salida de agua al condensador para permitir la salida de aire contenido en el sistema.

2.- Llenar el sistema, para lo cual se abren las válvulas de interconexión entre las tuberías de agua de servicio y de circulación.

3.- Una vez lleno el sistema se cierran las válvulas de alivio, de descarga de las bombas y las de interconexión entre los sistemas de servicio y de circulación.

4.- Se arranca una bomba y se abren las válvulas de descarga. Esta operación generalmente se hace automáticamente.

5.- Si el tiempo calculado por control (10 a 15 segundos) transcurre y las válvulas de descarga no empiezan a abrir, la bomba parará automáticamente. Habrá que verificar el sistema e intentar otro arranque.

6.- Si en el tiempo normal de arranque la bomba toma su velocidad de régimen, verificar el amperaje en las líneas de suministro.

7.- Si el sistema motor-bomba-válvulas de descarga funciona como se previó, verificar los demás instrumentos del sistema.

8.- En esta situación operar el sistema durante el tiempo recomendado por el fabricante de la bomba observando que no haya calentamientos anormales. Repe

tir la operación de acuerdo a lo recomendado por el manual de operación, instalación y mantenimiento y bajo la supervisión del ingeniero de la empresa vendedora del equipo.

II.- Paro del sistema.

1.- Cierre las válvulas de descarga de las -- bombas.

2.-En el tiempo de cierre de las válvulas de - descarga, el sistema de control envía una señal al cuarto de control de la planta indicando que las - válvulas están completamente cerradas.

3.-Se procede a desconectar la primera bomba.

4.-Para que se desconecte la segunda bomba, es necesario que transcurra el tiempo previsto en el diseño del sistema de arranque. Esto se lleva a cabo mediante un circuito de retardo. Transcurrido este lapso la segunda bomba se desconecta automática--- mente.

4.2.2.Recomendaciones de mantenimiento.

1.-Al desarmar una bomba o parte de ella, desechar empaques, anillos o piezas en general que pa--

rezcan dudosas.

2.-Verificar claros y tolerancias.

3.-La limpieza de todas las piezas se hará con un solvente recomendado por el fabricante de la -- bomba y a continuación deberán ser secadas con aire limpio.

4.-Una vez limpias se verifican cuidadosamente las piezas para ver desgaste o corrosión.

5.- Al ensamblar se debe ser cuidadoso al lubricar. Verificar que no haya forzaduras ó deslizamientos fuera de tolerancias.

6.-Llevar un programa de mantenimiento preventivo estrictamente y seguir el manual de instalación y mantenimiento para cualquier falla ó anomalía.

CAPITULO V. CONCLUSIONES.

CAPITULO V. CONCLUSIONES.

La Ingeniería aplicada al campo de la generación de Energía Eléctrica debe avanzar a la par del desarrollo tecnológico. Esto importancia primordial en el actual proceso de desarrollo de nuestro país.

Uno de los métodos modernos para la generación de energía lo constituyen las plantas de ciclos combinados Rankine-Brayton; dos de este tipo de plantas - han sido recientemente instaladas en México.

En el presente trabajo se estudió el sistema de enfriamiento al condensador de dichas plantas y como última parte se hacen las siguientes conclusiones:

Como primera conclusión se vió que es conveniente combinar los ciclos de vapor y de gas, debido principalmente al mejor aprovechamiento de la energía suministrada en forma de combustible con la consecuente elevación de la eficiencia .

El sistema de enfriamiento al condensador se constituye principalmente de los siguientes equipos:

Bombas de agua de circulación.

Condensador de superficie.

Torre de enfriamiento.

Tuberías, válvulas, instrumentos y accesorios.

Del estudio de estos equipos, se concluye que la buena selección de cada uno de ellos tiene mucha importancia para el correcto funcionamiento del sistema y en último termino de la planta. El estudio se trató de desarrollar con cálculos y criterios de evaluación técnico-económicos basados en la experiencia del que aquí escribe.

Para la condensación del vapor de escape por medio del condensador, se plantearon dos alternativas, a saber:

1.- Una torre de enfriamiento.

2.- Una torre de enfriamiento y un enfriador atmosférico.

Mediante un estudio técnico económico se determinó que la primera de las alternativas fué la más conveniente. Se trato de sistematizar el procedimiento.

Así como el cálculo y selección correcta de los equipos es de importancia básica, también lo son la correcta instalación y operación de los mismos. En el

capitulo IV se dá un criterio adecuado para el diseño del cárcamo de bombeo, el cual se basa en recomendaciones de tipo experimental.

El segundo aspecto del capitulo IV es la operación y prueba del sistema. El trato del tema fué general de acuerdo a recomendaciones de los fabricantes de los equipos y a la experiencia personal del autor de este trabajo, haciendo hincapié en la importancia que tiene la asesoría de parte de ellos.

Por último se espera que el trabajo aquí desarrollado sirva de referencia a quienes traten temas similares a los expuestos con esto se justificará el esfuerzo hecho.

BIBLIOGRAFIA.

No.	TITULO	AUTOR
1	Bombas Centrifugas	I. Karasik
2	Bombas Selección y Aplicación	T. Hicks
3	Centrales de Vapor	G.A. Gaffert
4	Energía mediante Vapor, Aire y Gas	Severns y Degler
5	Flujo de Fluidos (manual Tec.No.410)	Crane Co.
6	Fundamentos de aire acondicionado y Refrigeración	E.H. Goribar
7	Fundamentos de Torres de Enfriamiento	Marley Co.
8	Hidráulica	G.E. Russel
9	Ingeniería de Proyectos	H.F. Rase y M.H. Borrow
10	Mecánica de Fluidos	R.V. Giles
11	Normas del Instituto de Hidráulica	Hydraulis Ist.
12	Plantas Eléctricas	C.Luca
13	Procesos de Transferencia de calor	D.Q. Kern
14	Tablas Termodinámicas	Keenan y Keyes
15	Termodinámica	J.A. Manrique R.S. Cárdenas
16	Termodinámica	V.M. Faires
17	Transferencia de Calor	W.H. Mc Adams
18	Plantas de Ciclos Combinados	C.F.E.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

