

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA RED DE VAPOR PARA EL CURADO  
DEL BLOQUE DE PIEDRA PÓMEZ**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JULIO CÉSAR JUÁREZ PÉREZ**

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE 1, 1999

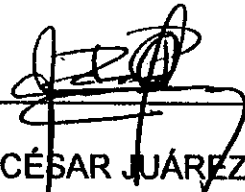


HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis, titulado :

**DISEÑO DE UNA RED DE VAPOR PARA EL CURADO  
DEL BLOQUE DE PIEDRA PÓMEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 3 de febrero de 1,999. Ref. CIM 236.99.

  
\_\_\_\_\_  
JULIO CÉSAR JUÁREZ PÉREZ

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL PRIMERO:	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL TERCERO:	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL CUARTO:	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL QUINTO:	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA:	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Ludwin Raymond Taylor Cruz
EXAMINADOR:	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR:	Ing. Erick René Guerrero Silva
SECRETARIA:	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

Guatemala, 29 de Mayo de 1999

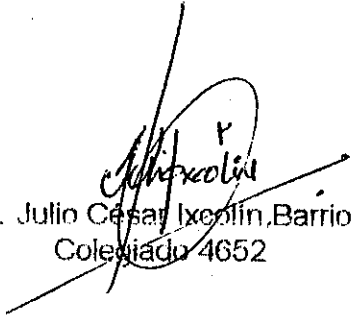
Ingeniero  
Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador de la Carrera de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
U.S.A.C

Señor Coordinador :

De la manera más atenta me dirijo a Usted, para informarle que he asesorado el trabajo de tesis de Julio César Juárez Pérez, titulado : **DISEÑO DE UNA RED DE VAPOR PARA EL CURADO DEL BLOQUE DE PIEDRA POMEZ**.

Después de leer y analizar los conceptos expuestos en este trabajo de tesis y estando satisfecho en mi calidad como asesor me permito someterla a su consideración.

Atentamente,

  
Ing. Julio César Ixeolín Barrios  
Colegiado 4652



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Area Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer la aprobación del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Diseño de una Red de Vapor para el Curado del Bloque de Piedra Pómez, del estudiante Julio César Juárez Pérez, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Molina Zaldaña  
Coordinador de Area

Guatemala, julio de 1,999.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.  
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Térmica, al trabajo Diseño de una Red de Vapor para el Curado del Bloque de Piedra Fómez, del estudiante Julio César Juárez Pérez, procede a la autorización del mismo.

LEER Y ENSEÑAR A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR



Guatemala, octubre de 1,999.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.  
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Diseño de Una Red de Vapor para el Curado del Bloque de Piedra Pómez**, presentado por el estudiante universitario **Julio César Juárez Pérez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIYASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO

Guatemala, octubre de 1,999.



## **ACTO QUE DEDICO**

- A DIOS** Padre Bendito que me acompaña en cada momento.
- A MIS PADRES** José Felipe Juárez Requena  
Hilaria Felix Pérez.  
Por ser guía en mi vida, por su eterno amor y fortaleza cotidiana.
- A MIS HERMANOS** Julia Agripina, Adilia del Rosario (Q.E.P.D) y Roderico Leonel.  
Por su apoyo incondicional en cada época de mi vida.
- A MIS SOBRINOS** Danny Otoniel y Sindy del Rosario
- A MI FAMILIA EN GENERAL**
- A SAN MARCOS** Hermoso lugar que me vio crecer
- A USTED**



## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios, por permitirme cumplir una de mis metas**

**A mis padres, por ser tan especiales con mi persona.**

**Al ingeniero Julio César Ixcolín Barrios, por su asesoría en el presente trabajo de tesis y por su ayuda incondicional y confianza hacia mi persona.**

**A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por todos los conocimientos que me ha brindado para llegar a ser un profesional.**

**A las familias : Vásquez Juárez, Juárez Méndez, Juárez Fuentes y Vásquez Barrios por su colaboración constante.**

**A mis amigos : Marvin Sosa, Carlos Ovalle, Carlos Velásquez, Maricela, Paola, Roberto Vásquez, Alonzo y Roberto Ochoa, excompañeros de trabajo y especialmente a mis vecinos de San Marcos, quienes de uno u otra manera me ayudaron en mi carrera estudiantil.**

**A las empresas que me permitieron recabar la información y realizar la redacción del presente trabajo de tesis, especialmente a Bloteca, Xela-creto y Constructora D.C.A.**

**Todas las personas que contribuyeron a la realización del presente trabajo.**

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTADO DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	VIII
INTRODUCCIÓN	X
1. PROCESO DE FABRICACIÓN Y CURADO DEL BLOQUE	1
1.1 Propiedades de los materiales	2
1.1.1 Cemento Portland	2
1.1.2 Agregados	4
1.1.3 Agua	8
1.1.4 Aditivos	8
1.2 Proceso de fabricación del bloque	9
1.2.1 Selección y almacenamiento de materiales	10
1.2.2 Dosificación de la mezcla	10
1.2.3 Elaboración de la mezcla	11
1.2.4 Fabricación del bloque	11
1.2.5 Fraguado de los bloques	11
1.2.6 Curado de los bloques	12
1.3 Ensayos del bloque	13
1.4 Proceso de curado del bloque por medio de vapor	16
1.4.1 Condiciones del vapor	17
1.4.2 Cuarto de curado	17
1.4.3 Metodología del curado con vapor	18
2. CÁLCULO DE CONSUMO Y PÉRDIDA DE CALOR	21
2.1 Consumo de vapor	21
2.2 Pérdida de calor	22

2.3	Transferencia de calor	22
2.4	Definición del problema	31
2.4.1	Características del cuarto de curado	31
2.4.2	Condiciones de temperatura	33
2.5	Cálculo del flujo de vapor	34
2.5.1	Consumo de vapor	34
2.5.2	Transferencia de calor	35
2.6	Cálculo total del flujo del vapor	38
<b>3.</b>	<b>CÁLCULO Y DISEÑO DE LA RED DE VAPOR</b>	<b>51</b>
3.1	Generador de vapor	51
3.2	Sistema de distribución de vapor	52
3.2.1	Características.	52
3.2.2	Diámetro de tuberías	53
3.3	Accesorios para el sistema de distribución de vapor	55
3.3.1	Válvulas	58
3.3.2	Trampas de vapor	67
3.4	Aislamiento de tuberías de conducción	71
3.5	Instrumentos de medición	73
3.6	Cálculos de la red de vapor	74
3.7	Costos	81
<b>4.</b>	<b>PLANOS DE LAS INSTALACIONES DE VAPOR</b>	<b>97</b>
4.1	Cuartos de curado	98
4.2	Caldera – cabezal de caldera	99
4.3	Tubería principal y ramales	100
4.4	Detalles de ramales	101
4.5	Tubería en interior de cuartos de curado	102
4.6	Extracción de condensado en cabezal de caldera	103
4.7	Extracción de condensado en final de tubería principal	104
4.8	Simbología y especificaciones	105

<b>5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED</b>	<b>107</b>
5.1 Suministro de vapor al cuarto de curado	107
5.2 Operación de la red	108
5.3 Mantenimiento	112
5.4 Tipos de mantenimiento	112
5.4.1 Mantenimiento predictivo	113
5.4.2 Mantenimiento preventivo	114
5.4.3 Mantenimiento correctivo	122
5.4.4 Mantenimiento avería	123
5.5 Programa de mantenimiento productivo total (MPT)	126
5.6 Implementación del MPT	128
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>139</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>140</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>142</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>143</b>
<b>APÉNDICES</b>	<b>144</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Clasificación del bloque por el tipo y clase	1
2	Clasificación del bloque por su masa seca	1
3	Distribución de las instalaciones de la fábrica XELA-CRETO	14
4	Dirección general del flujo de calor en la transferencia de calor	22
5	Barra metálica sometida a temperatura	24
6	Flujo de calor a través de una pared simple	25
7	Flujo de calor a través de una pared compuesta	26
8	Flujo de calor a través de una tubería aislada	27
9	Movimiento de un fluido por convección	29
10	Factor de fricción en la tubería	56
11	Rugosidad relativa de tuberías	57
12	Viscosidad absoluta	57
13	Tipos de válvulas y elementos de composición	61
14	Descripción general de equipo y accesorios en la red	80
15	Descripción detallada de equipo y accesorios en la red	82
16	Control de actividades del proceso de curado	108
17	Listado de disponibilidad de operación de la red	109
18	Control de operación diaria del área de vapor	110
19	Control de operación semanal del área de vapor	111
20	Divisiones de la actividad de mantenimiento	113
21	Programa de mantenimiento predictivo	115
22	Programa de inspección trimestral de mantenimiento	117
23	Programas de inspección semestral de mantenimiento	120
24	Programas de inspección anual de mantenimiento	121

25	Reporte de mantenimiento correctivo	124
26	Tarjeta de control de equipos	129
27	Historial de equipos	130
28	Guía de evaluación periódica de TPM para calderas	132
29	Análisis de condición del equipo por TPM	133
30	Programa de mantenimiento para personal operativo	135
31	Hoja de información de fallas según TPM	137

### TABLAS

No.	Título	Pág.
I	Calor específico y conductividad térmica de varias sustancias	40
II	Propiedades del vapor saturado	43
III	Coefficiente de conductividad de película del aire	45
IV	Conductividad térmica del concreto	45
V	Conductividad térmica de aislantes y algunos materiales de construcción	46
VI	Rango permisible de velocidades en sistemas de tuberías	53
VII	Factor de longitud equivalente de accesorios	84
VIII	Capacidad de tuberías para transportar vapor	85
IX	Capacidad de flujo de vapor de válvulas reguladoras de temperatura	86
X	Factor de seguridad de trampas de vapor según aplicación	87
XI	Capacidades típicas para trampas de vapor de cubeta invertida	88
XII	Capacidades típicas para trampas termostáticas	90
XIII	Capacidades típicas de trampas de flotador y termostáticas	91
XIV	Forma de operación de trampas de vapor en condiciones especiales	92
XV	Carga de condensado en tubería aislada	93
XVI	Características físicas de tubería de acero	94
XVII	Conductividad térmica y densidad de aislantes	96
XVIII	Constantes para flujo de gases y vapores	96
XIX	Especificaciones de reguladores de temperatura serie 150, 152 y 175	144
XX	Capacidades de la válvula reductora de presión serie D	146
XXI	Dimensiones y pesos de la válvula reguladora de temperatura tipo DT	147

## LISTADO DE SÍMBOLOS

A	Área de la sección
BHP	Caballos de caldera
C	Carga de condensado
C'	Coefficiente de expansión del gas
C <sub>p</sub>	Calor específico
C <sub>v</sub>	Coefficiente de válvula
cm	Centímetros
d	Diámetro del cabezal de caldera
dT	Diferencia de temperatura a través de una sección
dX	Diferencia del espesor de una sección
FS	Factor de seguridad
f	Coefficiente de conductividad de película del aire
f	Factor de fricción de la tubería
G	Relación entre la masa del vapor y el área de la tubería
gph	Galones por hora
H	Calor latente del vapor
H.N.	Hierro negro
h <sub>c</sub>	Unidad de conductividad térmica promedio para la convección
hr	Hora
K	Coefficiente de descarga de la válvula
Kg	Kilogramos
Kk	Conductividad térmica del material
k'	Conductancia térmica de un cuerpo
L	Longitud
lb	Libras

lbv	Libras de vapor
MPa	Mega pascales
Ms	Masa del vapor circulante
m	Metro
$\dot{m}$	Flujo de vapor
min	Minuto
OT	Orden de trabajo
P	Presión
plg	Pulgadas
psi	Libras por pulgada cuadrada
Q	Carga de vapor utilizada por hora en un cuerpo
$Q_k$	Transferencia de calor por unidad de tiempo de un cuerpo
$R_k$	Resistencia térmica de un cuerpo
$Re$	Número de Reynolds
r	Radio
T	Temperatura
t	Tiempo
Vel	Velocidad permisible del vapor
Vol	Volumen del vapor
$V_s$	Volumen específico
W	Peso
X	Espesor de la sección
$\Delta$	Cambio
$\sigma$	Constante de Boltzman
$\epsilon$	Razón de emisividad del cuerpo
$\mu$	Viscosidad absoluta del fluido
$^{\circ}F$	Grados Fahrenheit de temperatura
$^{\circ}C$	Grados Centígrados de temperatura
$^{\circ}R$	Grados Rankine de temperatura



## GLOSARIO

<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales.
<b>BTU (British Thermal Unit)</b>	Cantidad de energía térmica necesaria para elevar de 63° a 64°F la temperatura de una libra de agua.
<b>Caballos de caldera (BHP)</b>	Un caballo caldera es la evaporación de 34.5 lbs de agua por hora a 212°F a la presión atmosférica.
<b>Calor específico</b>	Cantidad de calor que por kilogramo necesita un cuerpo para que su temperatura se eleve en un grado centígrado.
<b>Calcinación</b>	Operación efectuada en los hornos de cal para eliminar, mediante el calor del anhídrido carbónico (CO <sub>2</sub> ) y del carbonato cálcico (CaCO <sub>3</sub> ), para obtener el óxido de calcio CaO, cal viva.
<b>Cañuela</b>	Material aislante fabricado con fibras de vidrio, el cual es utilizado para disminuir la transferencia de calor de las tuberías de vapor hacia el exterior.
<b>Capacidad de medida</b>	Valores comprendidos entre el límite inferior y superior de la variable a medir en un instrumento.
<b>Clase de bloque</b>	Clasificación del bloque según la capacidad para soportar carga.
<b>"Clinker"</b>	Nódulos de material cocido y sin moler (cemento).

<b>Factor de seguridad</b>	Valor dimensional utilizado como grado de seguridad de la capacidad del equipo, para operar normalmente en pequeños porcentajes de variación de las condiciones normales.
<b>Grado del bloque</b>	Clasificación del bloque según la capacidad para soportar determinadas condiciones ambientales.
<b>Hidratación</b>	Reacción química que se produce al mezclar el cemento y el agua, formando productos cementantes que se adhieren entre sí a las partículas de grava y arena para alcanzar gran endurecimiento.
<b>Saturado</b>	Situación de un gas, un líquido o un sólido, disuelto en un solvente, cuando alcanza su máxima solubilidad (propiedad de los sólidos y gases de disolverse en los líquidos) en el mismo.
<b>Tamiz</b>	Chapa metálica con orificios circulares de tamaño establecido, fijo a su fuerte bastidor de hierro de madera.
<b>Tipo de bloque</b>	Clasificación del bloque según la masa seca que lo conforma.
<b>Trampa de vapor</b>	Dispositivo mecánico usado para dejar salir el condensado y aire de un sistema, mientras retiene el vapor vivo.
<b>Viscosidad</b>	Propiedad de un fluido que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas.

## INTRODUCCIÓN

El bloque de piedra pómez es un elemento de mampostería, utilizado para soportar determinada carga de la obra civil y como elemento de separación de ambientes dentro de la misma. El tipo y calidad del bloque depende de la capacidad de resistencia a la compresión, del porcentaje de absorción y del acabado superficial que presente.

La capacidad del bloque para soportar una carga en un tiempo determinado está ligada con la proporción de materia prima utilizada, el proceso de fabricación y del proceso de curado al que es sometido.

El proceso de curado necesita crear un ambiente favorable para que los materiales utilizados reaccionen a las características óptimas deseadas. Las condiciones para un ambiente adecuado son : saturación de humedad, temperatura relativamente alta y espacio aislado.

Actualmente, la demanda del bloque en el mercado local se ha incrementado significativamente ; debido a ello, los productores minimizan la calidad del curado para reducir el ciclo de producción. La deficiencia o falta del proceso de curado da como consecuencia que se distribuya al mercado un producto de baja calidad.

El proceso de curado del bloque por medio de vapor húmedo proporciona las condiciones ambientales necesarias para el curado, reduce el tiempo de producción y eleva la calidad del bloque.

Los objetivos para el presente trabajo de tesis son: dar a conocer las condiciones necesarias para realizar el proceso acelerado de curado utilizando vapor directo, determinar la cantidad de vapor a utilizar para realizar el proceso y diseñar las instalaciones de vapor; tomando en consideración, criterios óptimos que permitan obtener bloques económicos y de alta calidad. Los criterios óptimos se obtendrán de entrevistas, encuestas, investigaciones, cálculos matemáticos y criterios de diseño.

Se analizarán las materias primas utilizadas en el proceso de fabricación y se describen las condiciones necesarias para realizar el curado acelerado. El cálculo de la masa de vapor necesario para un caso especial se realiza a continuación, el cual se obtiene por ecuaciones de equilibrio térmico para conocer el consumo de vapor para el curado y mediante el análisis de la transferencia de calor de los materiales utilizados para realizar el cuarto de curado y red de distribución. En el tercer capítulo, se utilizan cálculos de diseño para determinar en base al flujo de vapor, las dimensiones de los elementos de generación y transporte de vapor hacia el lugar uso. El cuarto capítulo describe gráficamente por medio de planos, la distribución y ubicación de los elementos anteriormente determinados. Para finalizar, se describe un programa de operación y descripción de los tipos de mantenimiento que se pueden utilizar para mantener en óptimas condiciones de trabajo las instalaciones anteriormente diseñadas.

El diseño de las instalaciones de generación y distribución de vapor, así como de los cuartos de curado, se realizará en la fábrica de bloques XELA-CRETO, la cual se encuentra ubicada en la cabecera departamental de Quetzaltenango. La producción máxima es de 13,000 unidades diarias de bloques de diferente tipo y clase. Su proceso de fabricación es automatizado y la maquinaria se encuentra en condiciones normales de operación.

Utilizando el presente trabajo de tesis, el proceso de curado del bloque de piedra pómez con vapor saturado podrá ser implementado en otras fábricas productoras del mismo. Esto aumenta su producción y mejora la calidad suministrando al mercado un producto que cumple con los requerimientos establecidos por las instituciones encargadas de normar, controlar y supervisar el producto fabricado.

# 1. PROCESO DE FABRICACIÓN Y CURADO DEL BLOQUE

Los bloques de piedra pómez, son elementos de construcción elaborados con una mezcla de cemento, agregados y agua; es utilizado para conformar muros o paredes, dentro de los sistemas constructivos conocidos como de mampostería. Las características generales que presenta son: fácil manejo, resistente a la intemperie, aislante térmico y acústico, resistencia a la compresión y mínimo porcentaje de absorción.

Las características físicas y mecánicas de los bloques, así como sus medidas y tolerancias se encuentran establecidas por las normas realizadas por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). La norma COGUANOR NGO 41054 clasifica los bloques por su tipo y clase como se detalla en la figura 1:

Figura 1 Clasificación del bloque por el tipo y clase

CLASE	USO	GRADO	RESISTENCIA	
			MPA.	PSI.
A	Soportar carga	1 (Para usos generales)	7	1000
A	Soportar carga	2 (Para usos limitados)	5	700
B	No soporta carga	2 (Para usos limitados)	2,5	360

También se realiza otra clasificación, la cual se detalla en la figura 2 :

Figura 2 Clasificación del bloque por su masa seca (peso)

TIPO	PESO (Kg/m <sup>3</sup> )
1. Pesado	Mayor de 2000
2. Mediano	De 1680 a 2000
3. Liviano	Menor de 1680

Para conocer los métodos de prueba utilizados para determinar el valor de la masa seca y densidad aparente de los bloques, se recomienda consultar la norma COGUANOR No 41054. Para determinar las dimensiones, humedad y absorción de agua, se recomienda consultar la norma COGUANOR NO. 41056.

El bloque de piedra pómez está clasificado entre los bloques ligeros , debido a que su peso específico se encuentra en el rango menor de 1680 kg/m<sup>3</sup>, se encuentra fabricado con concretos livianos o ligeros.

Los materiales utilizados para la fabricación del bloque de piedra pómez son : cemento portland, agregados, agua y aditivos.

## **1.1 Propiedades de los materiales**

### **1.1.1 Cemento Portland**

La ASTM da en sus especificaciones la siguiente definición del Cemento Portland : "Cemento Portland es el producto obtenido por la molienda fina del clinker, producido por una calcinación hasta la temperatura de fusión incipiente de una mezcla íntima, rigurosa y homogénea de materiales arcillosos y calcáreos , sin adición posterior a la calcinación, excepto yeso calcinado o no calcinado en cantidad no mayor del 3 %" (1).

#### **1.1.1.1 Composición**

Los principales constituyentes del cemento portland son : cal, sílice y alúmina ; contiene pequeñas cantidades de óxido de hierro, magnesia, álcalis y bióxido de carbono. La combinación de los elementos cálcico, sílice, alúmina y hierro se combinan para formar : Aluminato tricálcico, Silicato tricálcico, Silicato dicálcico y Ferroaluminato tetracálcico.