I. UNIDADES FUNDAMENTALES.

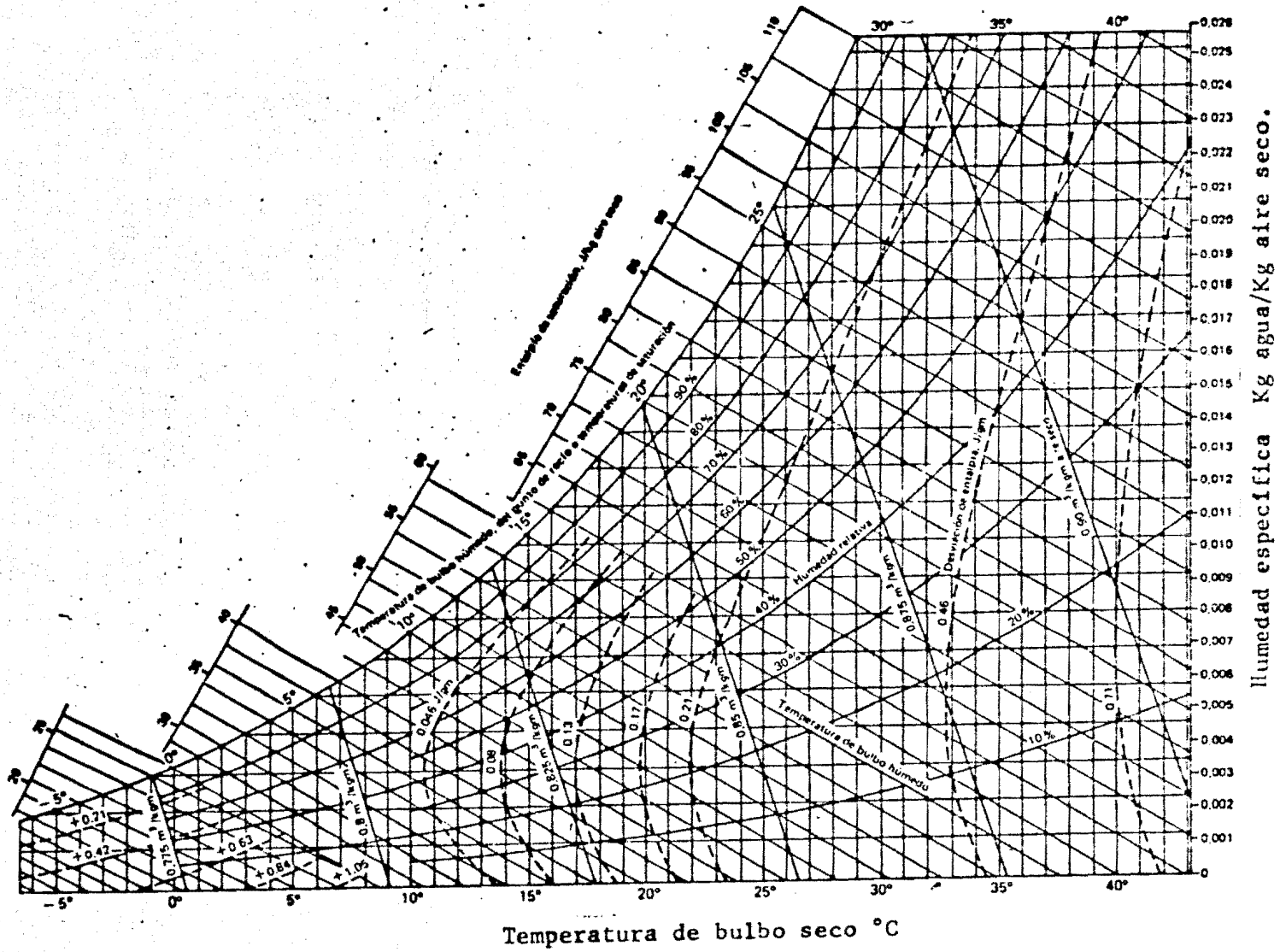
Nombre	Unidad	Símbolo
Masa	Kilogramo	Kg
Longitud	Metro	m
Tiempo	Segundo	s
Temperatura	Kelvin	k
Corriente eléctrica	Ampere	A
Intensidad luminosa	Candela	cd
Cantidad de materia	Mol	mol
Angulo plano	Radián	rad
Angulo sólido	Esteroradián	

II. UNIDADES DERIVADAS.

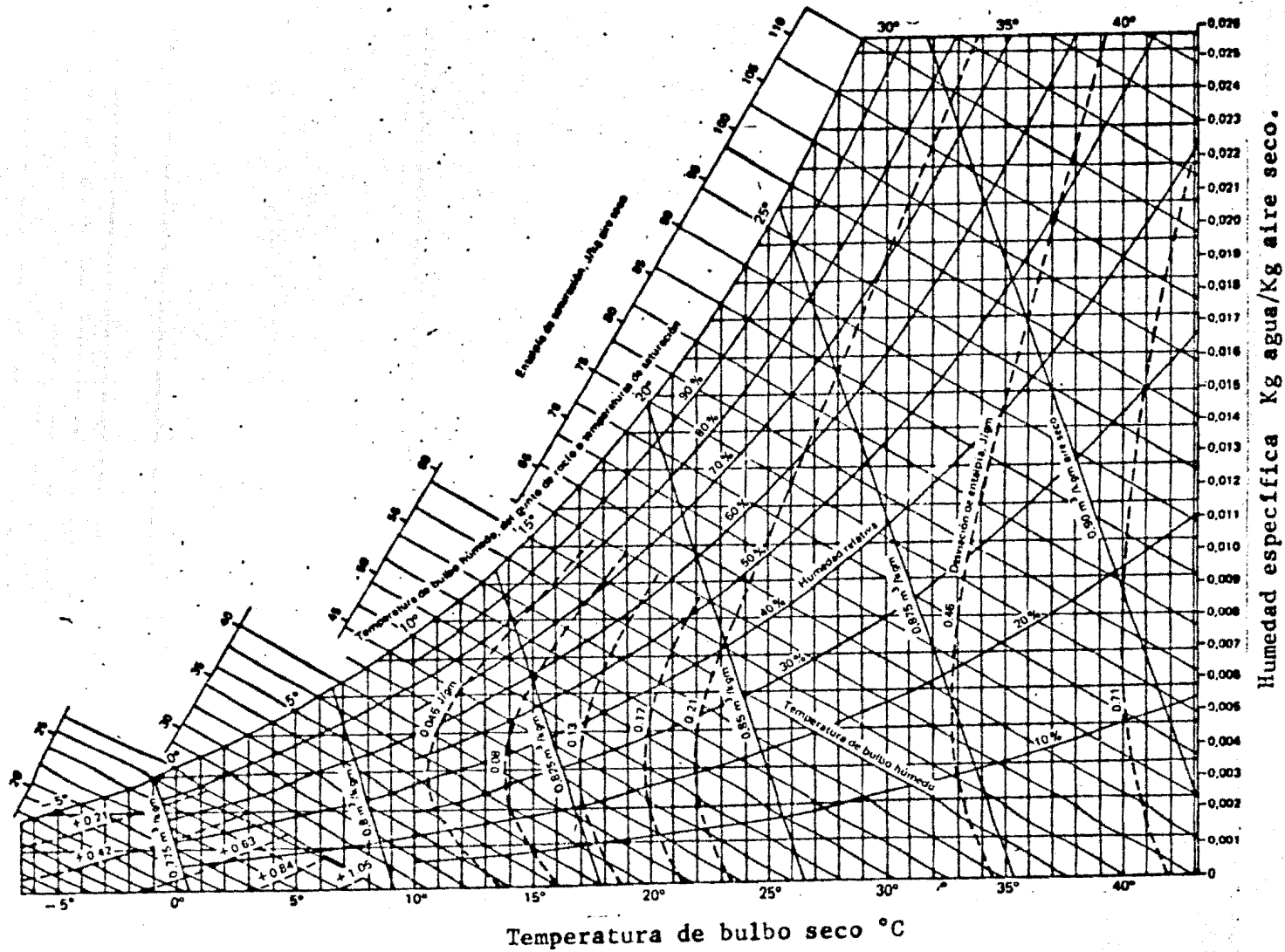
Area	Metro cuadrado	m ²
Aceleración	Metro por segundo por segundo	m/s ²
Aceleración angular	Radián por segundo por segundo	rad/s ²
Calor específico	Joule por Kilogramo- kelvin	J/Kg k
Carga eléctrica	Coulomb	C
Coefficiente de transferencia de calor	Watt por metro cua- drado kelvin	W/m ² k
Conductividad térmica	Watt por metro kelvin	W/m k
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	Kg/m ³
Densidad de flujo de calor	Watt por metro cuadrado	W/m ²
Entalpía	Joule por gramo	J/gm
Entropía	Joule por kelvin	J/k
Entrpía específica	Joule por kilogramo kelvin	J/Kg k
Frecuencia	Hertz	Hz
Fuerza	Newton	N
Potenci, flujo radiante	Watts	W
Presión	Pascal	Pa
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω
Temperatura	Grados Celsius	°C
Tensión eléctrica	Volts	V

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

Tensión superficial	Newton por metro	N/m
Trabajo, energía, calor	Joule	J
Velocidad	Metro por segundo	m/s
Velocidad angular	Radián por segundo	rad/s
Viscosidad dinámica	Pascal por segundo	Pa/s
Viscosidad cinemática	Metro cuadrado por segundo	m ² /s
Volumen	Metro cúbico	m ³
Volumen específico	Metro cúbico por kilogramo	m ³ /Kg



CARTA PSICROMETRICA.



CARTA PSICROMETRICA.

PROPIEDADES PSICROMETRICAS DEL AIRE

Temp. °F	Presión del vapor saturado		Peso del vapor saturado				Volumen en pies ³ Barom. 29.92 plg de Hg			Entalpia por libra		
	Pulgadas de Hg	Lb/plg ³	Por pie ³		Por libra de aire seco		de una libra de aire seco	de una libra de aire seco + vapor para saturación	Aire seco Datum 0°F	Vapor Datum 32°F	Aire seco con vapor para saturación	
			Libras	Granos	Libras	Granos						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
0	0.03773	0.01853	0.000067914	0.475	0.0007852	5.50	11.58	11.59	0.0000	1059.2	0.8317	
1	0.03975	0.01963	0.000071395	0.500	0.0008275	5.79	11.60	11.62	0.2401	1059.7	1.117	
2	0.04186	0.02056	0.000075021	0.525	0.0008714	6.10	11.63	11.64	0.4801	1060.1	1.404	
3	0.04409	0.02166	0.000078851	0.552	0.0009178	6.43	11.65	11.67	0.7201	1060.6	1.694	
4	0.04645	0.02282	0.000082890	0.580	0.0009671	6.77	11.68	11.70	0.9601	1061.0	1.986	
5	0.04886	0.02400	0.000087005	0.609	0.001017	7.12	11.70	11.72	1.200	1061.5	2.280	
6	0.05144	0.02527	0.000091399	0.640	0.001071	7.50	11.73	11.75	1.440	1061.9	2.577	
7	0.05412	0.02658	0.000095955	0.672	0.001127	7.89	11.75	11.77	1.680	1062.4	2.877	
8	0.05692	0.02796	0.00010070	0.705	0.001186	8.30	11.78	11.80	1.920	1062.8	3.180	
9	0.05988	0.02941	0.00010572	0.740	0.001247	8.73	11.80	11.83	2.160	1063.3	3.486	
10	0.06295	0.03092	0.00011090	0.776	0.001311	9.18	11.83	11.85	2.400	1063.7	3.795	
11	0.06618	0.03251	0.00011634	0.814	0.001379	9.65	11.86	11.88	2.640	1064.2	4.108	
12	0.06958	0.03418	0.00012206	0.854	0.001450	10.15	11.88	11.91	2.880	1064.6	4.424	
13	0.07309	0.03590	0.00012794	0.890	0.001523	10.66	11.91	11.93	3.120	1065.1	4.742	
14	0.07677	0.03771	0.00013410	0.939	0.001600	11.20	11.93	11.96	3.359	1065.5	5.064	
15	0.08067	0.03963	0.00014062	0.984	0.001682	11.77	11.96	11.99	3.599	1066.0	5.392	
16	0.08469	0.04160	0.00014732	1.031	0.001766	12.36	11.98	12.01	3.839	1066.4	5.722	
17	0.08895	0.04369	0.00015440	1.081	0.001855	12.99	12.00	12.04	4.079	1066.9	6.058	
18	0.09337	0.04586	0.00016174	1.132	0.001947	13.63	13.03	12.07	4.319	1067.3	6.397	
19	0.09797	0.04812	0.00016935	1.185	0.002043	14.30	12.06	12.09	4.559	1067.8	6.741	
20	0.1028	0.05050	0.00017747	1.242	0.002144	15.01	12.08	12.12	4.798	1068.2	7.088	
21	0.1078	0.05295	0.00018564	1.299	0.002250	15.75	12.11	12.15	5.038	1068.7	7.443	
22	0.1132	0.05560	0.00019439	1.361	0.002361	16.53	12.13	12.18	5.278	1069.1	7.802	
23	0.1186	0.05826	0.00020335	1.423	0.002476	17.33	12.16	12.20	5.518	1069.6	8.166	
24	0.1241	0.06111	0.00021276	1.489	0.002596	18.17	12.18	12.23	5.758	1070.0	8.536	
25	0.1301	0.06405	0.00022255	1.558	0.002722	19.05	12.21	12.26	5.998	1070.5	8.912	
26	0.1366	0.06710	0.00023278	1.629	0.002853	19.97	12.23	12.29	6.237	1070.9	9.292	
27	0.1432	0.07034	0.00024342	1.704	0.002991	20.94	12.26	12.32	6.477	1071.4	9.682	
28	0.1500	0.07368	0.00025445	1.781	0.003133	21.93	12.28	12.34	6.717	1071.8	10.075	
29	0.1571	0.07717	0.00026597	1.862	0.003283	22.99	12.31	12.37	6.957	1072.3	10.477	
30	0.1645	0.08080	0.00027797	1.946	0.003439	24.07	12.33	12.40	7.197	1072.7	10.886	
31	0.1722	0.08458	0.00029043	2.033	0.003601	25.21	12.36	12.43	7.437	1073.2	11.302	
32	0.1803	0.08856	0.00030343	2.124	0.003771	26.40	12.38	12.46	7.677	1073.6	11.726	
33	0.1879	0.09230	0.00031471	2.203	0.003931	27.52	12.41	12.49	7.917	1074.1	12.139	
34	0.1957	0.09610	0.00032690	2.288	0.004094	28.66	12.43	12.51	8.157	1074.5	12.556	
35	0.20360	0.1000	0.0003394	2.376	0.004262	29.83	12.46	12.54	8.397	1075.0	12.979	
36	0.21195	0.1041	0.0003527	2.469	0.004438	31.07	12.48	12.57	8.636	1075.4	13.409	
37	0.22050	0.1083	0.0003662	2.563	0.004618	32.33	12.51	12.60	8.876	1075.9	13.845	
38	0.22925	0.1126	0.0003799	2.660	0.004803	33.62	12.53	12.63	9.116	1076.3	14.285	
39	0.23842	0.1171	0.0003943	2.760	0.004996	34.97	12.56	12.66	9.356	1076.8	14.736	
40	0.24778	0.1217	0.0004090	2.863	0.005194	36.36	12.59	12.69	9.596	1077.2	15.191	
41	0.25755	0.1265	0.0004243	2.970	0.005401	37.80	12.61	12.72	9.836	1077.7	15.657	
42	0.26773	0.1315	0.0004401	3.081	0.005616	39.31	12.62	12.75	10.08	1078.1	16.13	
43	0.27832	0.1367	0.0004566	3.196	0.005840	40.88	12.66	12.78	10.32	1078.6	16.62	
44	0.28911	0.1420	0.0004735	3.315	0.006069	42.48	12.69	12.81	10.56	1079.0	17.11	