Cuando el cemento se mezcla con el agua, los elementos que lo componen reaccionan químicamente produciendo las características siguientes :

- a) Aluminato tricálcico : es un compuesto que se hidrata muy rápidamente y produce considerable cantidad de calor, ocasiona el fraguado o rigidez inicial, pero contribuye muy poco a la resistencia última ; es menos resistente al ataque químico, y es vulnerable a la acción desintegrante de los sulfatos del agua del subsuelo, debido a sus cambios de volumen, induce al agrietamiento.
  
- b) Silicato tricálcico : es un compuesto que gelatiniza y que en muy pocas horas genera grandes cantidades de calor. La cantidad formada en la reacción del fraguado, tiene marcado efecto sobre la resistencia de la mezcla en sus primeras etapas, principalmente en los primeros 14 días.
  
- c) Silicato dicálcico : es un compuesto que evoluciona lentamente con poca generación de calor. Es el que ocasiona el incremento progresivo de la resistencia a partir de los 14 días en adelante. Cuando la proporción formada de este compuesto es alta, se producen cementos de alta resistencia al ataque químico. Produce, por lo general, los cementos portland más durables.
  
- d) Ferro-aluminato tetracálcico : este compuesto es de poca importancia desde el punto de vista de la resistencia a la compresión, pero da resistencia química al ataque de sulfatos y tiende a bajar el calor de hidratación del cemento portland.

El tipo de cemento más utilizado para la fabricación de bloques de piedra pómez es el Cemento Portland modificado con puzolánicas del Tipo I, de clase 4000 psi. y el de 5000 psi.



### **1.1.2 Agregados**

Son un componente importante en la fabricación de los bloques, ya que consisten en un 85% ó 90% de la unidad. Los agregados deben tener la posibilidad de aglutinarse por medio del cemento para formar un cuerpo sólido, por lo que es muy importante su limpieza y durabilidad.

El agregado base para la fabricación de bloques de piedra pómez, es la arena de piedra pómez y el agregado adicional pueden ser : material selecto, arena de río y arena de mina. El porcentaje establecido experimentalmente es de 75% de arena de piedra pómez y 25% de material selecto. El agregado no toma parte en las reacciones químicas producidas durante el fraguado inicial del cemento, ya que tiene propiedades de expansión y calor específico diferentes.

Los agregados más utilizados para la fabricación del concreto liviano son :

#### **a) Arena de piedra pómez**

La piedra pómez proviene de una roca común de origen volcánico, son suficientemente fuertes y livianas como para utilizarse como agregado de bajo peso. Su ligereza se debe al hecho de ser lavas esponjosas, cuyas celdas se forman por escape de los gases al producirse enfriamiento brusco de la masa derretida ; es generalmente de color claro y tiene una textura bastante uniforme de pequeñas celdas interconectadas.

Las características que proporciona la arena de piedra pómez a la estructura del bloque son : resistencia mecánica, a las inclemencias del tiempo, a la acción desintegrante de los sulfatos, al ataque químico de las aguas saladas o suelos agresivos ; presenta características de impermeabilidad, peso liviano, aislamiento térmico y acústico.

En Guatemala se encuentra la arena de piedra pómez en casi todo el país, pero al momento de utilizarla para la fabricación es indispensable realizarle análisis de laboratorio.

#### **b) Material selecto**

Se llama selecto, al suelo granular con muy poca o ninguna plasticidad, cuyo uso, es el de la construcción de sub-bases para pavimentos, rellenos para pisos y de agregados al concreto liviano.

#### **1.1.2.1 Características físicas de los agregados**

Las principales características físicas de los agregados, que se deben de conocer para determinar una proporción adecuada, son :

- a) Granulometría
- b) Peso específico
- c) Absorción
- d) Contenido de materia orgánica

#### **a) Granulometría**

El tamaño de los granos juega un papel importante en la dosificación de la mezcla, el cual se determina al hacer pasar el material por una serie de tamices de tamaño establecido. Es conveniente apuntar que el tamaño máximo del agregado para la fabricación de bloques es generalmente de  $\frac{1}{2}$ " (12.5mm) , y el recomendado por las normas COGUANOR es de  $\frac{3}{8}$ " (9.5mm). La especificación general respecto al tamaño de los granos a utilizar en la fabricación del bloque, establece que el grano no debe de sobrepasar de  $\frac{1}{3}$  del espesor de las paredes del bloque.

## **b) Peso específico**

Es un índice útil y rápido para conocer la aptitud de un agregado. Un valor bajo indica que se trata de materiales porosos, débiles y absorbentes ; los valores altos indican compacidad, dureza y resistencia.

El peso específico, establece la cantidad de peso por unidad de volumen de los agregados. Para determinar el peso específico de una sustancia, se hace necesario conocer las condiciones estructurales del cual este formado, ya que, pueden incluir vacíos y humedad que pueden variar los resultados. De lo anteriormente descrito se puede obtener dos diferentes valores de peso específico :

1. Peso específico absoluto o real
2. Peso específico aparente

1. El peso específico absoluto o real es el peso de la unidad de volumen del material real, sin que tal volumen incluya los huecos de aire y partículas de humedad que existen en el material.
2. El peso específico aparente calculado sobre la base de material en condiciones normales de obtención, es el peso de la unidad de volumen del material, que incluye los huecos de aire y partículas de humedad que existen en el material.

Por lo tanto, la valorización del peso específico de los agregados es condición determinante para seleccionarlos de acuerdo con su peso, compacidad y resistencia de la mezcla que se quiera dosificar para un objetivo determinado.

## **c) Absorción**

La absorción establece la cantidad de agua que el material o agregados pueden atraer y retener entre sus moléculas. Se expresa en porcentaje del peso del

material seco, y, depende directamente de la porosidad de los materiales y de la intercomunicación de sus poros.

La determinación de la absorción en los agregados y cemento es de importancia principal, ya que determina la cantidad de agua inicial a dosificar para realizar la mezcla. La absorción incluye, además, la cantidad de agua necesaria para la hidratación de los aglomerantes y agregados.

Para determinar la absorción máxima del agua y del contenido de humedad del bloque, la norma COGUANOR No. 41056 establece un procedimiento de ensayo, el cual puede ser aplicable en las fábricas productoras.

El contenido de humedad de un agregado liviano después de estar en contacto con el agua depende del tiempo de exposición y del contenido inicial del agregado.

Por lo anterior se establece que al momento de realizar el proceso de fabricación del bloque, se determine el porcentaje del agua a utilizar con base en la norma COGUANOR, o en su efecto experimentalmente, para conocer la cantidad de agua a utilizar para realizar el fraguado inicial y curado del mismo.

#### **d) Contenido de materia orgánica**

La materia orgánica es perjudicial en los agregados que van a ser utilizados para la mezcla debido a que ejercen las siguientes acciones:

1. Retardar el endurecimiento de la mezcla
2. Disminuye la resistencia mecánica de la mezcla

Para determinar la cantidad de materia orgánica de los agregados, la ASTM en su norma número C-40-66 establece un procedimiento fácil de realizar al momento de la fabricación de los bloques.

### **1.1.3 Agua**

Elemento líquido utilizado para realizar la mezcla del cemento y agregados. El contenido de agua en el mezclado es muy importante, ya que a menor cantidad de agua aumenta la concentración de la pasta agua-cemento y logramos mayores resistencias. La cantidad de agua depende de las condiciones de humedad de los agregados y del porcentaje de absorción que tengan, así como la cantidad de agua que permita trabajar y manejar los materiales.

El agua a utilizar debe de ser potable, es decir: libre de materia orgánica, aceites, azúcares, arcilla, álcalis y otras sales. Si se utiliza agua sucia se reduce la resistencia del concreto y se daña con facilidad.

### **1.1.4 Aditivos**

Son productos que se agregan en el momento del mezclado del concreto, con el objeto de modificar alguna de sus propiedades o características, ya sea en estado fresco o endurecido.

Los principales aditivos que se aplican al concreto en estado fresco son :

- a) **Plastificantes** : hacen que el concreto sea más fluido sin tener que aumentar la cantidad de agua. Producen concretos más plásticos, menos segregables y con mayor manejabilidad. Usualmente tienen un reductor de agua con lo que se puede disminuir la cantidad de cemento y mejorar la resistencia.
  
- b) **Incorporadores o inclusores de aire** : facilitan la dispersión uniforme en la masa del concreto un elevado número de burbujas de aire muy pequeñas que tienen dos efectos : 1) mejorar la cohesión y manejabilidad de la mezcla, y 2) hacer más resistente el concreto a las heladas, por el efecto amortiguador de los vacíos al avanzar el congelamiento del agua.

- c) **Retardadores de fraguado** : aumentan el tiempo en el que el concreto se mantiene plástico y sin endurecer. Son útiles cuando hay mucho calor y viento, porque dejan más tiempo para transportar, colocar y empezar a curar el concreto.
  
- d) **Acelerantes del fraguado** : Producen un endurecimiento rápido del concreto. No se recomienda el uso en nuestro medio, salvo en casos especiales con buena supervisión del laboratorio. En tiempo de frío pueden ser útiles ya que el frío retarda el endurecimiento del concreto. Un aditivo comúnmente conocido es el cloruro de calcio, donde su cantidad máxima aceptada generalmente es de 2% en peso sobre el cemento.
  
- e) **Acelerantes de resistencia** : incrementan las resistencias iniciales del concreto, con lo que se puede reducir el tiempo de desmoldeado o desencofrado.

Entre los aditivos que modifican las propiedades del concreto endurecido están: impermeabilizante, neutralizantes de corrosión, colorantes, etc., pero su empleo debe de ser estrictamente controlado ya que pueden afectar la resistencia y durabilidad del concreto.

## **1.2 Proceso de fabricación del bloque**

Las etapas básicas para el proceso de fabricación del bloque son las siguientes :

- 1.2.1 Selección y almacenamiento de materiales
- 1.2.2 Dosificación de la mezcla
- 1.2.3 Elaboración de la mezcla
- 1.2.4 Elaboración de los bloques
- 1.2.5 Fraguado
- 1.2.6 Curado

### **1.2.1 Selección y almacenamiento de materiales**

Para la selección de los materiales, se debe buscar fuentes o proveedores que aseguren un suministro constante en volumen y procedencia de los materiales para garantizar la uniformidad de la mezcla y como consecuencia la de los bloques. Es recomendable el ensayo de los materiales, para conocer las características físicas de los mismos cada vez que se cambie de fuente, proveedor o a cada determinado tiempo para asegurar la calidad del producto fabricado.

El almacenamiento debe de ser un lugar donde no exista contacto del material con agentes sólidos o líquidos que altere ó modifique las características del mismo.

### **1.2.2 Dosificación de la mezcla**

La dosificación debe ser tal que permita obtener un bloque con las características siguientes :

- a) Cohesión en estado fresco para que permita su desmolde y transporte
- b) Máxima compactación para que su absorción sea mínima
- c) Resistencia esperada según su uso
- d) Acabado superficial deseado

La medida de los materiales, debe de realizarse de preferencia en base al peso de cada elemento, utilizando dosificadores o reguladores mecánicos operados por mandos electrónicos, logrando una dosificación más precisa. Para arena pómez o mezclas de estos con otros materiales, la proporción masa cemento: agregados varían normalmente entre 1.6 a 1.10. Cuando la dosificación se realiza por volúmenes aparentes, se producen muchas variaciones que afectan la calidad y suben los costos. Para arenas de piedra pómez ó mezclas de éstas con otros materiales, la proporción masa cemento: agregados varían normalmente entre 1.8 y 1.12. Se recomienda tomar un pie cúbico ó 28 libras como volumen de un saco de cemento de 42.5 kg.

Las proporciones de cada elemento pueden variarse en cualquier momento, dependiendo de las condiciones que presente el bloque producido.

### **1.2.3 Elaboración de la mezcla**

La función de esta etapa del proceso, es crear una mezcla totalmente uniforme y consistente de los materiales que se utilizaran para la fabricación del bloque. La operación de mezclado puede realizarse en forma manual o mecánica, la cual dependerá del tipo de proceso de fabricación existente en cada fábrica.

### **1.2.4 Fabricación del bloque**

Los bloques se realizan por medio de máquinas que utilizan moldes y bases ya definidas para este proceso. El tipo de maquinaria a utilizar varia dependiendo del proceso de fabricación existente en fábrica, puede ser una máquina operada manualmente o una que realice el proceso de manera automática. El proceso que se presenta es el siguiente : los elementos mecánicos suministran el material hacia los moldes que están colocados encima de la tabla base del bloque, la que se utilizara para su transporte ; a continuación, la máquina proporciona una etapa de vibración y compactación del material para que se acomode y compacte suficientemente dentro del molde. Para finalizar el proceso, se realiza el desmolde y se transportan los bloques ya fabricados hacia el lugar de fraguado inicial.

### **1.2.5 Fraguado de los bloques**

El fraguado, también llamado endurecimiento inicial, es el desarrollo inicial de una diferencia perceptible en las características de trabajo de una pasta, mortero u hormigón de cemento portland. Es caracterizado por la hidratación rápida, la que produce una considerable cantidad de calor, el cual se debe a la reacción química de los elementos que lo componen al tener contacto con el agua.



El fraguado inicial puede ser falso fraguado y fraguado rápido.

- a) Falso fraguado : es el desarrollo rápido de rigidez de una pasta, mortero u hormigón de cemento portland, sin el desprendimiento de mucho calor ; dicha rigidez puede desvanecerse mediante un nuevo mezclado, recobrando así la plasticidad sin que exista la necesidad de la adición del agua.
- b) Fraguado rápido : es el desarrollo rápido de rigidez de una pasta, mortero u hormigón de cemento portland, usualmente con desprendimiento considerable de calor ; dicha rigidez para desaparecer y para recobrar la mezcla su plasticidad, necesita la adición de agua al realizar un nuevo mezclado.

El lugar de fraguado debe ser aquel que garantice la protección del sol y del viento para que pueda fraguar sin secarse, ya que al existir evaporación rápida del agua suministrada en la mezcla, reducirá la resistencia de los bloques y por lo general tienden a crearse grietas en su estructura.

El tiempo de fraguado se ve directamente afectado por el tipo y calidad del cemento, la temperatura, la cantidad de agua presente en la mezcla y condiciones ambientales. El tiempo mínimo estimado para que se realice el fraguado inicial debe de ser de tres horas, el cual se ha determinado por resultados de pruebas experimentales.

### **1.2.6 Curado de los bloques**

Curar, es el proceso de mantener satisfactoriamente la humedad en el concreto, con el fin de mantener una temperatura favorable, durante el proceso de hidratación del cemento, para que las propiedades deseadas del concreto se desarrolladas. El curado es esencial en la producción de un concreto de calidad. El potencial de resistencia y durabilidad del concreto, será plenamente desarrollado solamente cuando el curado se efectúa por un período adecuado antes de ser puesto en servicio.

La forma básica de curar el bloque es mediante la aplicación directa de agua. La aplicación del agua se puede realizar por inmersión directa del bloque de concreto, utilizando atomizadores o por medio de recubrimientos de mantas de algodón que sean humedecidas constantemente. El agua no debe de tener una temperatura menor a 11°C de la temperatura del bloque y se debe de suministrar adecuadamente para no dañar la textura superficial del elemento a curar. Se puede realizar otra manera de curado, al utilizar el agua ya disponible en la mezcla y prevenir la evaporación por medio de materiales selladores. Entre los materiales posibles a utilizar se encuentran los cobertores de plástico, lonas, películas plásticas ligeras y por compuestos líquidos para formar membranas de curado.

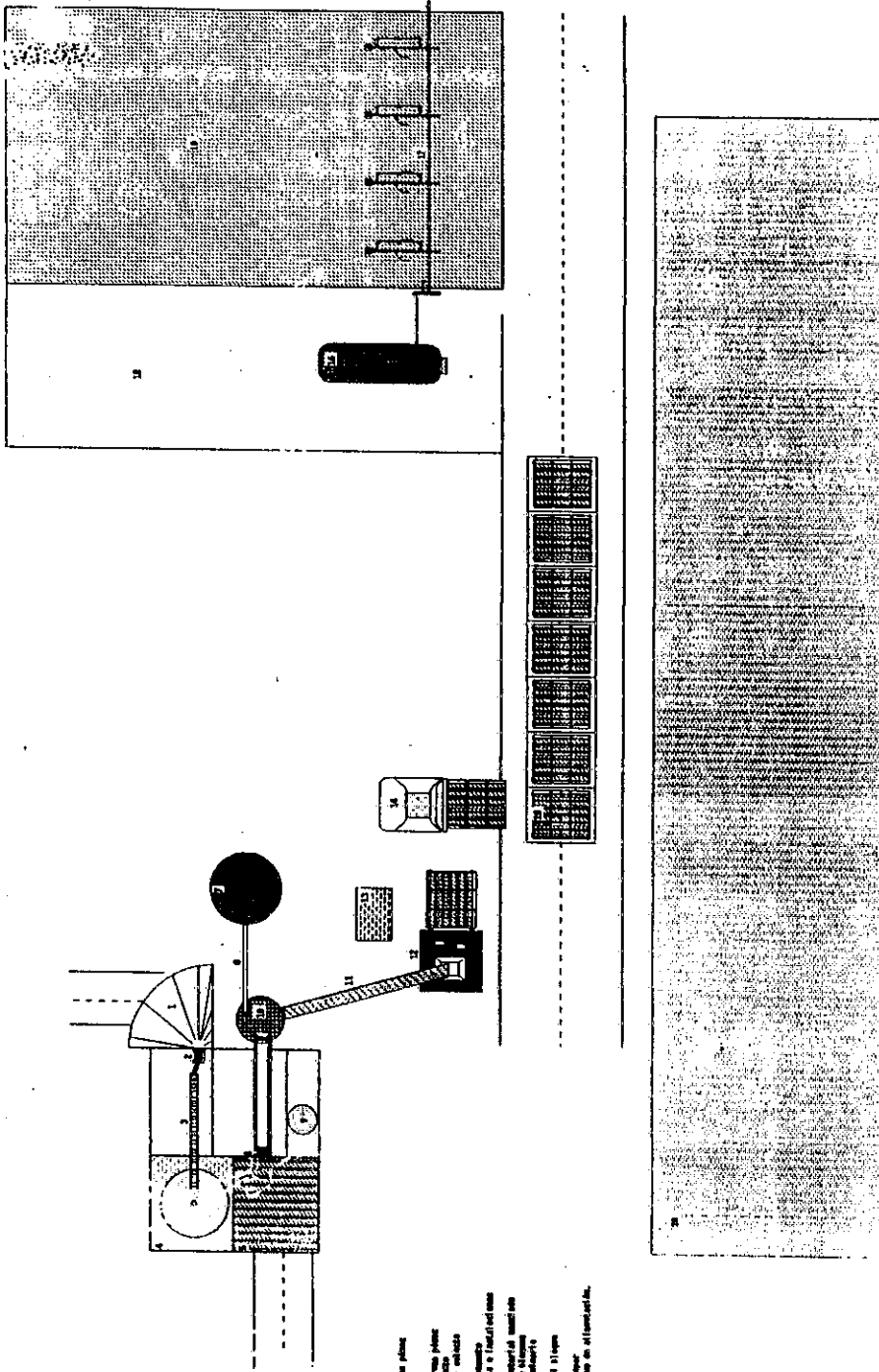
Los métodos de curado anteriormente descritos realizan el proceso de curado normalmente, aproximadamente siete días.

La distribución de las instalaciones utilizadas para realizar el proceso de fabricación del bloque actualmente en la fábrica Xela - Creto se puede observar en la figura 3 ; además se incluye las instalaciones necesarias para el área de curado del bloque utilizando vapor.

### **1.3 Ensayos del bloque**

Los ensayos de los elementos de mampostería se realizan para determinar la calidad final del bloque producido. Los parámetros más importantes para determinar la calidad son : resistencia a la compresión, porcentaje de absorción y acabado superficial.

# Distribución de las instalaciones de la fábrica Xela - Creto



**LEGENDA:**

1. Depósito principal de arena plana
2. Filtro
3. Depósito de arena plana
4. Depósito de arena plana en arena plana
5. Depósito de arena plana en arena plana
6. Depósito de arena plana - redondo
7. Depósito de arena plana - redondo
8. Depósito de arena plana - redondo
9. Depósito de arena plana - redondo
10. Depósito de arena plana - redondo
11. Depósito de arena plana - redondo
12. Depósito de arena plana - redondo
13. Tanque de agua para lavado y tratamiento
14. Área de almacenamiento de material
15. Área de almacenamiento de material
16. Área de almacenamiento de material
17. Área de almacenamiento de material
18. Área de almacenamiento de material
19. Área de almacenamiento de material

NOTA: La distribución de las instalaciones en el plano de la fábrica Xela - Creto, se realizó en el mes de mayo de 1963, con el propósito de proporcionar un plano de referencia para el personal de la fábrica Xela - Creto. Este plano no debe utilizarse para fines de construcción de nuevas instalaciones, ya que el plano actualizado se encuentra en el archivo de la fábrica Xela - Creto.