PROPIEDADES PSICROMETRICAS DEL AIRE

Temp. °F	Presión del vapor saturado		Peso del vapor saturado				Volumen en pies ³ Barom. 29.92 plg de Hg			Entalpia por libra		
	Pulgadas de Hg	Lb/plg ³	Por pie ³		Por libra de aire seco		de una libra de aire seco	de una libra de aire seco + vapor para saturación	Aire seco Datum 0°F	Vapor Datum 32°F	Aire seco con vapor para saturación	
			Libras	Granos	Libras	Granos						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
47	0.32393	0.1591	0.0005274	3.692	0.006808	47.66	12.76	12.90	11.28	1080.4	18.64	
48	0.33635	0.1652	0.0005465	3.826	0.007072	49.50	12.79	12.93	11.52	1080.8	19.16	
49	0.34917	0.1715	0.0005663	3.964	0.007345	51.42	12.81	12.96	11.76	1081.3	19.70	
50	0.36241	0.1780	0.0005866	4.106	0.007626	53.38	12.84	12.99	12.00	1081.7	20.25	
51	0.37625	0.1848	0.0006078	4.255	0.007921	55.45	12.86	13.02	12.23	1082.2	20.80	
52	0.39051	0.1918	0.0006296	4.407	0.008226	57.58	12.89	13.06	12.47	1082.6	21.38	
53	0.40496	0.1889	0.0006516	4.561	0.008534	59.74	12.91	13.09	12.71	1083.1	21.95	
54	0.42003	0.2063	0.0006746	4.722	0.008856	61.99	12.94	13.12	12.95	1083.5	22.55	
55	0.43570	0.2140	0.0006984	4.889	0.009192	64.34	12.96	13.15	13.19	1084.0	23.15	
56	0.45179	0.2219	0.0007228	5.060	0.009536	66.75	12.99	13.19	13.43	1084.4	23.77	
57	0.46828	0.2300	0.0007477	5.234	0.009890	69.23	13.01	13.22	13.67	1084.9	24.40	
58	0.48538	0.2384	0.0007735	5.415	0.01026	71.82	13.04	13.25	13.91	1085.3	25.05	
59	0.50310	0.2471	0.0008003	5.602	0.01064	74.48	13.06	13.29	14.15	1085.8	25.70	
60	0.52142	0.2561	0.0008278	5.795	0.01103	77.21	13.09	13.32	14.39	1086.2	26.37	
61	0.54035	0.2654	0.0008562	5.993	0.01144	80.08	13.11	13.35	14.63	1086.7	27.06	
62	0.55970	0.2749	0.0008852	6.196	0.01186	83.02	13.14	13.39	14.87	1087.1	27.76	
63	0.57985	0.2848	0.0009153	6.407	0.01229	86.03	13.16	13.42	15.11	1087.6	28.48	
64	0.60042	0.2949	0.0009460	6.622	0.01274	89.18	13.19	13.46	15.35	1088.0	29.21	
65	0.62179	0.3054	0.0009778	6.845	0.01320	92.40	13.21	13.49	15.59	1088.5	29.96	
66	0.64378	0.3162	0.0010105	7.074	0.01368	95.76	13.24	13.53	15.83	1088.9	30.73	
67	0.66638	0.3273	0.0010440	7.308	0.01417	99.19	13.26	13.57	16.07	1089.4	31.51	
68	0.68980	0.3388	0.0010816	7.571	0.01468	102.8	13.29	13.60	16.31	1089.8	32.31	
69	0.71382	0.3506	0.0011140	7.798	0.01520	106.4	13.31	13.64	16.55	1090.3	33.12	
70	0.73866	0.3628	0.0011507	8.055	0.01574	110.2	13.34	13.68	16.79	1090.7	33.96	
71	0.76431	0.3754	0.0011884	8.319	0.01631	114.2	13.37	13.71	17.03	1091.2	34.83	
72	0.79058	0.3883	0.0012269	8.588	0.01688	118.2	13.40	13.75	17.27	1091.6	35.70	
73	0.81766	0.4016	0.0012667	8.867	0.01748	122.4	13.42	13.79	17.51	1092.1	36.60	
74	0.84555	0.4153	0.0013075	9.153	0.01809	126.6	13.44	13.83	17.75	1092.5	37.51	
75	0.87448	0.4295	0.0013497	9.448	0.01873	131.1	13.47	13.87	17.99	1093.0	38.46	
76	0.90398	0.4440	0.0013927	9.749	0.01938	135.7	13.49	13.91	18.23	1093.4	39.42	
77	0.93452	0.4590	0.0014371	10.06	0.02005	140.4	13.52	13.95	18.47	1093.9	40.40	
78	0.96588	0.4744	0.0014825	10.38	0.02075	145.3	13.54	13.99	18.71	1094.3	41.42	
79	0.99825	0.4903	0.0015295	10.71	0.02147	150.3	13.57	14.03	18.95	1094.8	42.46	
80	1.0316	0.5067	0.0015777	11.04	0.02221	155.5	13.59	14.08	19.19	1095.2	43.51	
81	1.0661	0.5236	0.0016273	11.39	0.02298	160.9	13.62	14.12	19.43	1095.7	44.61	
82	1.1013	0.5409	0.0016781	11.75	0.02377	166.4	13.64	14.16	19.67	1096.1	45.72	
83	1.1377	0.5588	0.0017304	12.11	0.02459	172.1	13.67	14.21	19.91	1096.6	46.88	
84	1.1752	0.5772	0.0017841	12.40	0.02543	178.0	13.69	14.26	20.15	1097.0	48.05	
85	1.2135	0.5960	0.0018389	12.87	0.02629	184.0	13.72	14.30	20.39	1097.5	49.24	
86	1.2527	0.6153	0.0018950	13.27	0.02718	190.3	13.74	14.34	20.63	1097.9	50.47	
87	1.2933	0.6352	0.0019531	13.67	0.02810	196.7	13.77	14.39	20.87	1098.4	51.74	
88	1.3346	0.6555	0.0020116	14.08	0.02904	203.3	13.79	14.44	21.11	1098.8	53.02	
89	1.3774	0.6765	0.0020725	14.51	0.03002	210.1	13.82	14.48	21.35	1099.3	54.35	
90	1.4231	0.6980	0.0021344	14.94	0.03102	217.1	13.84	14.53	21.59	1099.7	55.70	
91	1.4661	0.7201	0.0021982	15.39	0.03205	224.4	13.87	14.58	21.83	1100.2	57.09	
92	1.5125	0.7429	0.0022634	15.84	0.03312	231.8	13.89	14.63	22.07	1100.6	58.52	
93	1.5600	0.7662	0.0023304	16.31	0.03421	239.5	13.92	14.69	22.32	1101.1	59.99	