### **a) Ensayo de resistencia a la compresión**

Determina la cantidad de carga que puede absorber el elemento sin que produzca falla. Se define como : máxima resistencia de la unidad a un aumento gradual de carga aplicada perpendicular a la sección que se aplique.

El ensayo se realiza mediante máquinas mecánicas o hidráulicas, diseñadas para esta función. Las máquinas aplican la carga por medio de un cabezal móvil hacia el elemento a ensayar el cual es soportado por el cabezal fijo de la máquina. La carga que es aplicada gradualmente, es registrada y leída por medio de la instrumentación existente en la máquina. Todas las máquinas nuevas cuentan con accesorios especiales tales como controladores de velocidad de aplicación de carga, control de carga, selector de escalas de medición de carga, etc.

### **b) Ensayos de absorción**

El ensayo cuantifica el aumento del peso del material seco en porcentaje , que se produce al tener contacto el material con medios húmedos. Se determina mediante la siguiente ecuación :

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{\text{peso material húmedo} - \text{peso del material seco}}{\text{peso del material seco}}$$

El proceso para realizar los ensayos de resistencia a la compresión y del porcentaje de absorción están normados por las normas COGUANOR.

En la actualidad, debido al aumento de la demanda del bloque en el mercado nacional, la mayoría de fábricas productoras no realizan el curado del mismo, lo que produce una distribución del elemento en condiciones no aptas de trabajo. Por tal razón, a continuación se realiza el diseño de un sistema de vapor para el curado

acelerado del bloque, cumpliendo así con el fin primordial del presente trabajo de tesis.

#### **1.4 Proceso de curado del bloque por medio de vapor**

El proceso de curado del bloque por medio de vapor, tiene como propósito aprovechar el aumento de temperatura y humedad que se establece en el ambiente, para acelerar la hidratación y por consiguiente el aumento de la resistencia del concreto ligero en un tiempo mínimo. De este modo las piezas pueden ser removidas de los moldes o bases más rápidamente y acortar el ciclo de producción.

Los efectos que produce el curado del concreto ligero con vapor son :

- Un producto más seco.
- La resistencia obtenida en un día puede igualar a la resistencia obtenida a los 28 días de curado normal.
- Estabilidad de los materiales que producen expansiones con la hidratación.
- Aumenta la resistencia a los sulfatos.
- Las contracciones pueden reducirse hasta el 35% de las producidas por el curado normal.

Para realizar un fraguado acelerado normal, las condiciones mínimas que se deben de establecer en el medio son : temperatura elevada, saturación de humedad, ambiente hermético y control de la presión.

La temperatura y humedad deben de ser estrictamente controladas durante el proceso. La temperatura influye en el concreto de manera tal que, a temperaturas muy bajas disminuye la resistencia, y a temperaturas altas sin humedad, también disminuye; sin embargo, las altas temperaturas con suficiente humedad aceleran el fraguado aumentando la resistencia inicial del concreto.

### **1.4.1 Condiciones del vapor**

El vapor es formado al aplicar energía calorífica al agua. El tipo de vapor depende de la cantidad de energía suministrada, pudiendo ser: vapor saturado húmedo y vapor saturado seco. El vapor saturado húmedo se diferencia principalmente del vapor saturado seco por tener partículas de agua en suspensión sin vaporizar.

El tipo de vapor saturado húmedo, es el utilizado para realizar el curado del bloque, ya que la temperatura elevada genera el aceleramiento de las reacciones químicas de los elementos que componen el cemento, creando una elevada hidratación y generación de calor; las partículas de agua sin vaporizar, proporcionan la humedad necesaria para compensar el calor creado en la hidratación del cemento y por lo tanto no existe resequedad en la superficie del elemento.

Las fallas que se producen en la estructura del bloque, al curarlo a elevada temperatura y sin presencia de humedad, son grietas o fracturas en la superficie debido a la contracción del material y cristalizaciones de los granos que lo conforman. Estas fallas reducen totalmente la calidad del bloque.

### **1.4.2 Cuarto de curado**

El cuarto de curado, es una obra civil de dimensiones tales que permita el libre movimiento de personas en su interior, dotado con facilidad de almacenamiento y con la temperatura y humedad regulada.

Deben de construirse de materiales durables, que sean aislantes térmicos por naturaleza y que no permitan plagas por las condiciones de humedad a reinar en el ambiente. Las entradas deben de estar provistas con puertas de cierre hermético o lonas que al ser instaladas no permitan el escape de vapor. Debe de estar equipado con elementos de control de temperatura y humedad, ya que se pueden utilizar en

cualquier momento del proceso. Para el diseño de los cuartos, se debe de tomar en cuenta que la capacidad del cuarto debe ser aquella que utilice el mismo tiempo de suministro de vapor que el de llenado del bloque a curar.

### **1.4.3 Metodología del curado con vapor**

El ciclo de curado con vapor, comprende las actividades siguientes :

#### **a) Período de fraguado inicial**

Este período, existente entre la fabricación del producto y la aplicación del vapor, es importante ya que ocurre el fraguado inicial del concreto y provee estabilidad del producto antes de exponerlo al vapor. El tiempo necesario para ésta etapa del proceso, depende de las variaciones de temperatura a las que será sometido y a la temperatura máxima a la que estará expuesto. En base a pruebas experimentales, se ha establecido que el tiempo de tres horas de fraguado, es el más recomendable para alcanzar mayores resistencias con menor cantidad de tiempo en el suministro del vapor.

#### **b) Período de aplicación del vapor**

La aplicación del vapor debe de realizarse en forma gradual para evitar microcristalizaciones y microfracturas debido a la expansión térmica del agua interna existente en la mezcla. Se recomienda que se suspenda el suministro del vapor cuando exista el equilibrio termodinámico entre el bloque a curar y el medio ambiente. Cuando el período de estabilización sea igual o mayor que tres horas, el aumento de temperatura puede estar comprendido en el rango de temperatura de 22°C a 33°C. Si el período de estabilización es menor de tres horas, se recomiendan aumentos de temperatura comprendidos entre 11°C y 22°C.

### **c) Período de temperatura de estabilización**

Es en éste período donde el concreto alcanza una resistencia tal, capaz de soportar ser cargado o transportado sin sufrir daño alguno. La temperatura de estabilización para realizar el curado del concreto ligero se encuentra en el rango de 66°C a 82°C. El período de aplicación de vapor es variable, se ha establecido que un período de cuatro a cinco horas es recomendable para realizar el proceso. La temperatura de estabilización depende de :

- Tipo de bloque a fabricar
- Material a utilizar en la fabricación del bloque
- Tamaño del cuarto
- Promedio del aumento de temperatura
- Clima
- Material a utilizar en la construcción del cuarto de curado

### **d) Período de reposo**

El periodo de reposo, inicia al momento de cortar el flujo de vapor que mantiene la temperatura de estabilización en el cuarto. El objetivo fundamental es beneficiarse con el aumento de la liberación de calor producido por la transformación del vapor en líquido al momento de disminuir la temperatura, para que se produzcan las reacciones químicas finales de los elementos que componen el cemento, y para beneficiarse de un aumento en la saturación de humedad ambiental que se produce por la condensación del vapor. El tiempo de reposo es considerado en el rango de dos horas y media a tres horas y media.

El cuarto de curado permanecerá cerrado hasta finalizar el tiempo de reposo.



## 2. CÁLCULO DE CONSUMO DE VAPOR Y PÉRDIDAS DE CALOR

### 2.1 Consumo de vapor

El consumo establece la cantidad de vapor a utilizar en determinado proceso bajo ciertas condiciones de tiempo, operación o estado. Se determina a partir de balances de energía, el cual depende directamente del tipo de material, cantidad y de las condiciones iniciales y finales requeridas en el proceso.

La aplicación que tendrá el vapor en éste proceso, es el curado del bloque liviano, el cual se realizará por inyección directa de vapor en la cámara ó cuarto de curado.

Para determinar la cantidad de vapor necesario para elevar las condiciones iniciales del cuarto a las requeridas en el proceso, se utiliza la ecuación siguiente :

$$Q = \frac{W * C_p * \Delta T}{H * t} \quad (2-1)$$

de donde :

Q = Carga de vapor necesaria para elevar la temperatura del material, en lbv/hr ;

W = Peso del material, en lb ;

Cp= Calor específico del material, en BTU/(lb \* °F) ;

$\Delta T$  = Incremento de la temperatura del material, en °F ;

t = tiempo de calentamiento del material, en hr ;

H = Calor latente del vapor a la temperatura mayor del cuarto, en BTU/ lbv .

En la tabla I se muestran los valores del calor específico de varios materiales.

En la tabla II se muestran los valores del calor latente del vapor.

## 2.2 Pérdida de calor

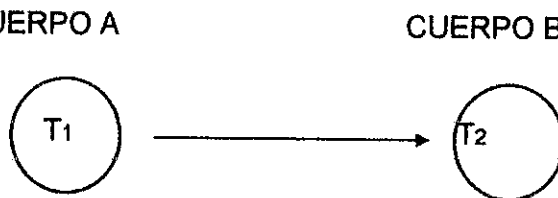
La pérdida de calor, representa la cantidad de energía que no es utilizada en el proceso para el cual fue transformada y destinada.

Las pérdidas de calor en el proceso de curado, son ocasionadas por la transferencia de calor existente en la red de suministro de vapor y cuartos de curado al medio exterior a través de las paredes. En la mayoría de aplicaciones de ingeniería, la transferencia de calor es de mucha utilidad, ya que involucra aplicaciones que comprenden desde la descripción de un análisis sobre transporte de energía para mejorar eficiencias de combustible, hasta investigaciones de energía solar.

## 2.3 Transferencia de calor

La transferencia de calor de una zona a otra se debe a la diferencia de temperaturas entre las mismas. La dirección en que fluye el calor, es de un cuerpo que tenga una mayor temperatura a un cuerpo que tenga una temperatura inferior. Por lo tanto, se establece que la transferencia de calor cumple especialmente con la segunda ley de la termodinámica. Ver figura 4.

Figura 4 Dirección de la transferencia de calor  
Sí  $T_1 > T_2$ , en :



$T_1$  = Temperatura mayor

$T_2$  = Temperatura menor

La pérdida de calor de un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema. La transferencia de calor existirá hasta que los cuerpos alcancen el equilibrio térmico, es decir, cuando la temperatura de ambos cuerpos sea igual. Existen tres mecanismos básicos de transferencia de calor :

- Conducción
- Convección
- Radiación

- **Conducción**

El fenómeno de transferencia de calor por conducción, es un proceso en el cual existe desplazamiento de energía desde una zona de alta temperatura a otra de baja temperatura, dentro de un medio el cual puede ser sólido, líquido o gaseoso o entre medios diferentes en contacto físico directo.

En el flujo de calor por conducción, la energía se transmite por comunicación molecular directa, la que puede manifestarse por oscilaciones, traslaciones y rotaciones entre cuerpos a distintas temperaturas sin propagación considerable de las moléculas. Como ejemplo podemos mencionar los metales, en los cuales la transferencia de calor se realiza por difusión de electrones de una región de alta temperatura a otra de baja temperatura, o en los fluidos donde se lleva a cabo ésta por choques elásticos. Es muy importante mencionar que el efecto final observable de la conducción del calor es un equilibrio de temperaturas, como también el flujo continuo de calor que resulta de la diferencia de temperaturas por la adición y remoción de calor entre zonas de alta y baja temperatura. Ver figura 5.

La ecuación básica para la conducción de calor desarrollada por el matemático Francés J.B.J. Fourier, establece que la rapidez del flujo de calor por conducción en un material, es igual a :

$$Q_k = - K_k * A * \frac{dT}{dX} \quad (2-2)$$

Figura 5 Barra metálica sometida a temperatura  
 Si  $T_1 > T_2$



de donde :

$Q_k$  = transferencia de calor por unidad de tiempo, BTU/hr ;

$K_k$  = conductividad térmica del material, en  $(\text{BTU} * \text{pie}) / (\text{hr} * \text{pie}^2 * ^\circ\text{F})$  .

(Ver tabla IV y V)

$A$  = área de la sección a través de la cual fluye el calor por conducción, en  $\text{pie}^2$  ;

$dT$  = diferencia de temperatura causada por el flujo de calor, en  $^\circ\text{F}$  ;

$dX$  = diferencia de trayectoria a través del material, en pies

La resistencia térmica  $R_k$  del flujo de calor por conducción es :

$$R_k = \frac{L}{AK_k} \quad \frac{\text{hr} * ^\circ\text{F}}{\text{BTU}} \quad (2-3)$$

de donde :

$L$  = espesor del cuerpo en pies, es igual al valor de  $dX$  que se conoce en la ecuación 2-2.

El inverso de la resistencia térmica se le denomina conductancia térmica, se determina por la ecuación siguiente :

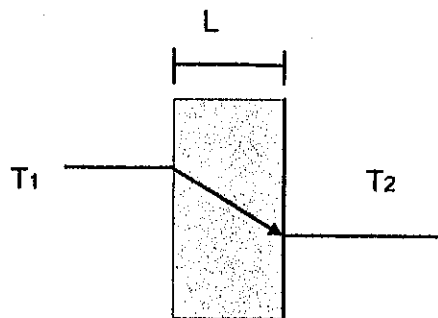
$$k' = \frac{AKk}{L} \quad \frac{\text{BTU}}{\text{hr } ^\circ\text{F}} \quad (2-4)$$

El valor de  $Kk$  puede variar entre límites muy amplios para diferentes materiales y también para un mismo material con diferentes temperaturas y masas específicas. En la tabla III, IV y V se muestran los valores de conductividad térmica para algunos materiales.

Para determinar el flujo de calor que se transfiere por una placa plana, se toma de base una placa de espesor  $L$ , de material homogéneo, con una conductividad térmica  $Kk$  y con ambas caras del material a una temperatura  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente. Se substituyen, simplifican y ordenan los datos en la ecuación 2-2 y se tiene la ecuación siguiente :

$$Q_k = - \frac{Kk * A * (T_2 - T_1)}{L} \quad (2.5)$$

Figura 6 Flujo de calor a través de una pared simple



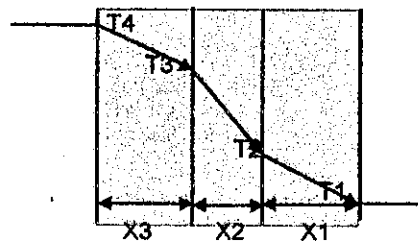
La ecuación 2-5 indica que el flujo de calor es proporcional al área, a la conductividad térmica y a la diferencia de temperatura ; además nos es útil para evaluar el flujo de calor en las paredes compuestas por "n" placas de materiales diferentes en contacto .

La conducción a través de una pared compuesta, puede ser tratada usando la ecuación 2-5 en conexión con la ecuación 2-3, que establece la resistencia térmica de un material.

Escribiendo la ecuación 2-5 en su forma general y ordenando algebraicamente los términos, se tiene para una pared plana compuesta la ecuación 2-6 (figura 7) :

$$Q_k = \frac{-K_1 A_1 (T_1 - T_2)}{X_1} + \frac{-K_2 A_2 (T_2 - T_3)}{X_2} + \frac{-K_3 A_3 (T_3 - T_4)}{X_3} \quad (2-6)$$

Figura 7 Flujo de calor a través de una pared compuesta



En el caso de la pared compuesta mostrada en la figura 7, el flujo estable de calor que fluye a través de cada una de las secciones de la pared es el mismo ; por lo que :

$$Q_k = Q_{k1} = Q_{k2} = Q_{k3}$$

Substituyendo la ecuación 2-3 en la ecuación 2-6, se tiene :

$$Q_k = - \left( \frac{(T_1 - T_2)}{R_{k1}} + \frac{(T_2 - T_3)}{R_{k2}} + \frac{(T_3 - T_4)}{R_{k3}} \right) \quad (2-7)$$

para el caso general se tiene que :

$$R_{kt} = R_{k1} + R_{k2} + R_{k3} \quad (2-8)$$

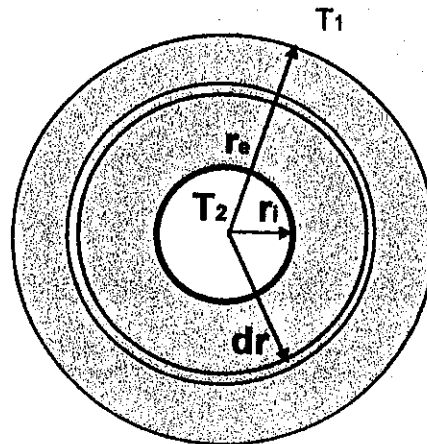
de donde, podemos establecer que el flujo total que es transmitido a la pared compuesta es:

$$Q_{kt} = - \frac{(T_1 - T_2)}{R_{kt}} \quad \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \quad (2-9)$$

Otra aplicación de la transferencia por conducción, es aquella que ocurre a través de tuberías. En el caso de tubos recubiertos y de secciones anulares similares cubiertas, la sección transversal de la trayectoria a través de la cual fluye calor varía en proporción a la distancia lineal a través de la sección.

Para determinar el flujo de calor a través de una tubería recubierta, a una distancia de radio  $r$  del centro del tubo y de longitud  $L$ , se utiliza la figura 8 :

Figura 8 Flujo de calor a través de una tubería aislada



Utilizando la identidad  $A = 2\pi r L$ , e integrando y ordenando la ecuación 2-2, se obtiene que el calor transferido por unidad de longitud del tubo es :

$$Q_L = \frac{2\pi L (T_2 - T_1)}{1/(f \cdot r_e) + \ln(r_e / r_i)/Kk} \quad \text{BTU / hr} \quad (2-10)$$

de donde :

$Q_k$  = calor transferido a través del recubrimiento en BTU / hr.

$T_1, T_2$  = temperaturas a cada lado del recubrimiento, en  $^{\circ}\text{F}$  ;

$L$  = longitud del recubrimiento , en pies ;

$K_k$  = Conductividad térmica de aislamiento (tabla XVII. Hacer conversión de plg. a pie), en  $(\text{BTU} \cdot \text{pie}) / (\text{hr} \cdot \text{pie}^2 \cdot ^{\circ}\text{F})$ .

$r_e, r_i$  = radios mínimo y máximo del recubrimiento, en pies.

$f$  = Coeficiente de conductividad de película del aire (tabla III).  $\text{BTU} / (\text{hr} \cdot \text{pie}^2 \cdot ^{\circ}\text{F})$

### • Convección

Es un proceso de transporte de energía por la acción combinada de la conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla. En concepto general, se puede llamar corriente de convección a una corriente de líquido o gas que absorbe energía térmica en un lugar y luego se mueve hacia otro sitio, donde libera el calor a la porción más fría del fluido.

Si el movimiento de un fluido se origina por una diferencia de densidad que acompaña a un cambio de temperatura, la corriente producida de esta manera se llama *convección natural*. Cuando un fluido es obligado a moverse por la acción de una bomba o ventilador, la corriente producida de esta manera se llama *convección forzada*.

Una demostración del movimiento de una corriente de convección se muestra en la figura 9. Una sección rectangular de vidrio se llena con agua y se calienta en una de sus esquinas inferiores. El agua que está cerca se calienta y se dilata, haciéndola menos densa que el agua más fría que está encima de ella. En la medida que el agua caliente sube, es reemplazada por agua fría de la parte superior. Este proceso continúa hasta que una corriente de convección con sentido contrario a las manecillas del reloj circula a través de la tubería. La corriente de convección puede observarse experimentalmente al poner una gota de tinta en la abertura del extremo superior ; la



tinta se moverá por la corriente de convección hasta que regrese al extremo superior después de recorrer el tubo.

El flujo de calor por convección entre una placa o superficie y un fluido, puede calcularse por la relación siguiente :

$$Q_k = h_c \cdot A \cdot \Delta T \quad (2-11)$$

de donde :

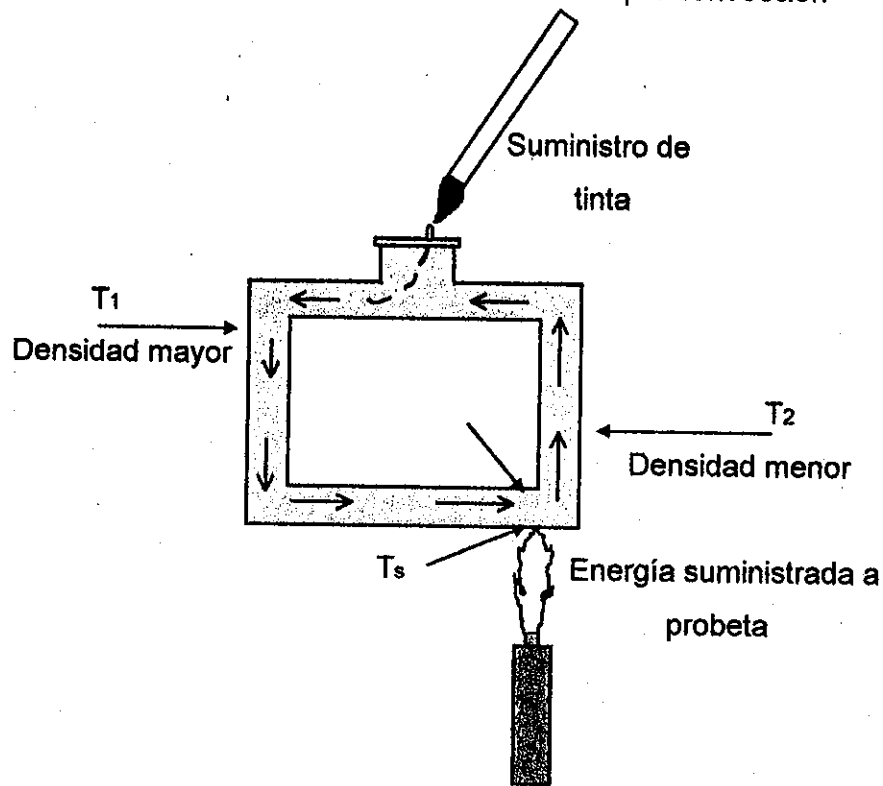
$Q_k$  = rapidez de calor transferido por convección, en BTU / hr ;

$h_c$  = unidad de conductividad térmica promedio para la convección o coeficiente de película, en BTU/ (hr pie<sup>2</sup> °F) ;

$A$  = área, en pie<sup>2</sup> ;

$\Delta T$  = cambio de temperatura entre la temperatura de la superficie  $T_s$  y la temperatura del fluido  $T_{oo}$ , en °F.

Figura 9 Movimiento del fluido por convección



La expresión anterior, propuesta por el científico Isaac Newton, es una definición del coeficiente de transferencia de calor por convección, depende de las características de la superficie que lo contiene, de la densidad, conductividad, velocidad, viscosidad absoluta, calor específico, las que son propiedades del fluido y temperaturas.

- **Radiación**

La radiación es un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo de alta temperatura a un cuerpo de baja temperatura por medio de ondas electromagnéticas, llamados fuente y receptor, cuando éstos están separados por un espacio que incluso puede ser el vacío absoluto.

La energía transmitida en esta forma es llamada de calor radiante o radiación térmica. Todos los cuerpos emiten calor radiante en forma continua y la intensidad de la emisión depende de la temperatura y de la naturaleza de la superficie. El calor radiante es transmitido en forma de paquetes o cuantos de energía y su movimiento en el espacio es similar a la de la propagación de la luz, el cual puede describirse con la teoría ondulatoria. Cuando las ondas de radiación encuentran algún otro objeto, parte de la energía es absorbida por el receptor y parte es reflejada por él.

Un radiador perfecto o cuerpo negro emite energía radiante desde su superficie a una rapidez proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta dada por la ecuación 2-12 :

$$Q_k = \epsilon \sigma^4 A_1 (T_2 - T_1)^4 \quad (2-12)$$

de donde :

$Q_k$  = flujo de calor transmitido por radiación, en BTU / hr ;

$\sigma$  = constante de Boltzman, valor de  $0.173 \cdot 10^{-8}$  BTU/(hr pie<sup>2</sup>°F)

$A_1$  = área de la superficie, en pie<sup>2</sup> ;

- $T_1, T_2$  = diferencia de temperatura absoluta de la superficie , en °R ;  
 $\epsilon$  = razón de emisividad del cuerpo, adimensional.

## 2.4 Definición del problema

Se desea calcular y diseñar una red de vapor para el curado diario de 13000 unidades de bloques de piedra pómez. El bloque es de tipo liviano, de clase A y de grado número 1. La máquina utilizada para la fabricación del bloque tiene una capacidad media de producción de 1200 unidades por hora, realizando 200 ciclos de trabajo y produciendo 6 unidades por cada ciclo. Las características del bloque producido son:

- Dimensiones : ancho : 0.15 m, alto : 0.20 m, largo : 0.40 m.
- Espesor de paredes 0.3m. (bloque vacío)
- Volumen de mezcla compactada : 0.00696 m<sup>3</sup>.
- Peso húmedo : 13.154 Kg. ( 29 lb)
- Temperatura : 16 °C

La máquina utiliza una base metálica para la realización del bloque, de dimensiones y peso siguientes :

- Dimensiones : ancho : 1.05 m, espesor : 0.008 m y largo : 0.55 m.
- Peso : 22.68Kg. ( 50 lb)

### 2.4.1 Características del cuarto de curado

Los materiales utilizados para construir los cuartos de curado son los siguientes:

- Paredes laterales y posteriores : se utilizarán bloques de concreto pesado de masa unitaria seca de 2,200 kg/m<sup>3</sup> y dimensiones siguientes : ancho : 0.20m, alto : 0.20m

y largo 0.40m. Se recubrirán por medio de cernidos alisados para disminuir la absorción inicial que realizará el bloque al momento de iniciar el proceso de curado en la planta.

- **Pared frontal :** se utilizará lona especial que evita el escape de vapor y que es totalmente impermeable. Se sujetará a la pared por medio de elementos plásticos adhesivos, para que se pueda instalar y remover rápidamente después de que se suministra o extrae el bloque del cuarto.
- **Techo :** se utilizará una losa compuesta de una capa de concreto pesado de masa unitaria seca de 2,600 kg/m<sup>3</sup> y de espesor 0.05 m, además una capa de bloques pesados de masa unitaria seca de 2,200 kg/m<sup>3</sup> de dimensiones siguientes : ancho : 0.20m, alto : 0.20m y largo 0.40m.
- **Piso :** se utilizará una sub-base de piedra pómez de 0.20 m de espesor y una base de concreto pesado de masa unitaria seca de 2,200 kg/m<sup>3</sup> de 0.5 m de espesor.

El bloque será suministrado al cuarto de curado mediante estructuras metálicas de soporte , las cuales se dimensionarán tomando en cuenta el tamaño de la base utilizada para la fabricación del bloque. Las características de la base son :

- Dimensiones : ancho : 2.30 m, alto :2.30 m y largo : 2.85 m
- Peso aproximado : 1,356 lb
- Capacidad de carga : 480 unidades

Los cuarto de curado tendrán las características siguientes :

- Dimensiones : ancho : 2.70 m, alto :2.75 m y largo : 20.50 m
- Capacidad de curado : 3,360 unidades
- Peso total de bloques: 97,400 lb
- Cantidad de estructuras de soporte : 7 unidades

- Peso total de estructuras : 9,492 lb
- Cantidad de tablas base : 560 unidades
- Peso total de tablas base : 28,000 lb

Como la capacidad máxima de cada cuarto de curado es de 3,360 unidades, se diseñaran 4 cuartos para curar las 13,000 unidades de bloques deseadas.

#### **2.4.2 Condiciones de temperatura**

Las temperaturas utilizadas para el diseño de la red de vapor serán las mínimas y máximas posibles a existir en el proceso. Dependen directamente de la región, de la época del año, de los materiales utilizados para la producción y de los rangos de tiempo establecidos para cada actividad del proceso.

Datos por utilizar en el análisis del proceso :

- Tiempo de fraguado inicial del bloque : 3 horas
- Tiempo total del suministro de vapor al cuarto : 4 horas
- Tiempo de reposo : 3 horas
- Temperatura inicial del bloque : 16°C
- Temperatura inicial interior del cuarto : 16°C
- Temperatura inicial exterior del cuarto : 10°C
- Incremento de Temperatura : 33°C
- Temperatura de estabilización : 88°C

El valor del incremento de temperatura, temperatura de estabilización y tiempo total de suministro de vapor, fueron tomados de las condiciones recomendadas para realizar el proceso de curado (ver metodología del curado del bloque, página 14 y 15).

## 2.5 Cálculo del flujo de vapor

El cálculo total del flujo de vapor se realizará para un cuarto de curado ; pero, existe un momento del proceso diario en el cual la cantidad de vapor que es generado por la caldera debe satisfacer la demanda de un cuarto a máximo consumo y otro cuarto con el consumo necesario para mantener la temperatura por medio de una válvula reguladora de temperatura. Por lo tanto, como *factor de seguridad* se tomara el flujo de vapor total a producir por la caldera, como el doble del flujo necesario para un cuarto en máximo consumo de vapor. Con lo anteriormente expuesto, se logra que la caldera tenga un amplio margen de generación de vapor extra para cubrir cualquier momento extremo de consumo que se produzca en el momento de estar realizando el proceso de curado. Se toma el doble de consumo de vapor de un cuarto ya que los cuartos de curado son idénticos.

### 2.5.1 Consumo de vapor

El consumo de vapor para calentamiento del bloque y estructura es determinado por la ecuación 2-1.

#### a) Flujo de vapor para curado del bloque

Datos :

$$W = 97,440 \text{ lb}$$

$$C_p = 0.19 \text{ BTU}/(\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}), \text{ (de tabla I)}$$

$\Delta T$  = Incremento de la temperatura del material, en  $^\circ\text{F}$  ;

$$T_1 = 16^\circ\text{C}, 60.8 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 88^\circ\text{C}, 190.4 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = (T_2 - T_1) = (190.4 - 60.8) = 129.6 \text{ }^\circ\text{F}$$

Calculando el tiempo de calentamiento "t" del material en hr, para determinar a continuación el consumo de vapor necesario para alcanzar las condiciones de

temperatura establecidas (temperatura de estabilización) para el proceso, se tiene que :

$$\text{Incremento de temperatura} = 33^{\circ}\text{C}, 91.4^{\circ}\text{F}$$

$$t = (T / \text{Inc. de tem.}) = (129.6^{\circ}\text{F} / (91.4^{\circ}\text{F/hr}))$$

$$t = 1.4179 \text{ hr}$$

$$H = 983.852 \text{ BTU/lb}_v. \text{ ( de tabla II para vapor saturado)}$$

$$Q = \frac{(97,440 * 0.19 * 129.6)}{(983.852 * 1.4179)} = 1,719.968 \text{ lb}_v/\text{hr}$$

#### b) Flujo de vapor para estructuras de soporte

Datos :

$$W = 37,492 \text{ lb}$$

$$C_p = 0.11 \text{ BTU}/(\text{lb} * ^{\circ}\text{F}), \text{ (de Tabla I)}$$

$$\Delta T = 129.6^{\circ}\text{F}$$

$$t = 1.4179 \text{ hr}, t = 1 \text{ hr y } 25 \text{ min}$$

$$H = 983.852 \text{ BTU/lb}_v. \text{ ( de tabla II)}$$

$$Q = \frac{(37,492 * 0.11 * 129.6)}{(983.852 * 1.4175)} = 383.251 \text{ lb}_v/\text{hr}$$

El consumo total de vapor para el calentamiento es,  $Q_{cv} : \underline{2,103.219 \text{ lb}_v/\text{hr}}$

### 2.5.2 Transferencia de calor

Se utilizará la ecuación 2-2 para determinar el flujo vapor que se transmitirá por las paredes simples.

#### a) Paredes laterales

Datos :

Cantidad de paredes : 2

$$A : (2.75 * 20.50) = 56.375 \text{ m}^2 = 606.5048 \text{ pies}^2$$

$$K_{kbc} = 0.8381 \text{ (BTU} \cdot \text{pie)} / (\text{hr} \cdot \text{pie}^2 \cdot \text{°F}), \text{ (de tabla IV)}$$

dT= diferencia de temperatura causada por el flujo de calor, en °F

$$T_1 = 10^\circ\text{C}, 50^\circ\text{F} \text{ (temperatura ambiental exterior al cuarto de curado)}$$

$$T_2 = 88^\circ\text{C}, 190.4^\circ\text{F}$$

$$dT = (T_2 - T_1) = (190.4 - 50) = 140.4^\circ\text{F}$$

$$dX = 0.20 \text{ m} = 0.6562 \text{ pies}$$

$$Q_k = \frac{2 \cdot (0.8381 \cdot 605.5048 \cdot 140.4)}{0.6562} = 217,157.2375 \text{ BTU/hr}$$

### b) Pared posterior

Datos :

$$A : (2.75 \cdot 2.70) = 7.425 \text{ m}^2 = 79.881 \text{ pies}^2$$

$$K_{kbc} = 0.8381 \text{ (BTU} \cdot \text{pie)} / (\text{hr} \cdot \text{pie}^2 \cdot \text{°F}), \text{ (de tabla IV)}$$

$$dT = 140.4^\circ\text{F}$$

$$dX = 0.20 \text{ m} = 0.6562 \text{ pies}$$

$$Q_k = \frac{(0.8381 \cdot 79.881 \cdot 140.4)}{0.6562} = 14,324.195 \text{ BTU/hr}$$

### c) Pared frontal

Datos :

$$A = (2.75 \cdot 2.70) = 7.425 \text{ m}^2 = 79.881 \text{ pies}^2$$

$$K_k = 0.092 \text{ (BTU} \cdot \text{pie)} / (\text{hr} \cdot \text{pie}^2 \cdot \text{°F}), \text{ (de tabla V). (se utilizará el límite mayor).}$$

$$dT = 140.4^\circ\text{F}$$

$$dX = 0.009525 \text{ m} = 0.03125 \text{ pies}$$

$$Q_k = \frac{(0.092 \cdot 79.881 \cdot 140.4)}{0.03125} = 33,017.821 \text{ BTU/hr}$$

Para determinar el flujo de vapor a transmitir en paredes compuestas se utilizarán las ecuaciones 2-3, 2-8 y 2-9.



#### d) Techo

Los materiales a utilizar serán :

- Capa de concreto pesado de masa unitaria seca de 2,600 kg/m<sup>3</sup> y espesor 0.05m.
- Capa de bloque de concreto pesado de masa unitaria seca de 2,400 kg/m<sup>3</sup> de 0.20m \* 0.20 m \* 0.40 m.

Datos :

$$\text{Área} : (2.70 * 20.50) = 55.35 \text{ m}^2 = 595.477 \text{ pies}^2$$

$$K_{kcp} = 1.156 \text{ (BTU * pie)/(hr * pie}^2 \text{ * } ^\circ\text{F)}, \text{ (de tabla IV).}$$

$$K_{kbc} = 0.8381 \text{ (BTU * pie)/(hr * pie}^2 \text{ * } ^\circ\text{F)}, \text{ (de tabla IV).}$$

$$L_{cp} = 0.05\text{m} = 0.164 \text{ pies}$$

$$L_{bc} = 0.2\text{m} = 0.6562 \text{ pies}$$

$$dT = 140.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R_{kcp} = \frac{0.164}{(595.477 * 1.156)} = 2.382 \text{ E}^{-4} \frac{\text{hr * } ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$R_{kbc} = \frac{0.6562}{(595.477 * 0.8381)} = 1.315 \text{ E}^{-3} \frac{\text{hr * } ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$R_{kt} = R_{kcp} + R_{kbc} = 1.553\text{E}^{-3} \frac{\text{hr * } ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$Q_k = \frac{140.4}{1.553\text{E}^{-3}} = 90,405.666 \text{ BTU/hr}$$

#### e) Piso

Los materiales a utilizar serán :

- Capa de concreto pesado de masa unitaria seca de 2600 kg/m<sup>3</sup> y espesor 0.05m.
- Capa de arena de piedra pómez de espesor 0.20 m.

Datos :

$$A : (2.70 * 20.50) = 55.35 \text{ m}^2 = 595.477 \text{ pies}^2$$

$$K_{kcp} = 1.156 \text{ (BTU * pie)} / (\text{hr * pie}^2 * ^\circ\text{F}), \text{ (de tabla IV).}$$

$$K_{kpp} = 0.14 \text{ (BTU * pie)} / (\text{hr * pie}^2 * ^\circ\text{F}), \text{ (de tabla V).}$$

$$L_{cp} = 0.05 \text{ m} = 0.164 \text{ pies}$$

$$L_{bp} = 0.2 \text{ m} = 0.6562 \text{ pies}$$

$$dT = 140.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R_{kcp} = \frac{0.164}{(595.477 * 1.156)} = 2.382 \text{ E}^{-4} \frac{\text{hr} * ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$R_{kbc} = \frac{0.6562}{(595.477 * 0.14)} = 7.871 \text{ E}^{-3} \frac{\text{hr} * ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$R_{kt} = R_{kcp} + R_{kbc} = 8.109 \text{ E}^{-3} \frac{\text{hr} * ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$Q_k = \frac{140.4}{8.109 \text{ E}^{-3}} = 17,313.668 \text{ BTU/hr}$$

La pérdida total de calor por transferencia en el cuarto de curado es :  
372,2186 BTU /hr

Si el Calor latente del vapor a la temperatura interna del cuarto es = 983.852 BTU/lbv, se determina que el flujo de vapor necesario es :

$$Q = (372,2186 \text{ BTU/hr}) / (983.852 \text{ BTU/Lbv})$$
$$Q = \underline{378.3278 \text{ lbv / hr}}$$

## 2.6 Cálculo total del flujo de vapor

Es determinado en base de la sumatoria del consumo de vapor para curado y pérdida por transferencia de calor del cuarto hacia el exterior.

$$Q_{tot} = Q_{cv} + Q_{tc} = 2,103.219 + 378.3278 \text{ lbv / hr}$$
$$Q_{tot} = \underline{2,481.55 \text{ lbv / hr}}$$

Debido al régimen de producción de la máquina de fabricación del bloque, el tiempo de aplicación del flujo de vapor para el curado y tomando como base la explicación de la totalidad del flujo de vapor necesario en la instalación de vapor, descrito al momento de iniciar el cálculo , se determina que el flujo de vapor necesario a producir por la caldera , utilizando como *factor de seguridad* de flujo=2, es :

$$Q_{red} = 2 * 2,481.5468 \text{ lbv / hr} = \underline{4,963.1 \text{ lbv / hr}}$$

Tabla I Calor específico y conductividad térmica de varias sustancias

Material	Calor específico Cp, Btu/(Lb* °F)	Masa específica a 65 °F (lb/pie3)	Conductividad K <sub>k</sub> (BTU * pie) / (hr * pie2 * °F)	Temperaturas °F
Acero				
1% C.....	0.12	487	310	64-212
Inoxidable.....	0.12	515	200	.....
Agua				
Dulce.....	1	62.4	4.1	70
De mar.....	0.94	64	3.93	64
Aire Tranquilo.....	0.24	...	0.169-0.215	32-200
Algodón.....	0.32	5.06	0.39	32
Alquitrán bituminoso.....	0.35	75	...	86
Aluminio.....	0.21	168	1404.0-1429.0	32-600
Amoniaco				
Líquido.....	1.128	38	3.48	05-086
Vapor.....	0.52	0.67	0.144	32
Arcilla				
Seca.....	0.22	63	3.5-4.0	68-212
Húmeda.....	0.6	110	4.5-9.5	...
Arena seca.....	0.19	94.6	2.28	68
Asbestos lana.....	0.2	25	0.62	32
Bagazo.....	0.32	13.5	0.336	68
Benzol.....	0.34	55.5	1.18	68
Bronce.....	0.1	509	522	32
Cal				
Mortero.....	0.22	106	2.42	...
Extinguida.....	0.13	81.0-87.0	...	...
Cartón de Bagazo.....	0.32	13.2	0.34	...
Celulosa, seca.....	0.37	94	1.66	59
Ceniza.....	0.18	40-45	1.1	...
Corcho en placas.....	0.42	8.3	0.28	60
Corcho granulado.....	0.42	8.1	0.31	90
Corteza de madera roja	...	5	0.26	75
Cuero, vaqueta.....	0.36	54	1.1	86
Espuma de vidrio.....	0.16-0.19	10.5	0.4	50
Estuco				
Cemento.....	0.2	73.8	8	68
Yeso.....	0.2	46.2	3.3	73
Fieltro de Pelo.....	0.33	13	0.26	90
Gasolina.....	0.53	42	0.94	86
Granito.....	0.2	159	15.4	...
Grano, tabla aislante....	0.32	15	0.33	71
Hielo.....	0.5	57.50*	15.6	32

(continuación tabla I)