PROPIEDADES PSICROMETRICAS DEL AIRE

Temp. °F	Presión del vapor saturado		Peso del vapor saturado				Volumen en pies ³ Barom. 29.92 plg de Hg			Entalpia por libra		
	Pulgadas de Hg	Lb/plg ³	Por pie ³		Por libra de aire seco		de una libra de aire seco	de una libra de aire seco + vapor para sa- turación	Aire seco Datum °F	Vapor Datum 32°F	Aire seco con vapor para sa- turación	
			Libras	Granos	Libras	Granos						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
94	1.6088	0.7902	0.0023992	16.79	0.03535	247.5	13.94	14.73	22.56	1101.5	61.50	
95	1.6591	0.8149	0.0024697	17.28	0.03652	255.6	13.97	14.79	22.80	1102.0	63.05	
96	1.7108	0.8403	0.0025425	17.80	0.03772	264.0	13.99	14.84	23.04	1102.4	64.62	
97	1.7638	0.8663	0.0026164	18.31	0.03896	272.7	14.02	14.90	23.28	1102.9	66.25	
98	1.8181	0.8930	0.0026925	18.85	0.04024	281.7	14.02	14.95	23.52	1103.3	67.92	
99	1.8741	0.9205	0.0027700	19.39	0.04156	290.9	14.07	15.01	23.76	1103.8	69.63	
100	1.9316	0.9487	0.0028506	19.95	0.04293	300.5	14.10	15.07	24.00	1104.2	71.40	
101	1.9904	0.9776	0.0029316	20.52	0.04433	310.3	14.12	15.12	24.24	1104.7	73.21	
102	2.0507	1.0072	0.0030156	21.11	0.04577	320.4	14.15	15.18	24.48	1105.1	75.06	
103	2.1128	1.0377	0.0031017	21.71	0.04726	330.8	14.17	15.25	24.72	1105.6	76.97	
104	2.1763	1.0689	0.0031887	22.32	0.04879	341.5	14.20	15.31	24.96	1106.0	78.92	
105	2.2414	1.1009	0.0032786	22.95	0.05037	352.6	14.22	15.37	25.20	1106.5	80.93	
106	2.3084	1.1338	0.0033715	23.60	0.05200	364.0	14.25	15.44	25.44	1106.9	83.00	
107	2.3770	1.1675	0.0034650	24.26	0.05368	375.8	14.27	15.50	25.68	1107.4	85.13	
108	2.4473	1.2020	0.0035612	24.93	0.05541	387.9	14.30	15.57	25.92	1107.8	87.30	
109	2.5196	1.2375	0.0036603	25.62	0.05719	400.3	14.32	15.64	26.16	1108.3	89.54	
110	2.5939	1.274	0.0037622	26.34	0.05904	413.3	14.35	15.71	26.40	1108.7	91.86	
111	2.6692	1.311	0.0038669	27.07	0.06092	426.4	14.37	15.78	26.64	1109.2	94.21	
112	2.7466	1.350	0.0039729	27.81	0.06292	440.4	14.39	15.85	26.88	1109.6	96.70	
113	2.8280	1.389	0.0040816	28.57	0.06493	454.5	14.42	15.93	27.12	1110.1	99.20	
114	2.9044	1.429	0.0041911	29.34	0.06700	469.0	14.45	16.00	27.36	1110.5	101.76	
115	2.9929	1.470	0.0043047	30.13	0.06913	483.9	14.47	16.08	27.60	1111.0	104.40	
116	3.0784	1.512	0.0044208	30.95	0.07134	499.4	14.50	16.16	27.84	1111.4	107.13	
117	3.1660	1.555	0.0045372	31.76	0.07361	515.3	14.52	16.24	28.08	1111.9	109.92	
118	3.2576	1.600	0.0046620	32.63	0.07600	532.0	14.55	16.32	28.32	1112.3	112.85	
119	3.3492	1.645	0.0047846	33.49	0.07840	548.8	14.57	16.41	28.56	1112.8	115.80	
120	3.4449	1.692	0.0049115	34.38	0.08093	566.5	14.60	16.50	28.80	1113.2	118.89	
121	3.5406	1.739	0.005040	35.28	0.08348	584.4	14.62	16.58	29.04	1113.7	122.01	
122	3.6404	1.788	0.005173	36.21	0.08616	603.1	14.65	16.68	29.28	1114.1	125.27	
123	3.7422	1.838	0.005311	37.18	0.08892	622.4	14.67	16.77	29.52	1114.6	128.63	
124	3.8460	1.889	0.005450	38.15	0.09175	642.3	14.70	16.87	29.76	1115.0	132.06	
125	3.9519	1.941	0.005590	39.13	0.09466	662.6	14.72	16.96	30.00	1115.5	135.59	
126	4.0618	1.995	0.005734	40.14	0.09770	683.9	14.75	17.06	30.24	1115.9	139.26	
127	4.1718	2.049	0.005882	41.17	0.1008	705.6	14.77	17.17	30.48	1116.4	143.01	
128	4.2858	2.105	0.006031	42.22	0.1040	728.0	14.80	17.27	30.72	1116.8	146.87	
129	4.4039	2.163	0.006188	43.32	0.1074	751.8	14.83	17.38	30.96	1117.3	150.96	
130	4.5220	2.221	0.006344	44.41	0.1107	774.9	14.85	17.49	31.20	1117.7	154.93	
131	4.6441	2.281	0.006504	45.53	0.1143	800.1	14.88	17.61	31.45	1118.2	159.26	
132	4.7703	2.343	0.006671	46.70	0.1180	826.0	14.90	17.73	31.69	1118.6	163.68	
133	4.8986	2.406	0.006839	47.87	0.1218	852.6	14.93	17.85	31.93	1119.1	168.24	
134	5.0289	2.470	0.007010	49.07	0.1257	879.9	14.95	17.97	32.17	1119.5	172.89	
135	5.1633	2.536	0.007185	50.30	0.1297	907.9	14.98	18.10	32.41	1120.0	177.67	
136	5.2997	2.603	0.007364	51.55	0.1339	937.3	15.00	18.23	32.65	1120.4	182.67	
137	5.4402	2.672	0.007547	52.83	0.1382	967.4	15.03	18.36	32.89	1120.9	187.80	
138	5.5827	2.742	0.007732	54.12	0.1427	998.9	15.05	18.50	33.13	1121.3	193.14	
139	5.7293	2.814	0.007923	55.46	0.1473	1,031.1	15.08	18.65	33.37	1121.8	198.61	