Material	Calor específico Cp, Btu/(Lb* °F)	Masa específica a 65 °F (lb/pie3)	Conductividad K <sub>K</sub> (BTU * plg) / (hr * pie2 * °F)	Temperaturas °F
Hierro				
Vaciado.....	0.13	442	326	120-216
Forjado o dulce.....	0.11	485	417	64-212
Hollin de resina .....	...	10	0.45	104
Hormigón.....				
Rescoldo o de escoria.	0.18	97	4.9	75
Vaciado.....	0.19	140	12	75
Hule				
Duro.....	0.4	74.3	11	100
India.....	0.48	59	1.302	68-212
Ladrillo				
Común.....	0.22	112	5	...
De fachada.....	0.22	125	9.2	...
Refractario.....	0.2	115	6.96	392
Lana.....	0.33	4.99	0.264	86
Lana de vidrio.....	0.22	1.5	0.27	75
Lana mineral de asbesto				
Placa.....	0.25	15	0.33	75
Relleno.....	0.2	9.4	0.27	103
Lana mineral o pétre..	0.2	10	0.27	90
Latón				
Rojo.....	0.09	536	715	32
Amarillo.....	0.088	534	592	32
Madera				
Abeto.....	0.65	34	0.8	75
Arce.....	...	40	1.2	75
Roble.....	0.57	48	1.1	86
Pino blanco.....	0.67	31.2	0.78	86
Mármol.....	0.21	162	20.6	32-212
Mortero de cemento....	0.19	118	12	...
Níquel.....	0.1	537	406.5	64-212
Oro.....	0.031	1205	2028	64-212
Oxido de hierro.....	0.17	306-330	3.63	68
Papel.....	0.32	58	0.9	...
Parafina.....	0.69	55.6	1.68	32-68
Piedra de arena.....	0.22	143	12.6	68
Piedra de cal o caliza...	0.22	132	10.8	75
Plata.....	0.056	656	2905	64-212
Plomo.....	0.03	710	240	64-212
Tabla de asbesto con				
cemento.....	0.2	123	2.7	85
Tabla de fibra de madera	0.34	16.9	0.34	90

(continuación tabla I)

Material	Calor específico Cp, Btu/(Lb * °F)	Masa específica a 65 °F (lb/pie3)	Conductividad Km (BTU * plg)/(hr * pie2 * °F)	Temperaturas °F
Tierra				
Cuarzo molido (4% de humedad).....	(0.16-0.19	110 (seco)	11.5	40
Cuarzo molido (4% de humedad).....	seco limite	110 (seco)	16	40
Arena de Fairbanks				
Humedad, 4%.....	0.3	110 (seco)	8.5	40
Humedad, 10%.....	humedad)	110 (seco)	15	40
Marga arenosa de Dakota				
Humedad, 4%.....		110 (seco)	6.5	40
Humedad, 10%.....		110 (seco)	13	40
Ladrillo.....				
Humedad, 10%.....		90 (seco)	5.5	40
Humedad, 20%.....		100 (seco)	10	40
Tiza.....	0.21	142	6.35	...
Vapor de agua.....	0.48	0.037**	0.151	212
Vidrio				
Termómetro común.....	0.2	164	5.5	68-212
Cristal de roca.....	0.12	247	5.1	50-212
Pyrex.....	0.2	140	7.56	...
Yeso, sólido.....	0.26	78	3	68

\*\* a 212°F y 14.7 lb/plg2

Fuente : Aire acondicionado y Refrigeración. Burgess Jennings

Tabla II Propiedades del vapor saturado seco : tabla de presiones

Volumen especifico= ft<sup>3</sup>/lb

Entalpia= BTU/lb

Entropia= BTU/lb °F

Presión absoluta, lb/plg <sup>2</sup> , p	Temperatura, °F, t	Vol. específico		Entalpia			Entropia			Energía interna		Presión absoluta, lb/plg <sup>2</sup> , p
		Líquido saturado, v <sub>f</sub>	Vapor saturado, v <sub>g</sub>	Líquido saturado, h <sub>f</sub>	Evaporación, h <sub>fg</sub>	Vapor saturado, h <sub>g</sub>	Líquido saturado, s <sub>f</sub>	Evaporación, s <sub>fg</sub>	Vapor saturado, s <sub>g</sub>	Líquido saturado, u <sub>f</sub>	Vapor saturado, u <sub>g</sub>	
1.0	101.74	0.01613	533.0	69.70	1036.3	1106.6	0.1520	1.8466	1.0782	69.70	1044.3	1.0
2.0	120.08	0.01623	173.73	93.00	1022.2	1115.2	0.1749	1.7481	1.0200	93.00	1051.0	2.0
3.0	141.48	0.01630	118.71	109.37	1013.2	1122.0	0.2008	1.6855	1.0003	109.38	1056.7	3.0
4.0	162.37	0.01636	90.63	120.68	1006.4	1127.0	0.2193	1.6427	1.0026	120.68	1060.2	4.0
5.0	182.24	0.01640	73.52	130.13	1001.0	1131.1	0.2347	1.6094	1.0041	130.12	1063.1	5.0
6.0	170.00	0.01644	61.98	137.00	998.2	1134.2	0.2472	1.5820	1.0202	137.04	1065.4	6.0
7.0	178.86	0.01648	53.04	144.70	992.1	1136.9	0.2581	1.5580	1.0187	144.74	1067.4	7.0
8.0	182.80	0.01652	47.34	150.70	988.6	1139.3	0.2674	1.5383	1.0057	150.77	1069.2	8.0
9.0	188.24	0.01656	42.40	156.22	985.2	1141.4	0.2759	1.5203	1.0002	156.19	1070.8	9.0
10	192.21	0.01660	38.42	161.17	982.1	1143.3	0.2836	1.5041	1.0076	161.14	1072.2	10
14.696	212.00	0.01672	26.80	180.07	970.3	1150.4	0.3120	1.4440	1.0000	180.02	1077.5	14.696
16	215.03	0.01672	26.20	181.11	969.7	1150.8	0.3135	1.4418	1.0000	181.00	1077.8	16
20	227.06	0.01683	20.080	196.10	960.1	1158.3	0.3358	1.3982	1.0000	196.10	1081.0	20
24	240.07	0.01692	16.303	208.42	952.1	1160.0	0.3533	1.3608	1.0000	208.34	1085.1	24
30	250.33	0.01701	13.740	218.82	945.3	1164.1	0.3680	1.3313	1.0000	218.73	1087.3	30
36	260.24	0.01708	11.808	227.01	939.2	1167.1	0.3807	1.3083	1.0000	227.80	1090.1	36
40	267.26	0.01710	10.408	230.03	933.7	1169.7	0.3910	1.2844	1.0000	230.00	1092.0	40
48	274.44	0.01721	9.401	243.30	928.0	1172.0	0.4010	1.2600	1.0000	243.22	1095.7	48
50	281.01	0.01727	8.815	250.00	924.0	1174.1	0.4110	1.2474	1.0000	250.00	1095.3	50
58	287.07	0.01732	7.787	256.30	919.0	1175.9	0.4193	1.2316	1.0000	256.12	1096.7	58
60	292.71	0.01738	7.178	262.00	915.5	1177.0	0.4270	1.2168	1.0000	261.00	1097.0	60
68	297.97	0.01743	6.555	267.50	911.0	1178.1	0.4343	1.2032	1.0000	267.50	1097.3	68
70	302.92	0.01748	6.200	272.01	907.0	1179.0	0.4400	1.1900	1.0000	272.38	1098.2	70
78	307.60	0.01753	5.816	277.43	903.1	1180.0	0.4472	1.1787	1.0000	277.10	1098.5	78
80	312.03	0.01757	5.472	282.02	901.1	1181.1	0.4531	1.1670	1.0000	281.70	1098.1	80
88	316.36	0.01761	5.168	286.30	897.8	1182.2	0.4587	1.1571	1.0000	286.11	1102.0	88
90	320.27	0.01765	4.888	290.58	894.7	1183.3	0.4641	1.1471	1.0000	290.27	1103.7	90
98	324.19	0.01770	4.632	294.60	891.7	1184.2	0.4692	1.1370	1.0000	294.25	1104.5	98
100	327.81	0.01774	4.432	298.40	888.8	1185.2	0.4740	1.1268	1.0000	298.08	1105.2	100
110	334.77	0.01782	4.040	305.08	883.2	1188.0	0.4832	1.1117	1.0000	305.30	1106.5	110
120	341.26	0.01780	3.728	312.44	877.0	1190.1	0.4916	1.0963	1.0000	312.05	1107.6	120
130	347.32	0.01790	3.455	318.81	870.9	1191.7	0.4995	1.0817	1.0000	318.38	1108.4	130
140	353.02	0.01802	3.220	324.82	865.2	1193.0	0.5069	1.0682	1.0000	324.35	1109.0	140
150	358.42	0.01800	3.015	330.51	860.0	1194.1	0.5138	1.0550	1.0000	330.01	1110.5	150
160	363.63	0.01815	2.834	335.03	855.2	1195.1	0.5204	1.0430	1.0000	335.30	1111.2	160
170	368.41	0.01822	2.675	341.00	854.0	1196.0	0.5260	1.0324	1.0000	340.62	1111.0	170
180	372.90	0.01827	2.532	346.03	850.8	1196.9	0.5326	1.0217	1.0000	345.42	1112.5	180
190	377.51	0.01833	2.404	350.70	846.8	1197.6	0.5381	1.0110	1.0000	349.15	1113.1	190
200	381.70	0.01838	2.288	355.30	843.0	1198.4	0.5435	1.0018	1.0000	352.08	1113.7	200
250	400.05	0.01866	1.8438	370.00	826.1	1201.1	0.5676	0.9588	1.0000	370.00	1116.8	250
300	417.33	0.01890	1.5433	383.84	809.0	1202.8	0.5870	0.9226	1.0000	383.84	1117.1	300
350	431.72	0.01913	1.3280	400.00	794.2	1203.0	0.6056	0.8910	1.0000	400.00	1118.0	350
400	444.80	0.0193	1.1613	424.0	780.0	1204.6	0.6214	0.8630	1.0000	424.0	1118.5	400
450	456.28	0.0195	1.0320	437.2	767.4	1204.6	0.6350	0.8378	1.0000	437.2	1118.7	450
500	467.01	0.0197	0.9278	440.4	755.0	1204.4	0.6487	0.8147	1.0000	447.0	1118.0	500
550	476.04	0.0199	0.8424	400.8	743.1	1203.0	0.6608	0.7934	1.0000	458.8	1118.2	550
600	485.21	0.0201	0.7698	471.0	731.0	1203.2	0.6720	0.7734	1.0000	469.4	1117.7	600
650	494.50	0.0203	0.7083	481.8	720.5	1202.3	0.6826	0.7548	1.0000	479.4	1117.1	650
700	503.10	0.0205	0.6554	491.5	709.7	1201.3	0.6925	0.7371	1.0000	489.8	1116.3	700
750	510.80	0.0207	0.6092	500.8	699.2	1200.0	0.7019	0.7204	1.0000	499.8	1115.4	750
800	518.23	0.0209	0.5687	509.7	688.0	1198.0	0.7108	0.7046	1.0000	509.6	1114.4	800
850	525.20	0.0210	0.5327	518.3	678.8	1197.1	0.7194	0.6891	1.0000	519.5	1113.3	850
900	531.00	0.0212	0.5006	526.0	669.8	1196.4	0.7276	0.6744	1.0000	529.1	1112.1	900
950	536.43	0.0214	0.4717	534.0	660.1	1195.7	0.7355	0.6602	1.0000	539.0	1110.8	950
1000	544.01	0.0216	0.4456	542.4	649.4	1194.8	0.7430	0.6467	1.0000	548.4	1109.4	1000
1100	550.31	0.0220	0.4001	557.4	630.4	1187.8	0.7575	0.6205	1.0000	552.0	1106.4	1100
1200	567.22	0.0223	0.3619	571.7	611.7	1183.4	0.7711	0.5950	1.0000	560.7	1103.0	1200
1300	577.46	0.0227	0.3293	585.4	593.2	1178.6	0.7840	0.5719	1.0000	560.0	1099.4	1300
1400	587.10	0.0231	0.3012	598.7	574.7	1173.4	0.7963	0.5491	1.0000	552.7	1095.4	1400
1500	596.23	0.0235	0.2765	611.0	556.3	1167.0	0.8082	0.5269	1.0000	545.1	1091.2	1500
2000	635.82	0.0257	0.1878	671.7	463.4	1136.1	0.8619	0.4230	1.0000	603.2	1065.0	2000
2500	668.13	0.0267	0.1307	730.6	360.6	1091.1	0.9120	0.3197	1.0000	717.3	1030.6	2500
3000	695.39	0.0346	0.0858	802.5	217.8	1020.3	0.9731	0.1853	1.0000	783.4	972.7	3000
3206.3	706.40	0.0503	0.0503	902.7	0	902.7	1.0580	0	1.0390	872.0	672.0	3206.3

Fuente : Procesos de transferencia de calor. Donald Kern

(cont. tabla II) Propiedades del vapor saturado seco : tabla de temperaturas

Volumen específico= ft<sup>3</sup>/lb

Entalpía= BTU/lb

Entropía= BTU/lb °F

Temperatura, °F t	Presión absoluta, psi p	Volumen específico			Entalpía			Entropía			Temperatura, °F t
		Líquido saturado v <sub>f</sub>	Evaporación v <sub>fg</sub>	Vapor saturado v <sub>g</sub>	Líquido saturado h <sub>f</sub>	Vapor h <sub>g</sub>	Evaporación h <sub>fg</sub>	Líquido saturado s <sub>f</sub>	Evaporación s <sub>fg</sub>	Vapor saturado s <sub>g</sub>	
32	0.08854	0.01602	3305	3305	0.00	1075.8	1075.8	0.0000	2.1877	2.1877	32
35	0.09895	0.01602	2947	2947	3.02	1074.1	1077.1	0.0061	2.1709	2.1770	35
40	0.12170	0.01602	2444	2444	8.05	1071.3	1079.3	0.0162	2.1435	2.1597	40
45	0.14752	0.01602	2036.4	2036.4	13.06	1068.4	1081.5	0.0262	2.1167	2.1429	45
50	0.17811	0.01603	1703.2	1703.2	18.07	1065.6	1083.7	0.0361	2.0903	2.1264	50
60	0.2563	0.01604	1206.6	1206.6	28.06	1059.0	1088.0	0.0555	2.0303	2.0848	60
70	0.3631	0.01606	867.8	867.9	38.04	1054.3	1092.3	0.0745	1.9902	2.0647	70
80	0.5000	0.01608	673.1	633.1	48.02	1048.6	1096.6	0.0932	1.9428	2.0360	80
90	0.6782	0.01610	468.0	468.0	57.99	1042.9	1100.9	0.1115	1.8972	2.0087	90
100	0.9192	0.01613	350.3	350.4	67.97	1037.2	1105.2	0.1298	1.8531	1.9828	100
110	1.2748	0.01617	265.4	265.4	77.94	1031.6	1109.5	0.1471	1.8100	1.9577	110
120	1.6924	0.01620	203.25	203.27	87.92	1025.8	1113.7	0.1645	1.7684	1.9330	120
130	2.2225	0.01626	157.32	157.34	97.89	1020.0	1117.9	0.1819	1.7280	1.9112	130
140	2.8886	0.01633	122.90	123.01	107.86	1014.1	1122.0	0.1994	1.6880	1.8904	140
150	3.718	0.01639	98.00	97.07	117.83	1008.2	1126.1	0.2169	1.6487	1.8706	150
160	4.741	0.01639	77.27	77.29	127.80	1002.3	1130.2	0.2311	1.6174	1.8488	160
170	5.993	0.01646	62.04	62.06	137.76	996.3	1134.2	0.2472	1.5822	1.8293	170
180	7.510	0.01651	50.21	50.23	147.72	990.2	1138.1	0.2633	1.5480	1.8100	180
190	9.339	0.01657	40.94	40.96	157.68	984.1	1142.0	0.2785	1.5147	1.7932	190
200	11.620	0.01663	33.02	33.04	167.64	977.9	1145.9	0.2938	1.4824	1.7782	200
210	14.423	0.01670	27.80	27.82	178.05	971.6	1149.7	0.3090	1.4508	1.7648	210
220	17.866	0.01677	23.13	23.15	188.13	965.2	1153.4	0.3239	1.4201	1.7440	220
230	20.780	0.01684	19.385	19.382	198.23	958.8	1157.0	0.3387	1.3901	1.7248	230
240	24.000	0.01692	16.380	16.323	208.34	952.2	1160.6	0.3531	1.3600	1.7140	240
250	26.625	0.01700	13.804	13.821	218.48	945.3	1164.0	0.3676	1.3323	1.6988	250
260	29.429	0.01709	11.746	11.763	228.64	938.7	1167.3	0.3817	1.3043	1.6860	260
270	31.858	0.01717	10.044	10.061	238.84	931.8	1170.6	0.3958	1.2760	1.6727	270
280	34.003	0.01726	8.625	8.645	249.06	924.7	1173.8	0.4090	1.2481	1.6607	280
290	37.550	0.01735	7.444	7.461	259.31	917.6	1177.0	0.4234	1.2238	1.6472	290
300	37.013	0.01745	6.449	6.469	269.59	910.1	1179.7	0.4380	1.1980	1.6360	300
310	67.08	0.01755	5.605	5.626	279.92	902.6	1182.5	0.4504	1.1727	1.6261	310
320	80.00	0.01765	4.808	4.814	290.28	894.0	1185.2	0.4637	1.1478	1.6168	320
330	103.00	0.01776	4.280	4.307	300.68	887.0	1187.7	0.4769	1.1233	1.6092	330
340	118.01	0.01787	3.770	3.788	311.13	879.0	1190.1	0.4900	1.0993	1.5981	340
350	134.03	0.01799	3.324	3.342	321.63	870.7	1192.3	0.5029	1.0754	1.5783	350
360	151.04	0.01811	2.939	2.957	332.18	862.2	1194.4	0.5158	1.0519	1.5677	360
370	170.07	0.01823	2.600	2.625	342.79	853.6	1196.5	0.5286	1.0287	1.5573	370
380	190.77	0.01836	2.317	2.338	353.45	844.0	1198.1	0.5413	1.0060	1.5471	380
390	220.07	0.01850	2.080	2.098	364.17	834.4	1199.6	0.5539	0.9832	1.5371	390
400	247.81	0.01864	1.8447	1.8533	374.97	825.0	1201.0	0.5664	0.9605	1.5272	400
410	276.76	0.01878	1.6512	1.6700	385.83	815.3	1202.1	0.5788	0.9380	1.5174	410
420	306.80	0.01894	1.4811	1.5000	396.77	805.8	1203.1	0.5912	0.9160	1.5078	420
430	337.72	0.01910	1.3309	1.3499	407.70	796.0	1203.8	0.6035	0.8947	1.4982	430
440	368.60	0.01926	1.1979	1.2171	418.60	786.4	1204.3	0.6158	0.8730	1.4887	440
450	422.6	0.01944	1.0790	1.0993	429.1	774.5	1204.6	0.6282	0.8513	1.4793	450
460	490.0	0.01963	0.9740	0.9944	441.4	763.2	1204.6	0.6402	0.8299	1.4700	460
470	514.7	0.01983	0.8811	0.9000	452.5	751.6	1204.3	0.6523	0.8083	1.4608	470
480	590.1	0.02003	0.7972	0.8172	464.4	739.8	1203.7	0.6644	0.7869	1.4513	480
490	621.4	0.02022	0.7221	0.7423	476.0	728.0	1202.8	0.6764	0.7653	1.4419	490
500	690.0	0.02044	0.6545	0.6740	487.8	715.9	1201.7	0.6887	0.7438	1.4325	500
520	812.4	0.02090	0.5385	0.5594	511.0	680.4	1198.2	0.7180	0.7000	1.4130	520
540	992.6	0.0215	0.4434	0.4640	536.6	650.0	1193.2	0.7374	0.6600	1.3942	540
560	1133.1	0.0221	0.3647	0.3868	562.2	624.2	1186.4	0.7521	0.6121	1.3742	560
580	1326.8	0.0228	0.3000	0.3217	588.0	600.4	1177.9	0.7672	0.5650	1.3532	580
600	1512.0	0.0236	0.2422	0.2608	617.0	574.0	1168.5	0.7813	0.5170	1.3307	600
620	1700.0	0.0247	0.1900	0.2080	648.7	550.0	1158.0	0.7950	0.4690	1.3068	620
640	2000.0	0.0260	0.1500	0.1700	678.0	520.0	1146.0	0.8070	0.4110	1.2770	640
660	2300.0	0.0275	0.1100	0.1342	714.2	500.0	1134.0	0.8180	0.3530	1.2472	660
680	2700.0	0.0295	0.0810	0.1115	757.3	360.0	1097.2	0.8310	0.2910	1.2071	680
700	3000.0	0.0309	0.0602	0.0701	823.8	172.1	995.4	0.8460	0.1484	1.1380	700
708.4	3200.0	0.0303	0	0.0603	872.7	0	902.7	1.0580	0	0.9690	708.4

Fuente : Procesos de transferencia de calor. Donald Kern



Tabla III Coeficiente de conductividad de película del aire "f"

Superficie	BTU/(hr * pie2 * °F)	W/(m2 * °C)
Superficie vertical	1.46	8.29
Superficie horizontal transmisión hacia abajo	1.08	6.13
Superficie horizontal transmisión hacia arriba	1.63	9.26
Tubería	1.65	9.37

Fuente : Propuesta de mejoramiento de la administración energética en el sistema de vapor en una planta de confitería. Tesis. Lieb Najera, Augusto Enrique.

Tabla IV Conductividades térmicas del concreto<sup>^</sup>  $K_w$  (BTU pie) / (hr pie2 °F)\*

TIPO DE CONCRETO	MASA UNITARIA SECA ( kg/m3)	RANGO DE K
Concreto liviano (piedra pómez)	800	0.1156 - 0.150
Concreto liviano (piedra pómez)	1200	0.1792 - 0.2428
Concreto pesado (arena y grava)	2200	0.6820 - 0.8382
Concreto pesado (arena y grava)	2400	0.9769 - 1.0578
Concreto pesado (arena y grava)	2600	1.1098 - 1.1560

<sup>^</sup> Fuente : Laboratorio de Concreto de Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

- Los datos se obtuvieron con las dimensionales de Vatio / (m °C), se utilizo la conversión de 0.0173 Vatios/ (cm °C) = 1 (BTU pie) / (hr pie2 °F) para utilizarlos en los cálculos anteriormente realizados.

Tabla V Conductividades térmicas de aislantes y algunos materiales de construcción.  $k_k(\text{BTU pie}) / (\text{hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F})^*$

Material	Densidad Aparente, lb/pie <sup>3</sup> a temperatura ambiente	°F	$K_k$
Aerogel, sílica, opacificada.....	8.5	248	0.013
Algodón en rama .....	5	80	0.024
Aluminio, hojas, 7 cavidades por 2.5".....	0.2	100	0.025
Asbesto-cemento, láminas.....	120	68	0.43
Asbesto, hojas .....	55.5	124	0.096
Asbesto, pizarra .....	112	32	0.087
Asbesto .....	112	140	0.114
	29.3	-328	0.043
	29.3	32	0.043
	36	32	0.087
	36	212	0.111
	36	392	0.12
	36	752	0.129
	43.5	-328	0.09
	43.5	32	0.135
Asfalto.....	132	68	0.43
Aserrín .....	12	70	0.03
Aserrín .....	...	...	0.033-0.05
Arena,seca .....	94.6	68	0.19
Azufre, monoclinico .....	...	212	0.09-0.097
Rómbico .....	...	70	0.16
Batista, barnizada .....	...	100	0.09
Calcio, carbonato, natural .....	162	86	1.3
Mármol blanco .....	...	...	1.7
Yeso .....	96	...	0.4
Calcio, sulfato (4H <sub>2</sub> O), artificial .....	84.6	104	0.22
Yeso artificial .....	132	167	0.43
Construcción .....	77.9	77	0.25
Calderas, incrustaciones, (Ref. 364)			
Caliza (15.3 vol. % H <sub>2</sub> O).....	103	75	0.54
Carbón, gas .....	...	32 - 212	2
Carbón vegetal, escamas .....	11.9	176	0.043
	15	176	0.051
Cartón, corrugado.....	...	...	0.037
Celuloide .....	87.3	86	0.12
Cemento Portland (véase concreto).....	...	194	0.17
Ceniza de madera .....	...	32 - 212	0.041
Clinker, granulado .....	...	32 - 1292	0.27

## (continuación tabla V)

Material	Densidad Aparente, lb/pie <sup>3</sup> a temperatura ambiente	°F	K <sub>n</sub>
Coque, petróleo .....	...	212	3.4
		932	2.9
Coque, pulverizado .....	...	32 - 212	0.11
Concreto, cinder .....	...	...	0.2
1:4 seco .....	...	...	0.44
Piedra .....	...	...	0.54
Corcho, placa .....	10	86	0.025
Corcho, molido .....	9.4	86	0.025
Regranulado .....	8.1	86	0.026
Cuero, suela .....	62.4	...	0.092
Diatomácea, tierra, polvo, gruesa .....	20	100	0.036
	20	1600	0.082
Fina .....	17.2	399	0.04
	17.2	1600	0.074
Aislante de tubería .....	26	399	0.051
4 partes calcinada y 1 parte cemento, vacuada y calcinada .....	61.8	399	0.16
Dolomita .....	167	122	1
Ebonita .....	...	...	0.1
Esmalte, silicato .....	38	...	0.5 - 0.75
Escoria, alto horno .....	...	75-261	0.064
Escoria, lana .....	12	86	0.022
Fibra aislante, placa .....	14.8	70	0.028
Fibra, roja .....	80.5	68	0.27
Con adhesivos, homeada .....	...	68 - 207	0.097
Fieltro, lana .....	20.6	86	0.03
Fieltro, pelo, perpendicular a las fibras.....	17	86	0.021
Gas, carbón .....	...	32 - 212	2
Grafito, denso, comercial .....	...	32	86.7
Pulverizado, a través de mallas.....	30	104	0.104
Granito .....	...	...	1.0 - 2.3
Grava .....	140	104	1.06
Hielo .....	57.4	32	1.3
Hule, duro .....	74.8	32	0.087
Para .....	...	70	0
Blando .....	...	70	0.075 - 0.092
Infusorios, tierra (véase tierra diatomácea) .....	...	...	...
Incrustaciones (Ref. 364).....	...	...	...
Kapok .....	0.88	68	0.02
Lana, animal .....	6.9	86	0.021

(continuación tabla V)

Material	Densidad Aparente, lb/pie <sup>3</sup> a temperatura ambiente	°F	K <sub>K</sub>
Lana mineral .....	9.4	86	0.0225
Lava .....	...	...	0.49
Lino .....	...	86	0.05
Ladrillos			
Alúmina (92 - 99% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> para peso) fundida .....	...	801	1.8
Alúmina (64 - 65% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> para peso) (véase también Ladrillos, arcilla refractaria).....	...	2.399	2.7
	115	1472	0.62
	115	2012	0.63
Ladrillo para construcción .....	...	68	0.4
Ladrillo al cromo (32% CR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> por peso).	200	392	0.67
	200	1202	0.85
	200	2399	1
Tierra diatomácea, natural perpendicular al estrato .....	27.7	399	0.051
	27.7	1600	0.077
Diatomácea, natural paralelo al estrato .....	27.7	399	0.081
	27.7	1600	0.106
Tierra diatomácea, moldeado y calcinado .....	38	399	0.14
	38	1600	0.18
Tierra diatomácea y arcilla, moldeado y calcinado .....	42.3	399	0.14
	42.3	1600	0.19
Tierra diatomácea, alto quemado, poroso .....	37	392	0.13
	37	1832	0.34
Arcilla refractaria, Missouri .....	...	392	0.58
		1112	0.85
		1832	0.95
		2552	1.02
Ladrillo aislante, caolín .....	27	932	0.15
	27	2102	0.26
Ladrillo refractario aislante, caolín .....	19	392	0.05
	19	1400	0.113
Magnesita (86.8% MgO, 6.3% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 3% CaO, 2.6% SiO <sub>2</sub> por peso).....	158	399	2.2
	158	1202	1.6
	158	2192	1.1

(continuación tabla V)

Material	Densidad Aparente, lb/pie <sup>3</sup> a temperatura ambiente	°F	K <sub>K</sub>
Ladrillo de carburo de silicio, recristalizado .....	129	1112	10.7
	129	1472	9.2
	129	1832	8
	129	2192	7
	129	2552	6.3
Magnesia, pulverizada .....	49.7	117	0.35
Magnesia, carbonato ligero.....	19	70	0.04
Magnesia, óxido, comprimido .....	49.9	68	0.32
Madera, fibra cruzada .....			
Balsa.....	7.8	86	0.025 - 0.03
Olmo.....	51.5	59	0.12
Maple .....	44.7	122	0.11
Pino, blanco .....	34	59	0.087
Teca .....	40	59	0.1
Abeto .....	28.1	140	0.062
Madera, paralelo a la fibra .....			
Pino .....	34.4	70	0.2
Mármol .....	...	...	1.2 - 1.7
Mica, perpendicular a los planos .....	...	122	0.25
Negro de humo .....	10	104	0.038
Nieve .....	34.7	32	0.27
Piedra pómez .....	...	70 - 151	0.14
Pizarra .....	...	201	0.86
Papel .....	...	...	0.075
Papel tapiz, tipo aislante .....	14.8	70	0.028
Papel tapiz, cartoncillo .....	43	86	0.04
Parafina .....	...	32	0.14
Plásticos piroxilina .....	...	...	0.075
Porcelana .....	...	392	0.88
Seda .....	6.3	...	0.026
Barnizada .....	...	100	0.096
Vidrio .....	...	...	0.2 - 0.73
Tipo boro-silicato .....	139	86-167	0.63
Vidrio a la soda .....	...	...	0.3 - 0.44
Vidrio de ventana .....	...	...	0.32 - 0.61
Viruta de madera .....	8.8	86	0.034
Yeso, moldeado y seco .....	78	68	0.25

FUENTE : Libro : Procesos de Transferencia de Calor. Autor : Donald Kern.



### 3. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA RED DE VAPOR

Los elementos que constituyen el sistema de generación y suministro de vapor son : generador de vapor , tuberías y accesorios, trampas de vapor e instrumentación. La función de la red de vapor es generar, suministrar y controlar la cantidad de vapor necesaria en las instalaciones para realizar el proceso deseado.

#### 3.1 Generador de vapor

El generador de vapor, comúnmente llamado caldera, realiza la función principal de proporcionar un medio por el cual el calor procedente de la combustión del combustible se transmita al agua y se produzca la evaporación de la misma formándose el vapor.

La elección de una caldera para un servicio determinado, depende del flujo de vapor necesario en las instalaciones, del combustible que se disponga, tipo de servicio, duración probable de la instalación y de otros factores económicos y técnicos que se deben de tomar en cuenta.

Para determinar la capacidad de una caldera con base en una masa de vapor establecida, se utiliza la ecuación siguiente :

$$\text{BHP} = \frac{\text{Masa de Vapor en lb/hr}}{34.5 \text{ lb/hr}} \quad (3-1)$$

## 3.2 Sistema de distribución de vapor

El sistema de distribución de vapor es aquel que se conecta a las calderas con el equipo que en realidad utiliza el vapor. Los tres componentes principales de un sistema de distribución de vapor son los siguientes :

- **Cabezales de las calderas** : es una clase especial de tubería de distribución porque puede recibir vapor de una o varias calderas al mismo tiempo.
- **Tuberías principales** : llevan el vapor desde el cabezal de la caldera hasta el lugar en la planta de donde se encuentran varios equipos que utilizan vapor.
- **Ramales de tubería** : los cuales llevan el vapor desde las tuberías principales hasta los equipos calentados con vapor.

### 3.2.1 Características

La tubería de vapor debe de ser de hierro negro sin costura, fabricada de acero comercial con bajo contenido de carbono especificado bajo la norma ASTM A-53. Se construyen en longitudes que promedian 20 pies y longitudes dobles de 40 pies .

El grosor de la pared de la tubería es conocido como el número de cédula. Los números de calibre están relacionados con la presión de operación permisible y con la tensión permitida del acero en el conducto. El intervalo de números de calibre va de 10 a 160, siendo de mayor grosor el de mayor calibre. La serie más completa de conductos de acero disponibles son los Calibres 40 y 80. La designación por cédulas también puede ser la siguiente :

Normal (S)

Extra-fuerte (X)

Doble extra-fuerte (XX)



### 3.2.2 Diámetro de tuberías

Existen varios factores que definen el diámetro de las tuberías en un sistema de vapor :

- **La presión inicial en la caldera y la caída de presión permitida para todo el sistema de tuberías** : la caída total de presión en el sistema no debe de exceder del 20% de la presión máxima en la caldera. Este valor debe de incluir todas las caídas en : los tubos, codos, válvulas, etc. Siempre hay que tener en cuenta que una caída de presión es una pérdida de energía.
- **Velocidad del vapor**. Factores que aumentan la velocidad es la erosión y ruido en las tuberías. Las velocidades recomendadas para vapores de proceso varían dependiendo de la condición del vapor, la presión y del uso destinado (ver tabla VI).
- **Factor de crecimiento en el futuro**. El tamaño de las tuberías se debe de definir en base a las condiciones contempladas para el futuro.

El diámetro de las tuberías se puede determinar por medio de cálculos matemáticos y por medio de tablas suministradas por los proveedores de las mismas.

Tabla VI Rango permisible de velocidades en sistemas de tubería

Línea de vapor a alta presión	8000 - 12000 Pies/min.
Línea de vapor a baja presión	12000 - 15000 Pies/min.
Línea de vapor al vacío	20000 - 40000 Pies/min.
Línea de agua	500 - 750 Pies/mis.

El cálculo matemático se basa en los datos siguientes :

$$d_i = (12 * (\dot{m} / (\text{Vel} * 0.785)))^{(1/2)} \quad (3-2)$$

De donde :

$d_i$  = diámetro interno (nominal) de la tubería, en plg ;

$\dot{m}$  = flujo del vapor, en pies<sup>3</sup>/min ;

$$\dot{m} = M_s * V_s \quad (3-3)$$

$M_s$  = masa del vapor circulante en la línea de vapor, en libras/min ;

$V_s$  = volumen específico de una libra de vapor a la presión absoluta de la línea, en pies<sup>3</sup>/libras ;

$V_{el}$  = velocidad permisible en la línea del vapor, en pies/min .

Al calcular el diámetro óptimo para un flujo de vapor, se hace necesario calcular la caída de presión existente en esa tubería para comprobar si se encuentra en los rangos permisibles. Esa caída de presión se calcula por la siguiente ecuación :

a. **Caída de presión en tubería recta** : se determina por medio de la ecuación siguiente :

$$\Delta P = \frac{f * L * V_s * (G * 10^{-5})^2}{d_i} \quad (3-4)$$

de donde :

$\Delta P$  = caída de presión, en lb/plg ;

$f$  = factor de fricción, adimensional (ver figura 10) , depende de :

$E/d_e$  ( rugosidad relativa de la superficie. Valor adimensional. Ver figura 11).

$Re$  (número de Reynolds, adimensional).

$$Re = \frac{(d_e * G)}{12 \mu} \quad (3-5)$$

$\mu$  = viscosidad absoluta, en lb/ (pie \* hr) ;(en figura 12)

La viscosidad absoluta depende de la temperatura y presión del vapor, en °F.

$L$  = longitud de la tubería, en pies ;

$$G = \text{masa velocidad} , = M_s/A \text{ en lb}/(\text{pies}^2 * \text{hr}) \quad (3-6)$$

A = área de la tubería, en pies<sup>2</sup>.

**b. Caída de presión en los accesorios :** se realiza al determinar la longitud de tubería recta equivalente de cada uno de los accesorios utilizados en la instalación. Para conocer la resistencia de los accesorios en longitudes equivalentes de tubo recto consultar la tabla VII y luego realizar nuevamente el cálculo en ecuación 3-4.

El diámetro del cabezal de caldera en plg., es determinado por :

$$d_c = (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2)^{1/2} \quad (3-7)$$

de donde :

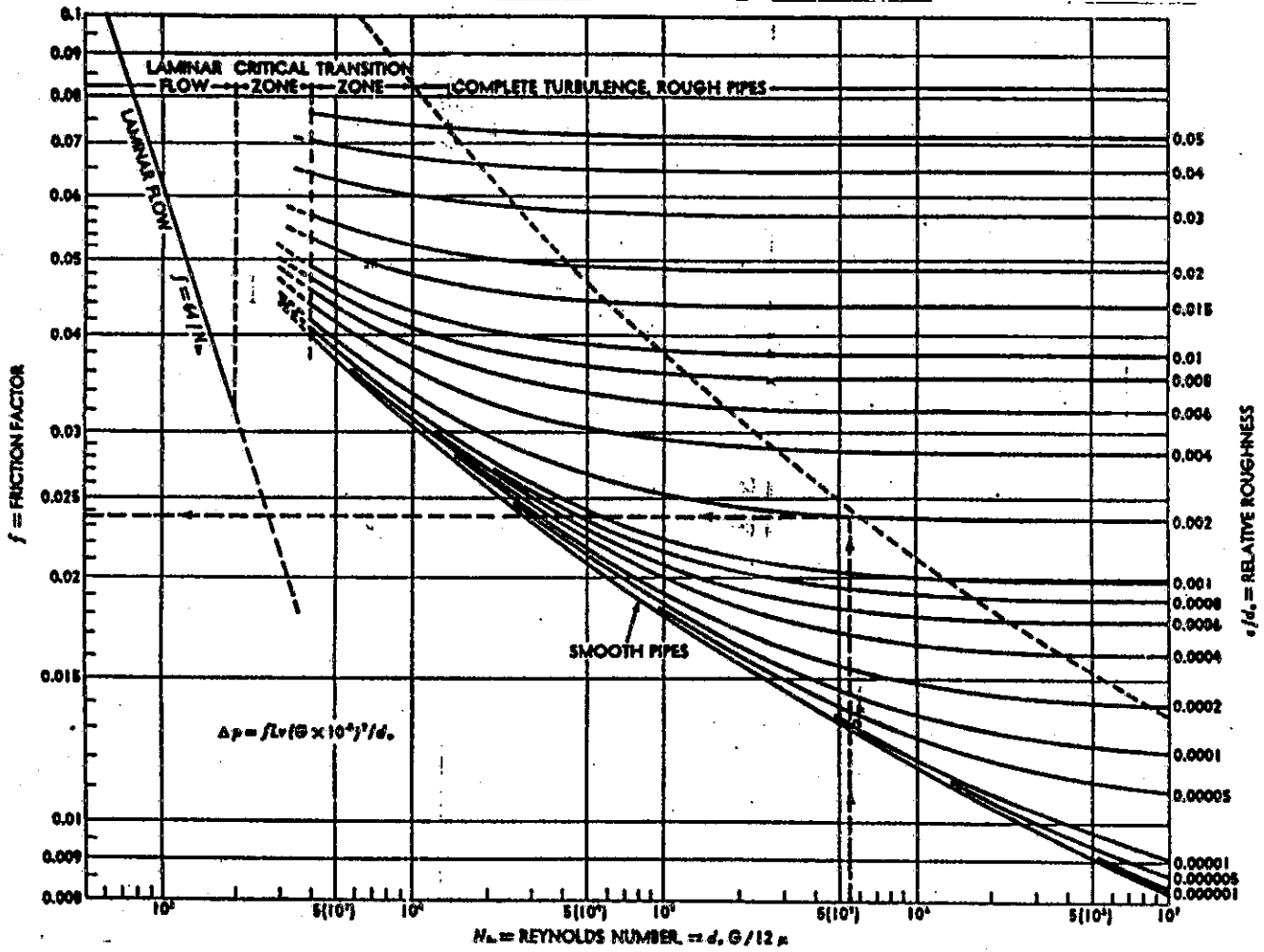
$d_1^2, \dots, d_n^2$  son diámetros de las tuberías de salida del cabezal, en plg.

El cálculo del diámetro de la tubería de vapor por medio de una tabla proporcionada por los fabricantes, se puede realizar en la tabla VIII.

### 3.3 Accesorios para el sistema de distribución de vapor

Los accesorios son de mucha importancia para el montaje de las tuberías, ya que permiten que la instalación de la red se distribuya lo mejor posible en las instalaciones. Se pueden utilizar también para mantener el control de las condiciones de presión y temperatura en procesos, así como , ayudan a mejorar la eficiencia de la distribución de vapor al minimizar la pérdida de energía debida a la condensación. Los accesorios que son utilizados para realizar la distribución correcta de la tubería en las instalaciones son : codos de 45°, codos de 90°, cruz, Y lateral a 45°, Y verdadera, uniones, reducciones concéntricas, reducciones excéntricas, tees y tapones. Los materiales utilizados para la fabricación de los anteriores accesorios son : acero, hierro fundido, aceros de aleación, bronce y acero forjado. A continuación se describen los accesorios más complejos a utilizar en una red de vapor.

Figura 10 Factor de fricción en la tubería "f"



Fuente : Jorge Raúl Soto Obediente. Diseño de líneas de vapor. Tesis.