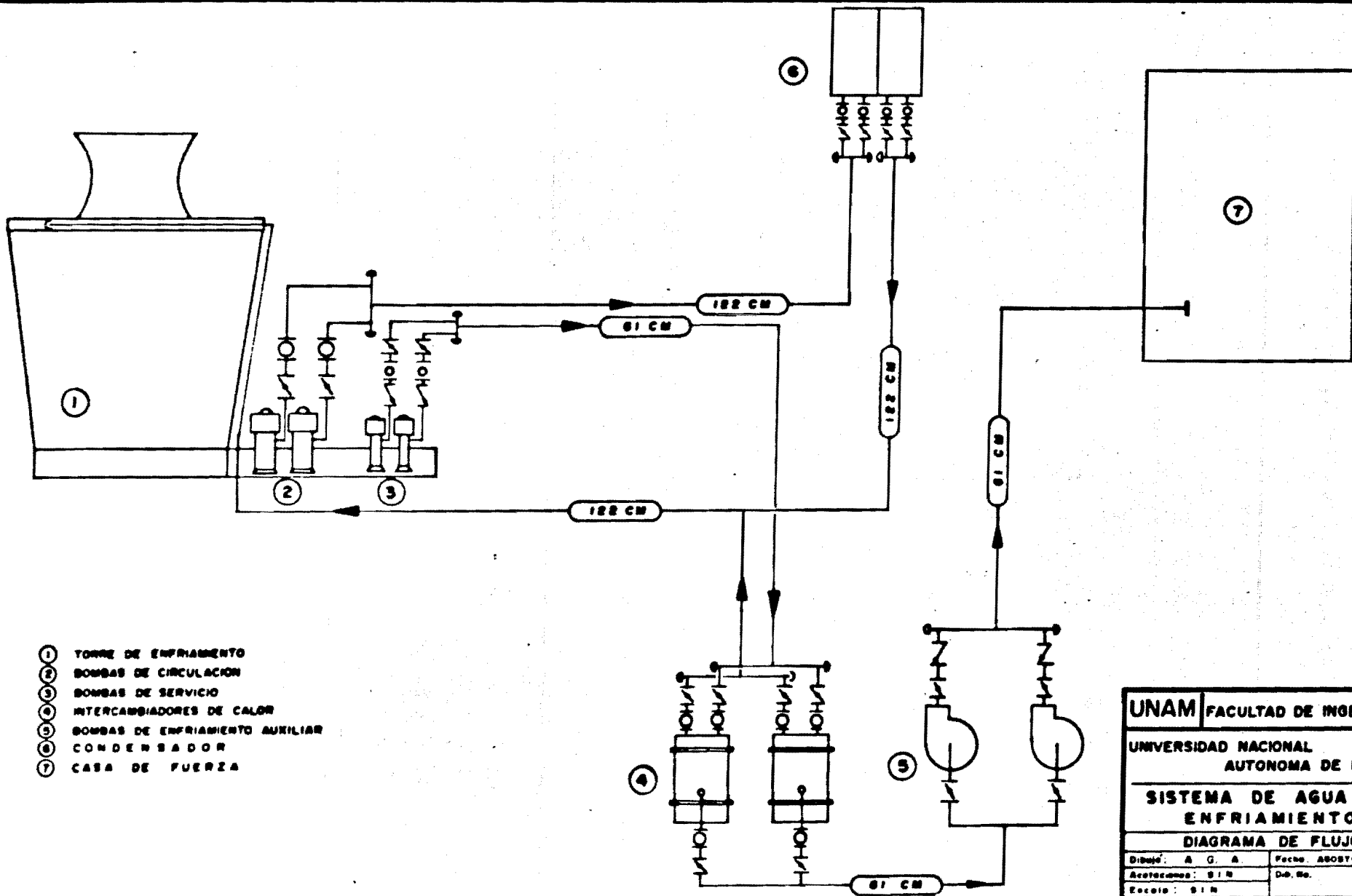
PROPIEDADES PSICROMETRICAS DEL AIRE

Temp. °F	Presión del vapor saturado		Peso del vapor saturado				Volumen en pies ³ Barom. 29.92 plg de Hg		Entalpia por libra		
	Pulgadas de Hg	Lb/plg ³	Por pie ³		Por libra de aire seco		de una libra de aire seco	de una libra de aire seco + vapor para sa- turación	Aire seco Datum 0°F	Vapor Datum 32°F	Aire seco con vapor para sa- turación
			Libras	Granos	Libras	Granos					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
140	5.8779	2.887	0.008116	56.81	0.1521	1,064.7	15.10	18.79	33.61	1122.2	204.30
141	6.0306	2.962	0.008313	58.19	0.1570	1,099.0	15.13	18.94	33.85	1122.7	210.11
142	6.1874	3.039	0.008516	59.61	0.1622	1,135.4	15.15	19.10	34.09	1123.1	216.26
143	6.3482	3.118	0.008724	61.07	0.1675	1,172.5	15.18	19.26	34.33	1123.6	222.53
144	6.5111	3.198	0.008933	62.53	0.1730	1,211.0	15.20	19.43	34.57	1124.0	229.02
145	6.6781	3.280	0.009148	64.04	0.1787	1,250.9	15.23	19.60	34.81	1124.5	235.76
146	6.8471	3.363	0.009366	65.56	0.1846	1,292.2	15.25	19.78	35.05	1124.9	242.71
147	7.0222	3.449	0.009590	67.13	0.1908	1,335.6	15.28	19.96	35.29	1125.4	250.02
148	7.1993	3.536	0.009817	68.72	0.1971	1,379.7	15.30	20.15	35.53	1125.8	257.43
149	1.3805	3.625	0.010040	70.28	0.2037	1,425.9	15.33	20.35	35.77	1126.3	265.20
150	7.5658	3.716	0.010284	71.99	0.2105	1,473.5	15.35	20.55	36.02	1126.7	273.19
151	7.7551	3.809	0.010526	73.68	0.2176	1,523.2	15.38	20.76	36.26	1127.2	281.54
152	7.9485	3.904	0.010772	75.40	0.2250	1,575.0	15.40	20.97	36.50	1127.6	290.21
153	8.1460	4.001	0.011022	77.15	0.2327	1,628.9	15.43	21.20	36.74	1128.1	299.25
154	8.3476	4.100	0.011279	78.95	0.2407	1,684.9	15.45	21.43	36.98	1128.5	308.61
155	8.5532	4.201	0.011539	80.77	0.2490	1,743.0	15.48	21.67	37.22	1129.0	318.34
156	8.7650	4.305	0.011807	82.65	0.2577	1,803.9	15.50	21.93	37.46	1129.4	328.51
157	8.9788	4.410	0.012077	81.54	0.2667	1,866.9	15.53	22.19	37.70	1129.9	339.04
158	9.1986	4.518	0.012354	86.48	0.2761	1,932.7	15.56	22.46	37.94	1130.3	350.02
159	9.4206	4.627	0.012634	88.44	0.2858	2,000.6	15.58	22.74	38.18	1130.8	361.36
160	9.6186	4.739	0.012919	90.43	0.2961	2,072.7	15.61	23.03	38.43	1132.2	373.38
161	9.8807	4.853	0.013211	92.48	0.3067	2,146.9	15.63	23.33	38.67	1131.7	385.76
162	10.119	4.970	0.013509	94.56	0.3179	2,225.3	15.66	23.65	38.91	1132.1	398.80
163	10.361	5.089	0.013812	96.68	0.3295	2,306.5	15.68	23.98	39.15	1132.5	412.34
164	10.608	5.210	0.014120	98.84	0.3416	2,391.2	15.71	24.33	39.39	1133.0	426.42

TABLA No.2

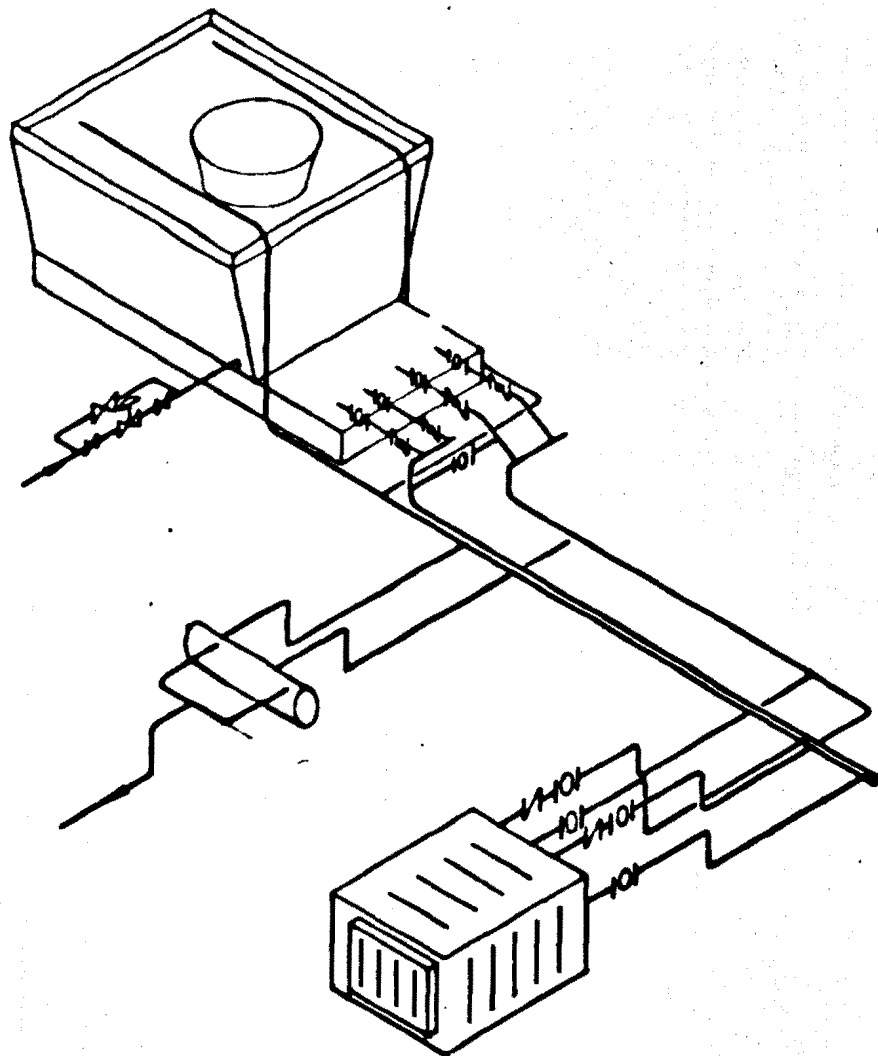
Valores de f para tubería de acero.