Figura 11 Rugosidad relativa

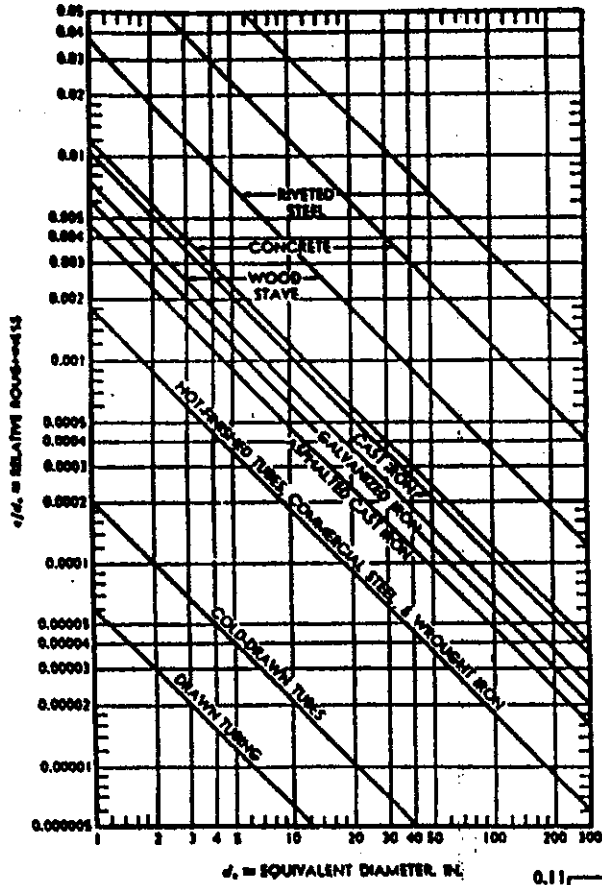
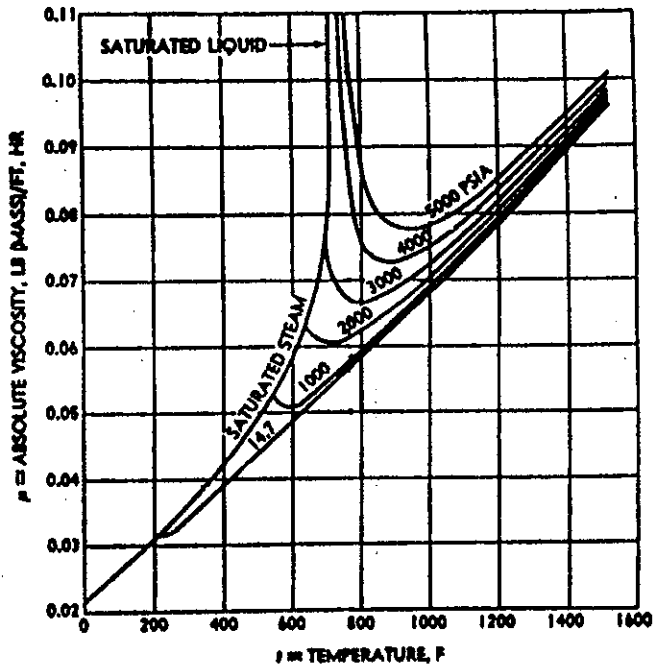


Figura 12 Viscosidad absoluta



Fuente : Jorge Raúl Soto Obediente.  
 Diseño de líneas de vapor. Tesis

Viscosidad absoluta de vapor saturado y sobrecalentado

### 3.3.1 Válvulas

Una válvula es un dispositivo empleado para controlar el flujo de vapor o condensado en la tubería. Para la selección de las válvulas, se deben de tomar en cuenta las siguientes características básicas: tipo de válvula, materiales de construcción, capacidades de presión y temperatura, material de empaquetaduras y juntas, costo, disponibilidad, condición del servicio, así como las características físicas y químicas de los fluidos que se manejarán. Son de bajo mantenimiento y fácil operación.

La clasificación de las válvulas respecto a la función que realizan son :

3.3.1.1 Válvulas de cierre, que también son llamadas de bloqueo ;

3.3.1.2 Válvulas de estrangulación ;

3.3.1.3 Válvulas de retención.

#### 3.3.1.1 Válvulas de cierre o bloqueo

Son utilizadas para aislar equipo, instrumentos y componentes de tubería (coladores, trampas de vapor, filtros en la tubería, etc.) cuando no se desea el paso del flujo. Estas válvulas suelen ser del tamaño de la tubería y tienen un orificio más o menos del tamaño del diámetro interior del tubo.

Las características principales y los usos más comunes de los diversos tipos de válvulas para servicio de cierre o bloqueo son :

- **Válvulas de Compuerta** : se caracteriza por realizar un cierre completo sin estrangulación, operación poco frecuente y proporciona una resistencia mínima a la circulación por mantenerse totalmente abierta o totalmente cerrada. Las ventajas que proporciona son la alta capacidad, cierre hermético, bajo costo, diseño y funcionamiento sencillos. No se recomiendan para servicio de estrangulación

porque la compuerta y el sello tienden a sufrir erosión rápida cuando restringe la circulación y producen turbulencia con la compuerta parcialmente abierta.

- **Válvulas Macho** : los principales servicios de éste tipo de válvulas incluyen apertura o cierre total sin estrangulación ; tienen mínima resistencia al flujo ; se utilizan para operar frecuentemente y tiene poca caída de presión. Las ventajas de la válvula son acción rápida, operación sencilla y se necesita espacio mínimo para instalación .
- **Válvulas de Bola** : no están limitadas a un fluido en particular. Se pueden emplear para vapor, agua, aceite, gas, aire, fluidos corrosivos, pastas aguadas y materiales pulverizados. No presentan obstrucción al flujo y se utilizan totalmente abierta o cerrada. Requieren poco mantenimiento para mantenerla en condiciones de operación. La válvula de bola está limitada a las temperaturas y presiones que permite el material del asiento que tiene. Los materiales más comunes para los asientos son TFE, Nylon, buna-N y Neopreno. La temperatura máxima recomendada para su utilización es 204°C.
- **Válvulas de Mariposa** : su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases líquidos a baja presión. Ocupan poco espacio para su instalación en la tubería. El rango de operación recomendado para éste tipo de válvula en un sistema de vapor es de 18 a 132°C, debido al material del sello y del asiento que es de hule natural o derivados .

### 3.3.1.2 Válvulas de estrangulación

Son válvulas de operación manual cuya finalidad es regular el flujo, la presión o ambos. Las características principales y los usos más comunes para diversos tipos de válvulas para el servicio de estrangulación son :

- **Válvulas de Globo** : se utilizan para cortar o regular el flujo del líquido. Esta válvula cambia de dirección al fluido y consecuentemente, ofrece una considerable resistencia cuando está en posición abierta. La válvula de globo opera cerrando un tapón saliente.
- **Válvulas de Aguja** : son básicamente, válvulas de globo que tienen un macho cónico similar a una aguja que ajusta con precisión en su asiento. Se puede tener estrangulación exacta de volúmenes pequeños porque el orificio formado entre el macho cónico y el asiento cónico se puede variar a intervalos pequeños y precisos. Por lo general, se utilizan como válvulas para instrumentos o en sistemas hidráulicos, aunque no para altas temperaturas. Los materiales de construcción suelen ser bronce, acero inoxidable, latón y otras aleaciones, Los extremos suelen ser roscados y sus tamaños van desde 1/8 a 1 plg.
- **Válvulas en Y** : son válvulas globo que permiten el paso rectilíneo y sin obstrucción igual que las válvulas de compuerta. La ventaja es una menor caída de presión comparada con la válvula globo convencional.
- **Válvulas de Ángulo** : son en esencia, iguales que las válvulas de globo. La diferencia principal es que el flujo del fluido en la válvula de ángulo hace un giro de 90°.

### 3.3.1.3 Válvulas de retención

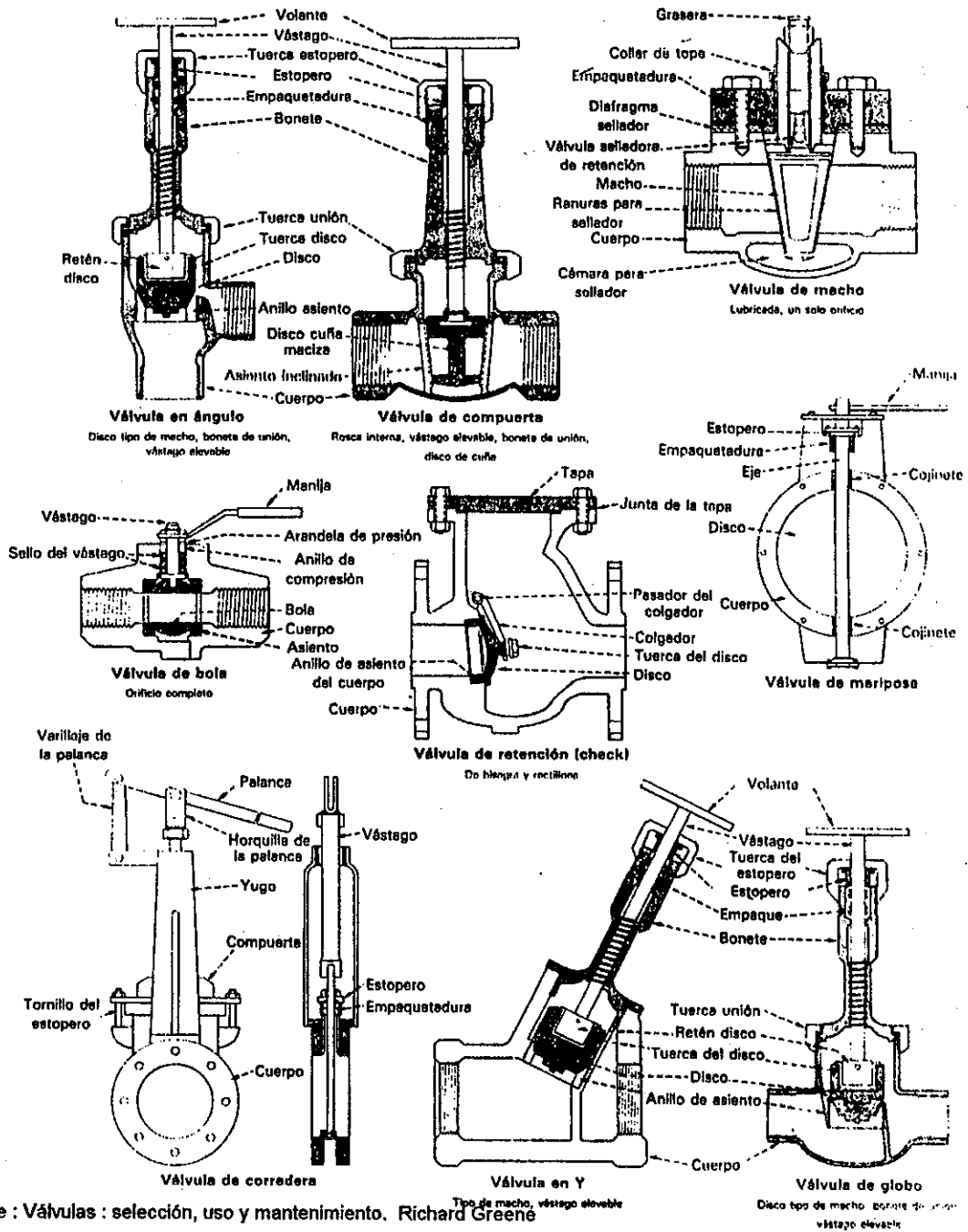
Se utilizan para impedir el flujo inverso. Actúan en forma automática ante los cambios de presión para evitar que se invierta el flujo. La presión del fluido circulante abre la válvula y el peso del mecanismo de retención ó cualquier inversión en el flujo la cierran.

Hay diferentes tipos de válvulas de retención y su selección depende de la temperatura, caída de presión que reducen y la limpieza del fluido.



En la figura 13 se ilustran diferentes tipos de válvulas y sus elementos.

Figura 13 Diferentes tipos de válvulas y elementos de composición



Fuente : Válvulas : selección, uso y mantenimiento. Richard Greene

Las válvulas son fabricadas de una diversidad de materiales, entre los que se encuentran : acero inoxidable, hierro fundido, hierro dúctil, bronce, acero fundido, acero forjado. Existe también varias formas de acoplamiento a la tubería como lo son : por bridas, soldadas y roscadas.

Además de seleccionar el tipo de válvula adecuado, se es necesario seleccionar el material de empaque y junta a utilizar para realizar un buen montaje en la línea y no producir fugas de vapor que fácilmente se pueden evitar.

Existen otros tipos de válvulas que se utilizan mucho para la seguridad que debe de existir con el equipo a operar ; entre las que podemos mencionar están :

#### 3.3.1.4 Válvulas de alivio de presión

La válvula de alivio o desahogo de presión, debido su sencillez y funcionamiento automático, es quizá la más confiable para producir el cierre cuando ocurre la sobrepresión. La presión de diseño del sistema que se va a proteger con la válvula de desahogo o alivio de presión, determinará la presión de graduación de esta. Una válvula de alivio muy conocida es la válvula de seguridad.

- **Válvula de seguridad** : evitan la sobrepresión indeseada en el equipo y tuberías de procesos. El desahogo de la presión se realiza de manera automática a una presión predeterminada para descargar el fluido y reducir la sobrepresión. La válvula se abre o dispara con gran rapidez dejando escapar el fluido y se utiliza en servicios de líquidos o de vapor de agua. En servicio con vapores, la válvula se dispara con una sobrepresión de 3%, o menor. La expresión de uso normal para determinar la superficie de desahogo para descarga de vapores cuando no hay contrapresión, es :

$$A = \frac{Vol (TZ/M)^{(1/2)}}{C'KP} \quad (3-8)$$

de donde :

A= superficie de descarga de la válvula ; en  $\text{plg}^2$  ;

P= presión acumulada (presión absoluta graduada de la válvula más la sobrepresión), en psia ;

T = temperatura absoluta de los vapores a la entrada, en °R ;

Z= factor de compresibilidad que corresponde a la presión absoluta de desahogo ;

M= peso molecular promedio del gas o vapor ;

K= coeficiente de descarga de la válvula determinado por el fabricante; generalmente es 0.975 ;

Vol = volumen del flujo del vapor, en lb/hr ;

C'= coeficiente de expansión del gas el cual depende del calor específico , (ver tabla XVIII).

### 3.3.1.5 Válvula reguladora de presión o temperatura

Se utilizan para mantener una presión o temperatura constante para el control adecuado del proceso, asegurando que las condiciones se mantengan estables.

Existen tres tipos de válvulas reductoras de presión :

- **Acción directa** : funcionan ya sea con un diafragma plano o con un fuelle en espiral. Dado que este tipo de válvula es autónomo, no requiere de un sensor externo en la línea de salida para funcionar. Es el tipo de válvula más pequeño y más económico entre las tres opciones, y está diseñado para operar con flujos bajos o moderados. La exactitud de las válvulas de acción directa es típicamente de un 10% del valor de referencia a la salida.
- **Operada por pistón controlado internamente** : esta compuesta de dos válvulas - una de control y una principal- en una sola unidad. La válvula de control o válvula piloto tiene un diseño similar a la válvula de acción directa. La salida de la válvula piloto es la que acciona el pistón que abre la válvula principal. Este diseño también

hace uso de la presión de entrada para unir una válvula principal más grande que lo que se podría abrir normalmente. De esta forma se tiene una mayor capacidad para cada tamaño de la tubería ; se tiene mayor exactitud (aproximadamente 5%) que con una válvula de acción directa. Al igual que con las válvulas de acción directa, la presión se mide internamente por lo cual se elimina la necesidad de un sensor externo en la línea de salida.

- **Controlada externamente** : en este diseño se tienen diafragmas dobles que reemplazan el pistón en las válvulas controladas internamente. Al tener una mayor área de diafragmas se tiene mayor fuerza par abrir las válvulas principales más grandes, lo cual resulta en mayores capacidades con los mismos tamaños de tubería que con las válvulas controladas internamente. Se logra obtener una exactitud de 1% y se debe a que el elemento sensor está fuera de la válvula , donde se tiene menos turbulencia en el flujo. Este tipo de válvula también ofrece la opción de utilizar diferentes tipos de válvulas piloto o control, por ejemplo : de presión, temperatura, cargada por aire (neumática), solenoide ó una combinación.

La válvula reguladora se dimensiona con los datos siguientes :

Presión de entrada del vapor.

Flujo de vapor a regular máximo.

Modelos posibles a utilizar según especificaciones de los fabricantes.

Presión de salida.

Para realizar la selección de válvulas reguladoras temperatura se puede consultar a los fabricantes de las mismas. En la tabla IX, se ilustra una tabla utilizada por un fabricante para la selección de las válvulas reguladoras de temperatura con base a la serie 150 y 151, series 152 y series 175.

En la tabla XIX (ver apéndice) se detallan las dimensiones, presiones máximas de operación y los coeficientes de cada válvula según el diámetro, de las series 150, 151, 152 175.

Para realizar la selección de válvulas reguladora de presión y temperatura se puede utilizar la ecuaciones siguientes :

a) Para flujo retardado cuando la  $P_2$  es más grande que  $0.58 P_1$

$$M_s = C_v * 2.1 (P_1^2 - P_2^2)^{1/2} \quad (3-9)$$

b) Para flujo crítico donde  $P_2$  es menos de  $0.58 P_1$

$$M_s = C_v * 1.71 * P_1 \quad (3-10)$$

de donde :

$M_s$  = Masa del vapor en lbv/hr

$C_v$  = Coeficiente de válvula

$P_1$  = Presión de entrada, (psig + 14.7)

$P_2$  = Presión de salida, (psig + 14.7)

Una tabla representativa de los valores obtenidos en la ecuaciones anteriores se incluye en la tabla XX (ver apéndice). En la tabla XXI (ver apéndice) se presentan las dimensiones y pesos de las válvulas seleccionadas en la tabla XX.

### 3.3.2 Trampas de vapor

Las trampas de vapor son utilizadas para extraer el condensado, aire y  $CO_2$  del sistema de distribución de vapor tan rápido como se empiecen a generar. Ayudan a mantener las temperaturas máximas de los equipos, ya que descargan el condensado tan pronto como éste se acumula sin esperar que se enfríe. Algunas características observables en una trampa de vapor para su selección son las siguientes :

- **Forma de operación** : existen trampas que descargan el condensado de manera intermitente, mientras que otras lo realizan de manera continua. La ventaja de las

intermitentes es que dan la facilidad de comprobar su operación debido a los sonidos producidos al momento de abrir y cerrar.

- **Resistencia al desgaste** : las trampas están fabricadas de materiales resistentes al desgaste que es producido por el flujo continuo de vapor y líquido que circula por ella, disminuyendo las posibilidades de fugas de vapor por su estructura.
- **Resistencia a la corrosión** : las partes importantes de una trampa deben de ser resistentes a la corrosión para que no sufran los efectos dañinos de los condensados cargados con ácidos o con oxígeno.
- **Venteo de aire y CO<sub>2</sub> a la temperatura del vapor** : mediante el venteo del CO<sub>2</sub> se evita la formación del ácido carbónico. El ácido carbónico produce una acelerada corrosión y debilitamiento de la superficie de la tubería, originando que las fugas se aceleren. Al mezclarse el aire con el vapor, no existe una transferencia de calor como la deseada, disminuyendo la eficiencia del mismo.
- **Operación con contrapresión** : la contrapresión puede deberse a algún elemento del sistema de distribución de vapor en mal estado, el cual presuriza la línea con vapor vivo. Una trampa debe de ser capaz de soportar esta condición para no dejar escapar el vapor vivo por la diferencia de presión.
- **Capacidad para pasar suciedad** : normalmente la suciedad queda atrapada entre la válvula y el orificio, lo que impide el cierre completo provocando fugas y por consiguiente desgaste.
- **Principios de operación** : los principios de operación de las trampas de vapor puede ser por medio de diferencia de densidades entre el vapor y el agua, entre densidad y temperatura, retraso de tiempo y que opera en base al concepto de velocidad y por diferencia de temperaturas entre el vapor y el condensado.

Por lo tanto, una trampa que opere en condiciones optimas puede lograr en el sistema un calentamiento rápido de las unidades de transferencia de calor, funcionamiento a capacidad máxima y máximo ahorro energético. Una trampa que no contenga las características mínimas deseadas, provocará una menor eficiencia y un incremento de costos.