Diam. en pulg.	Velocidad en pies por segundo					
	1	2	3	4	5	6
4	0.0285	0.0255	0.0240	0.0230	0.0225	0.0220
6	0.0265	0.0240	0.0225	0.0215	0.0210	0.0200
8	0.0255	0.0230	0.0215	0.0205	0.0200	0.0195
10	0.0245	0.0220	0.0205	0.0200	0.0190	0.0185
12	0.0235	0.0215	0.0200	0.0190	0.0185	0.0180
14	0.0233	0.0210	0.0197	0.0188	0.0183	0.0178
16	0.0228	0.0205	0.0194	0.0185	0.0180	0.0175
18	0.0220	0.0200	0.0190	0.0180	0.0175	0.0170
20	0.0215	0.0195	0.0185	0.0175	0.0170	0.0165
24	0.0215	0.0195	0.0185	0.0175	0.0170	0.0165
30	0.0200	0.0185	0.0175	0.0165	0.0160	0.0155
36	0.0195	0.0180	0.0170	0.0160	0.0155	0.0150
42	0.0190	0.0175	0.0165	0.0155	0.0150	0.0145
48	0.0185	0.0170	0.0160	0.0155	0.0150	0.0145
60	0.0180	0.0165	0.0155	0.0150	0.0145	0.0140
72	0.0175	0.0160	0.0150	0.0145	0.0140	0.0135
84	0.0170	0.0155	0.0145	0.0140	0.0135	0.0130
96	0.0165	0.0150	0.0140	0.0135	0.0130	0.0125

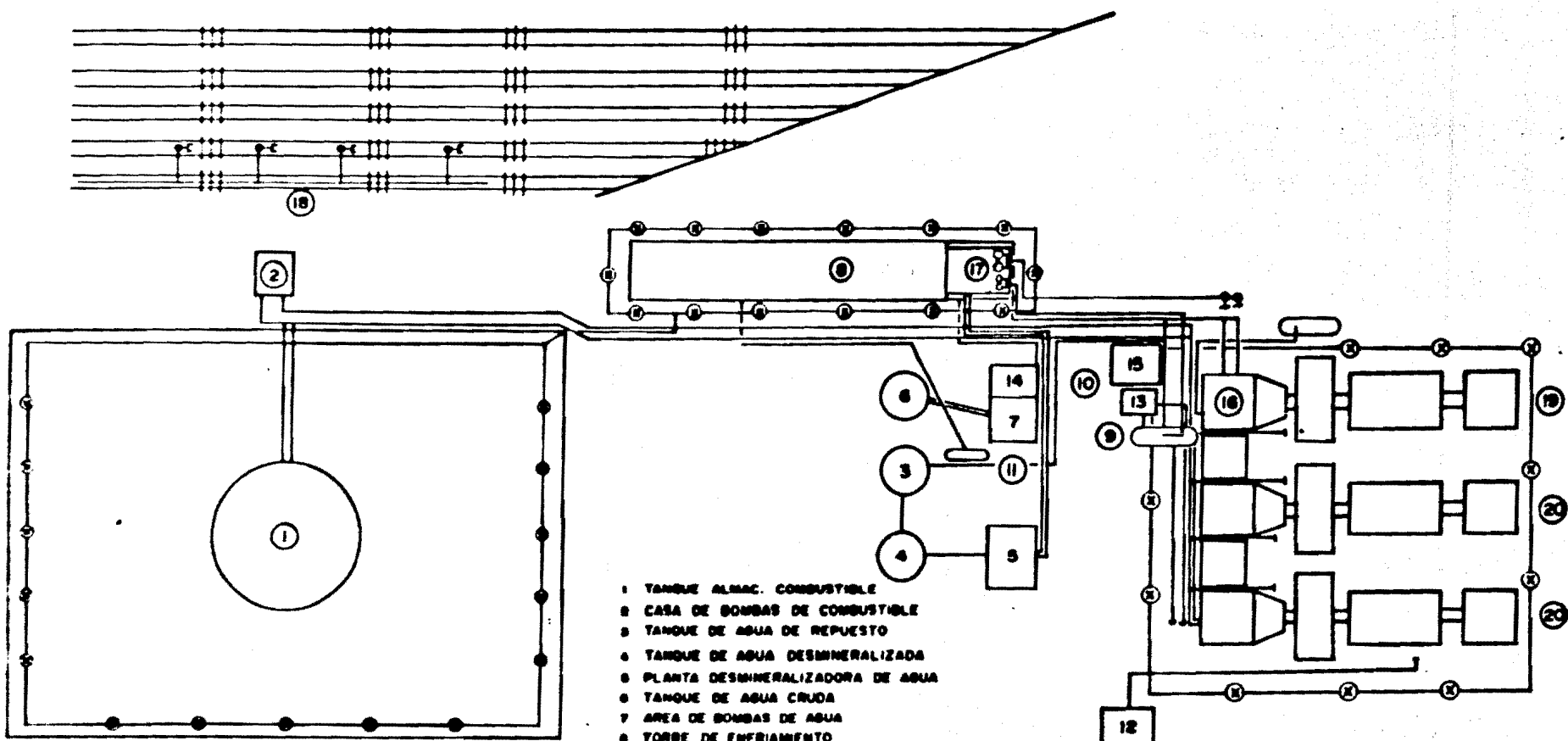


- ① TORRE DE ENFRIAMIENTO
- ② BOMBAS DE CIRCULACION
- ③ BOMBAS DE SERVICIO
- ④ INTERCAMBIADORES DE CALOR
- ⑤ BOMBAS DE ENFRIAMIENTO AUXILIAR
- ⑥ CONDENSADOR
- ⑦ CASA DE FUERZA

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	
DIAGRAMA DE FLUJO	
Dibujó: A. G. A.	Fecha: AGOSTO / 1978
Aprobado: S. N.	Dd. No.
Escala: S. N.	

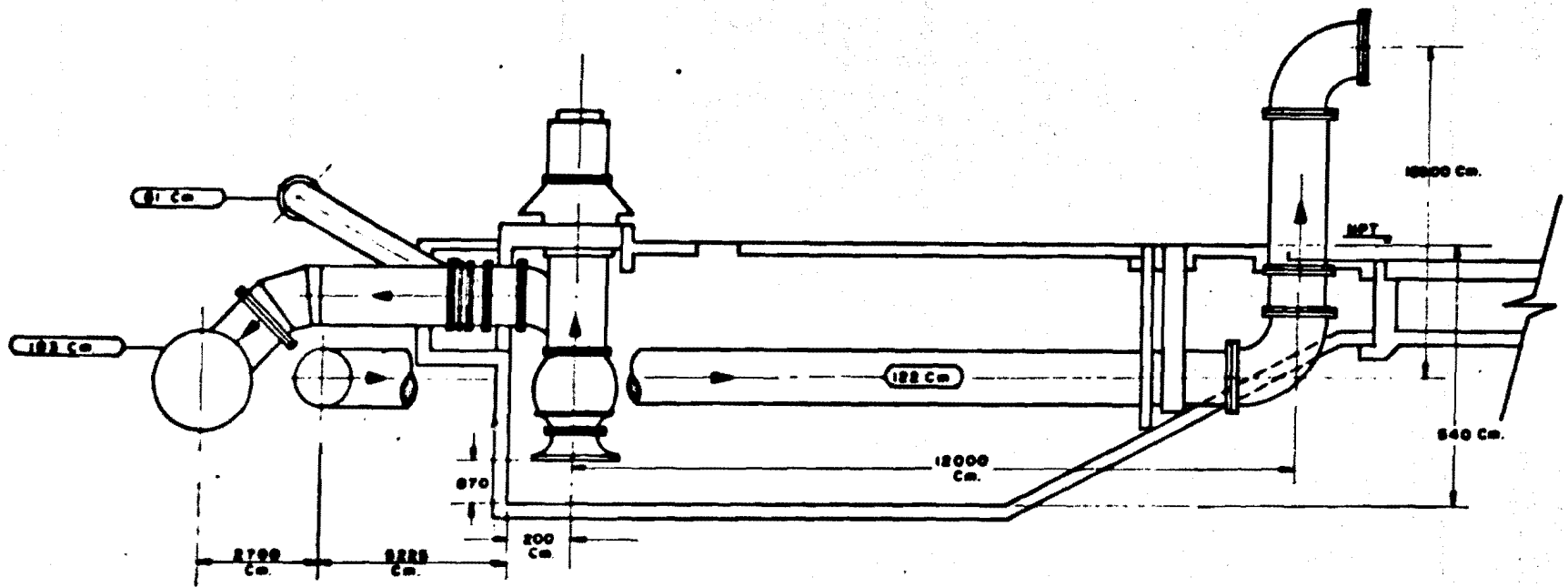


UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AL CONDENSADOR	
ESQUEMATICO	
Diseño: A. G. A.	Fecha: AGOSTO / 1978
Aprobación: S. I. B.	NO. DE: 2
Escuela: S. I. B.	



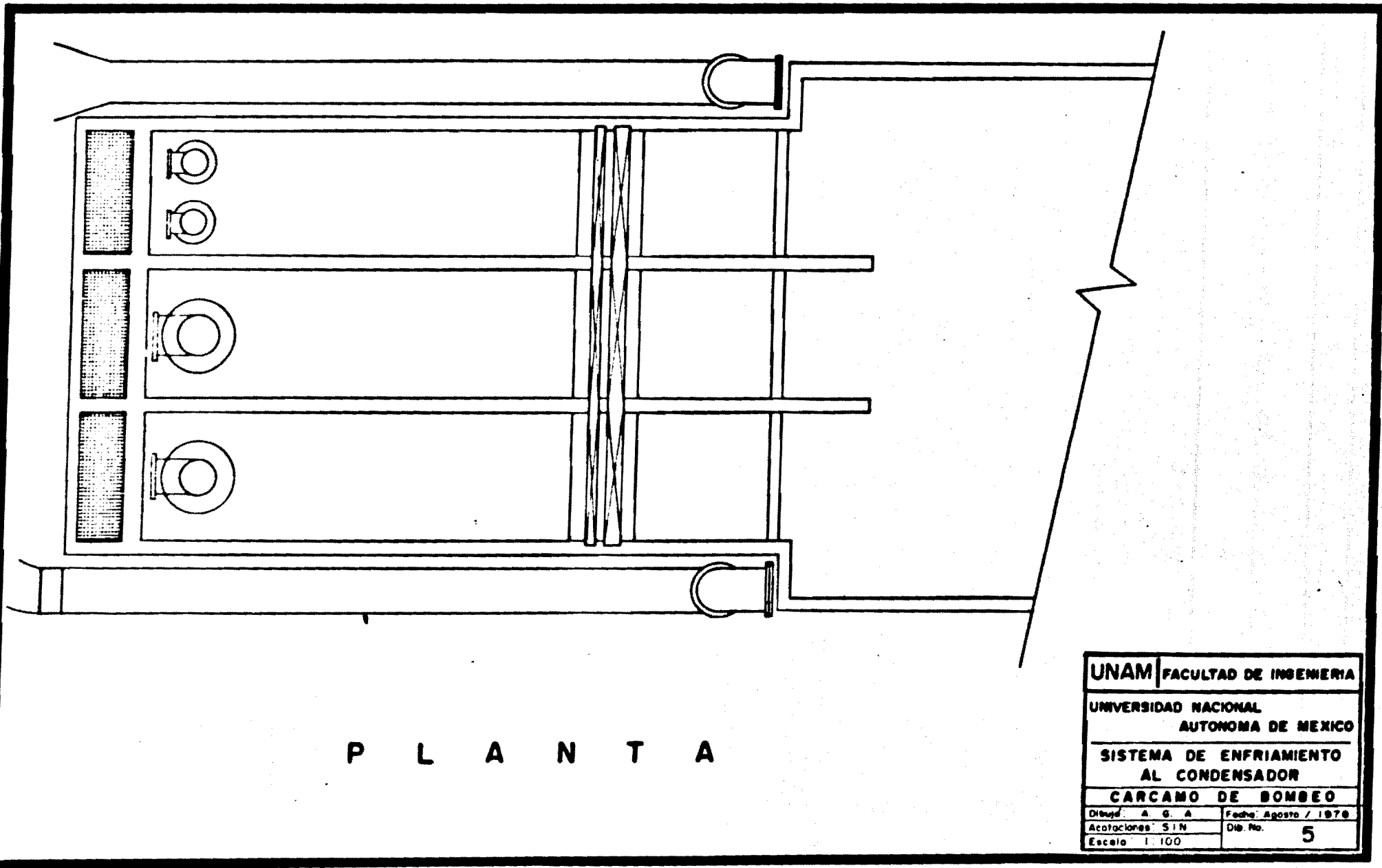
- 1 TANQUE ALMAC. COMBUSTIBLE
- 2 CASA DE BOMBAS DE COMBUSTIBLE
- 3 TANQUE DE AGUA DE REPUESTO
- 4 TANQUE DE AGUA DESMINERALIZADA
- 5 PLANTA DESMINERALIZADORA DE AGUA
- 6 TANQUE DE AGUA CRUDA
- 7 AREA DE BOMBAS DE AGUA
- 8 TORRE DE ENFRIAMIENTO
- 9 CAMBIADOR DE CALOR
- 10 TANQUE DE CLORO
- 11 TANQUE DE ACIDO SULFURICO
- 12 CASETA DE HIDROGENO
- 13 BOMBAS DE CICLO CERRADO
- 14 SISTEMA DE CLORACION
- 15 CONDENSADOR
- 16 CASETA DE CONTROL
- 17 BOMBAS DE CIRCULACION
- 18 ZONA DE DESCARGA DE COMBUSTIBLE
- 19 TURBINA DE VAPOR
- 20 TURBINAS DE GAS

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AL CONDENSADOR	
ARREGLO DE LA PLANTA	
Dibujó: A. G. A.	Fecha: agosto / 1978
Asociación: S I M	Op. No.
Escala: S I M	3



VISTA LATERAL

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AL CONDENSADOR			
CARCAMO DE BOMBEO			
Dibujó: A. G. A.		Fecha: AGOSTO / 1978	
Autorizado: G. M.		Dib. No.	
Escala: G. M.		4	



P L A N T A

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AL CONDENSADOR	
CARCAMO DE BOMBEO	
Dibuj. A. G. A.	Fecha: Agosto / 1979
Anotaciones: SIN	Dib. No. 5
Escala: 1:100	