### 3.3.2.1 Tipos de trampas de vapor

Para poder diferenciar las características de utilización de las trampas de vapor, se realiza una breve descripción de cada una de ellas :

**a. Trampa de cubeta invertida :** la descarga normal del condensado se realiza de manera intermitente y requiere una cierta presión diferencial entre la entrega y la descarga de la trampa para elevar el condensado desde el fondo del flotador a la conexión de descarga. Este tipo de trampas son adecuadas para vaciar el condensado de las líneas de vapor de la máquina en donde se descarga una cantidad de aire anormal y donde la suciedad puede penetrar dentro del purgador.

Las ventajas que presenta éste tipo de válvula es :

- Buena resistencia al golpe de ariete.
- Temperatura de condensado muy cerca a la temperatura de saturación.
- Respuesta aceptable a las cargas variables del condensado.
- Se puede usar con grandes presiones de descarga.

Las Limitaciones que presenta son :

- El orificio de venteo de la cubeta tiene capacidad muy limitada del venteo de aire, lo que causa tiempos más largos de calentamiento del sistema de arranque.
- Cuando no pasa aire, pasa vapor en el orificio de venteo.
- Puede fallar abierta.

**b. Trampa termostática :** la descarga de este tipo de trampas es intermitente ; se usan para vaciar el condensado de los las tuberías principales de vapor y ramales de las tuberías, radiadores aleteados, serpentinan de calefacción. Se recomienda usarlas para sistemas de baja presión y donde se tiene cargas de condensado bastante ligeras.

Las ventajas que presentan son las siguientes :

- Construcción sencilla, sólo una parte móvil.
- Tamaño pequeño y ligero.
- Resistente al golpe de ariete.
- Puede instalarse en cualquier posición.
- Respuesta rápida.
- Descarga el condensado a la temperatura del vapor.

Las limitaciones que presenta son :

- Limites para sacar el aire del sistema.
- Produce mucho ruido
- Falla en estado abierto
- Vida reducida a presiones superiores a 300 psi.

**c. Trampas de flotador y termostáticas :** se emplean en descargas continuas de condensado ; se usan para descargar el condensado en unidades de calentamiento, máquinas de absorción de vapor e intercambiadores de calor de tubo y coraza de presión variable.

Las ventajas que presenta son :

- Descarga inmediata y continua del condensado sin dejarlo acumular en la tubería de entrada.
- Alta capacidad para el venteo de aire y gases.



Las limitaciones que tiene son :

- Relativamente grande y pesada.
- Falla cerrada.
- Es sensible a daños por golpe de ariete.
- Sólo para uso a presiones bajas.

Para determinar los materiales utilizados en la fabricación de las trampas, así como el tipo de conexiones, presiones permitidas para su uso, capacidades , especificaciones sobre el principio de operación y dimensiones, es recomendable comunicarse con los ingenieros de ventas de cada marca en especial.

### **3.3.2.2 Dimensionamiento de trampas**

La información que se requiere para determinar el dimensionamiento correcto de una trampa es :

- Carga de condensado
  - Presión de entrada
  - Contrapresión en la línea de retorno
  - Factor de seguridad
- 
- La carga de condensado es el flujo de vapor que circulará por la tubería, en lbv/hr.
  - La presión a la entrada de la trampa puede tomarse como la presión de vapor en la tubería de suministro.
  - La contrapresión contra la que debe de operar la trampa, es la presión existente en la salida de la trampa. Si la tubería está conectada a un sistema general de retorno de condensado que puede estar presurizado, la trampa deberá operar contra esa presión más cualquier cabeza estática que debe de considerarse si se requiere elevar el condensado después de la trampa.

- El factor de seguridad es la relación entre la máxima capacidad de descarga de la trampa y la carga de condensado que se espera manejar realmente. El factor de seguridad es un multiplicador que se aplica al condensado calculado para la aplicación dada para asegurar que la trampa seleccionada tenga la capacidad adecuada. El factor de seguridad depende también de la posición que tenga la trampa en el sistema de distribución de vapor. Los factores de seguridad a utilizar según su aplicación se puede observar en la tabla X.

Las capacidades de las trampas de vapor puede observarse en las tablas XI, XII y XIII. El comportamiento de las trampas de vapor, en determinadas condiciones de trabajo puede verse en la tabla XIV.

Para dimensionar las trampas de vapor se utilizan las ecuaciones siguientes :

- a) Para trampa de cabezal de caldera :

$$\text{Capacidad de la trampa (lbv/hr)} = \text{FS} * \text{Ms} * \text{Acarreo anticipado} \quad (3-11)$$

FS = Factor de seguridad (ver tabla X).

Ms = Masa de vapor producido por la caldera, en lbv/hr.

Masa de vapor producido por caldera= 34.5 \* #BHP

Acarreo anticipado= típicamente es un valor del 10 %.

- b) Para final de tubería principal (Fórmula General)

$$\text{Capacidad de la trampa (lbv/hr)} = \text{FS} * \text{Carga de condensado (lbv/hr)} \quad (3-12)$$

FS= factor de seguridad (ver tabla X)

Carga de condensado : se puede determinar por la tabla XV y la longitud total de la tubería en pies.

Para tuberías cuyo diámetro no se encuentra en la tabla XV, se puede determinar la carga de condensado que se provoca por la carga de calentamiento por medio de la ecuación siguiente :

$$C = \frac{W * (T_2 - T_1) * 0.114}{H} \quad (3-13)$$

donde :

C = cantidad de condensado, lb ;

W = peso total de la tubería, en lb, en tabla XVI ;

T<sub>1</sub> = Temperatura inicial de la tubería, en °F ;

T<sub>2</sub> = Temperatura final de la tubería, en °F ;

0.114 = Calor específico de la tubería de acero o forjada BTU/LB °F ;

H = Calor latente del vapor a la temperatura final del vapor, en BTU/lb .

### 3.4 Aislamiento de tuberías de conducción

El aislamiento tiene como función principal la conservación de energía mediante la utilización de materiales aislantes. Este material se utiliza para proveer resistencia al flujo de calor hacia el exterior, dando como resultado un ahorro de combustible; mantiene la temperatura en el sistema, disminuye la formación del condensado y sirve como protección de las altas temperaturas al personal de operación y mantenimiento.

Los materiales aislantes más comunes utilizados en sistemas de vapor son :

- Fibra de vidrio
- Carbonato de magnesio
- Silicato de calcio
- Hojas de asbesto corrugadas

- **Fibra de vidrio** : es de alta eficiencia y de peso liviano. Se encuentra disponible comercialmente en longitudes de 3 pies (91 cm) y de espesor de 1 Plg. (2.54 cm). Es un aislante que representa un bajo costo de instalación por su facilidad para cortarlo o transportarlo. No es muy resistente a daños mecánicos debido a su elasticidad, por lo que es necesario protegerlo con un recubrimiento. Su eficiencia se aproxima al 80%.
- **Carbonato de calcio** : se compone básicamente de carbonato de magnesio y fibras de asbestos en una relación de 85% y 15% respectivamente. Tiene un límite de temperatura de 316°C (600°F). Posee buena fuerza compresiva pero es al mismo tiempo quebradizo, por lo que no se debe usar donde existe vibración en la tubería o en el equipo. Cuando se humedece es alcalino y corrosivo, así mismo, pierde su fuerza y se rompe.
- **Silicato de calcio** : es similar al carbonato de magnesio, en cuanto a la conductividad, peso y costo. Es un compuesto químico de sílice y cal. Su protección contra el clima es esencial ya que puede retener un 350% de su propio peso en agua sin gotear o demostrar humedad.
- **Hojas de asbesto corrugadas** : es un material constructivo en varias capas formando celdas de aire. Su costo es relativamente bajo. Se instala rápidamente para líneas de vapor internas a baja presión hasta 4.7 kg/cm<sup>2</sup> (67 psi). Tiene uso limitado donde se dan serios abusos externos y donde las contracciones no son importantes.

En la tabla XVII se dan las propiedades de algunos aislantes utilizados para recubrimiento de los elementos de composición del sistema de distribución de vapor.

### 3.5 Instrumentos de medición

Los instrumentos son utilizados para medir los valores de variables en un proceso cualquiera. Son utilizados con el fin primordial de alcanzar y mantener la calidad del proceso. Los instrumentos utilizados para mantener estable la distribución y suministro de vapor para el proceso de curado del bloque, son aquellos que miden las variables de presión y temperatura del vapor ó del cuarto de curado.

Los medidores de presión son llamados manómetros. Existe una diversidad de manómetros en el mercado, los cuales se diferencian por el principio mecánico utilizado para medir la variable y por la capacidad de medida del mismo. El manómetro más utilizado es el manómetro de Bourdon, el cual puede utilizarse para medir presiones o vacíos en un ambiente ó medio determinado. Las unidades de medida utilizadas para representar la presión varían dependiendo el sistema de unidades utilizado, ejemplo : g/cm<sup>2</sup> y lb/plg<sup>2</sup> (psi). Los materiales utilizados para su fabricación son : latón, aleación de acero, aceros inoxidable, bronce, K-monel y cobre de berilio.

Los medidores de temperatura son llamados termómetros. Su utilización en el proceso de curado del bloque es de principal importancia, ya que la temperatura es la variable principal a controlar para mantener la calidad del mismo. En la actualidad, existe una diversidad de termómetros, el tipo utilizado depende del medio de trabajo al que sea expuesto y de los rangos de temperatura existentes en el proceso. Los materiales que se usan industrialmente son fluidos como aceites y otros líquidos que no se congelan, metales líquidos como el mercurio, gases y vapores .

También se construyen de metales sólidos que tienen un coeficiente de expansión o contracción adecuado, los cuales son llamados termómetro bimetalicos. Utilizan una serie de escalas para registrar el valor de la variable (temperatura), siendo las que más se utilizan la escala Celsius y Fahrenheit. El principio de operación que utilizan los termómetros de líquidos ó mercurio, es el de la expansión volumétrica. En él, conforme aumenta la temperatura, el líquido absorbe el calor que es absorbido por

el bulbo y se expande o dilata. Esta expansión hace que el líquido se eleve en el tubo capilar en proporción a la temperatura aplicada.

### 3.6 Cálculos de la red de vapor

#### 3.6.1 Sistema de distribución del vapor

##### a) Tubería principal

Datos :

$$M_s : 4,863.1 \text{ lbv/hr}$$

$$P_1 : 125 \text{ psi.}$$

$$\text{Vel} = 8,000 \text{ pies/min.}$$

Rango mínimo utilizado para obtener el diámetro mayor posible sin afectar las condiciones normales del flujo de vapor (de tabla VI).

$$V_s = 3.5915 \text{ pie}^3/\text{lb} \text{ (de tabla V)}$$

de ecuación 3-3 :  $\dot{m} = M_s * V_s$ ; el flujo de vapor es :

$$\dot{m} = 297.081 \text{ pie}^3/\text{min.}$$

de ecuación 3-2 :  $d_i = (12 * (\dot{m} / (\text{Vel} * 0.785)))^{(1/2)}$ ; el diámetro interno de la tubería es :

$$d_i = 2.61 \text{ plg.}$$

Las pérdidas de presión existentes en la tubería y accesorios es mínima debido a la longitud recta y accesorios mínimos que la componen. No afecta el proceso y por lo tanto no se calculará.

Por lo tanto : el diámetro de la tubería principal a utilizar será de : **3 plg.**

El valor anterior se puede corroborar con la tabla VIII.

##### b) Ramal de tubería

Datos :

$$M_s : 2,481.55 \text{ lbv/hr}$$

$P_1 = 125$  psi.

Vel = 15,000 pies/min.

Rango máximo utilizado para obtener el diámetro de tubería menor posible, ya que interesa el suministro de vapor a los cuartos de curado en altas velocidades para que se distribuya completamente dentro del cuarto y con bajas presiones para mantener las especificaciones utilizadas para el proceso de curado (ver tabla VI).

$V_s = 3.5915$  pie<sup>3</sup>/lb (de tabla V)

de ecuación 3-3 :  $\dot{m} = M_s * V_s$ ; el flujo de vapor es :

$$\dot{m} = 148.5414 \text{ pie}^3/\text{min.}$$

de ecuación 3-2 :  $d_i = (12 * (\dot{m} / (\text{Vel} * 0.785)))^{(1/2)}$ ; el diámetro interno de la tubería es :

$$d_i = 1.34 \text{ plg.}$$

El análisis de la pérdida de presión en tubería no se realiza, ya que la cantidad de accesorios y longitud de tubería es mínima.

Por lo tanto , el diámetro de la tubería del ramal a utilizar será de : 1 1/2 plg.

El valor del diámetro de la tubería del ramal no se puede corroborar con la tabla VIII, debido a que por condiciones específicas del proceso de curado del bloque se sobrepasa el rango de velocidades establecido en la tabla.

### c) Cabezal de caldera

Se realizará con base en la ecuación 3-7:  $d_c = (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2)^{(1/2)}$ .

Datos :

$d_1 = 3$  plg. (diámetro de salida de tubería principal del vapor)

$d_2 = 3$  plg. (diámetro de salida de tubería adicional para futuras ampliaciones)

$$d_c = 4.24 \text{ plg.}$$

El cabezal se realizara con una tubería de diámetro 5 plg, ya que no existe tubería de 4 ½ plg en el mercado.

### 3.6.2 Aislamiento

El aislamiento a utilizar será : cañuela de fibra de vidrio.

Dimensiones :

Espesor ; 1 plg

Longitud : 3 pies.

Razón : se puede transportar e instalar fácilmente, es de conductividad térmica baja y sus costos de adquisición y mantenimiento son mínimos.

### 3.6.3 Caldera

Para determinar la caldera a utilizar se debe de conocer el flujo total de vapor a necesitar en las instalaciones, incluyendo la que se pierde por la transferencia de calor en la tubería ; por lo que se calculará a continuación :

#### a) Tubería principal

Datos :

$$L = 15.25 \text{ m} = 50 \text{ pies}$$

$$n = 1.5 \text{ plg.} = 0.125 \text{ pies}$$

$$r_e = 2.5 \text{ plg} = 0.2083 \text{ pies (incluye el espesor del aislamiento)}$$

$$K_{kt} = 0.31 \text{ (BTU plg)/(hr pie}^2 \text{ °F) (de tabla XVII)}$$

$$= 0.026 \text{ (BTU pie)/(hr pie}^2 \text{ °F)}$$

$$T_1 = 344.29 \text{ °F (de tabla V y presión del vapor de 125 psi.)}$$

$$T_2 = 50 \text{ °F (temperatura exterior supuesta para cálculo)}$$

$$f = 1.65 \text{ (de tabla III)}$$



Utilizando la ecuación 2-10

$$Q_L = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_2 - T_1)}{1/f \cdot r_e + \ln(r_e / r_i) / K_k} \quad \text{BTU / hr}$$

$$Q_L = 4,756.61 \text{ BTU/hr.}$$

**b) Ramal de tubería exterior del cuarto**

Datos :

$$L = 8.8 \text{ m} = 28.86 \text{ pies}$$

$$r_i = 0.75 \text{ plg.} = 0.0625 \text{ pies}$$

$$r_e = 1.75 \text{ plg} = 0.1458 \text{ pies (incluye el espesor del aislamiento)}$$

$$K_{kt} = 0.31 \text{ (BTU plg)/(hr pie}^2 \text{ °F) (de tabla XVII)}$$

$$= 0.026 \text{ (BTU pie)/(hr pie}^2 \text{ °F)}$$

$$T_1 = 344.29 \text{ °F (de tabla V y presión del vapor de 125 psi.)}$$

$$T_2 = 50 \text{ °F (temperatura exterior supuesta para cálculo)}$$

$$f = 1.65 \text{ (de tabla III)}$$

$$Q_L = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_2 - T_1)}{1/f \cdot r_e + \ln(r_e / r_i) / K_k} \quad \text{BTU / hr}$$

$$Q_L = 1161.31 \text{ BTU/hr}$$

Existen cuatro ramales en la red, por lo que la transferencia de calor total es :

$$Q_L = 6645.24 \text{ BTU/hr.}$$

Como la transferencia de calor por tuberías es mínima, se puede omitir al momento del dimensionamiento de la caldera.

Datos para seleccionar la caldera :

$M_s = 4,963.1 \text{ lbw/hr}$  (dato obtenido del análisis de consumo de vapor y transferencia de calor en capítulo No. 2)

Utilizando la ecuación 3-1.

$$\text{BHP} = \frac{4,963.1 \text{ lbv/hr}}{34.5 \text{ lbv/hr}} = 143.8 \text{ BHP}$$

La caldera que se utilizará para el curado de las 13,000 unidades de bloques será de : **150BHP**, ya que calderas de 143.8 BHP no existen en el mercado.

### **3.6.4 Trampas de vapor**

#### **3.6.4.1 Cabezal de caldera**

La capacidad se obtendrá por medio de la ecuación 3-11.

Por las condiciones a las que estará sometida la trampa (tabla XIV) y por las características de cada tipo, se elige la trampa de vapor de Cubeta invertida

Datos :

Presión de entrada : 125 psi y Presión de salida= 0 psi

FS = 3, acarreo= 0.1 y flujo de vapor=  $34.5 \times 150 = 5,175$  bv/hr (ec. 3-1)

Capacidad de trampa : 1,552.5 bv/hr

Con el tipo de trampa a utilizar, su capacidad y presión de entrada, se puede determinar el tamaño del orificio de la trampa. Ver tabla XI B.

El diámetro del orificio es :  $\frac{3}{4}$ " y de modelo B2-250.

#### **3.6.4.2 Tubería principal**

La capacidad se obtendrá por medio de la ecuación 3-12.

Por las condiciones a las que estará sometida la trampa (tabla XIV) y por las características de cada tipo, se elige la trampa de vapor de Cubeta invertida.

Datos :

Presión de entrada : 125 psi, y Presión de salida= 0 psi.

FS = 3 ;

C= 21 lbv/ (hr \* 100 pies), (de tabla XV)

L = 50 pies.

$$\text{Capacidad de trampa} = 3 * \frac{21}{100} * 50 = 31.5 \text{ bv/hr}$$

Con el tipo de trampa a utilizar, su capacidad y presión de entrada, se puede determinar el tamaño del orificio de la trampa. Ver tabla XI.

La medida será de 1/2" y el modelo será B1H-250

Otro tipo de trampa posible a utilizar en el drenado de condensado al final de la tubería puede ser la termostática, cuya dimensión sería : 1/2" y modelo TD52L (ver tabla XII).

### 3.6.5 Válvula reguladora de temperatura para cuartos de curado

Datos:

P<sub>1</sub> = 125 psi.

P<sub>2</sub> = 12 psi.

M<sub>s</sub> = 2,481.55 lbv/hr

Modelos posibles a utilizar según especificaciones de los fabricantes son : serie 150 y 151, serie 152 y serie 175.

En tabla IX se puede conocer el diámetro del regulador de temperatura que tiene la capacidad de manejar el flujo de vapor establecido . Los diámetros dependiendo el tipo de regulador son :

Serie 150 y 151 : 1 plg.

Serie 152 : no tiene capacidad

Serie 175 : 1 1/4 de plg.

Los reguladores de temperatura de las clases anteriormente descritas, utilizan un termostato que detecta las variaciones de temperatura, el cual es ubicado en los puntos más críticos del cuarto de curado considerados para alcanzar los cambios de temperatura y temperatura de estabilización. Este termostato, detecta la temperatura existente en el ambiente y regula el paso del flujo del vapor en la válvula.

### 3.6.6 Instrumentos

Los instrumentos utilizados para medir la presión serán manómetros de Bourdon con rango de capacidad de 0 a 200 psi.

Los instrumentos utilizados para medir la temperatura, serán termómetros que conforman directamente el cuerpo del regulador de temperatura.

En la figura 14 se presenta de manera resumida el equipo y accesorios a utilizar en el montaje de la red de vapor.

Figura 14 Descripción general de equipo y accesorios a utilizar en el montaje de la red de vapor

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Generador de vapor	Caldera Piro tubular de 150 BHP
Ramal de tubería	Tubería de hierro negro, cédula 40 sin costura de diámetro 5 pulgadas
Ramal de tubería	Tubería de hierro negro, cédula 40 sin costura de diámetro 3 pulgadas
Ramal de tubería	Tubería de hierro negro, cédula 40 sin costura de diámetro 1 ½ plg.
Regulador de temperatura	Regulador de temperatura serie 175, de diámetro 1 ¼ plg.
Extracción de condensado en cabezal de caldera	Trampa de vapor de cubeta invertida de hierro fundido de diámetro de ¾ plg.
Extracción de condensado en final de tubería principal	Trampa de vapor de cubeta invertida de hierro fundido de diámetro de ½ plg.

### **3.7 Costos**

La consideración más importante al momento de tomar la decisión de utilizar el sistema de curado del bloque por medio de vapor , es el costo de adquisición del equipo, tubería y accesorios a utilizar en la instalación. Los costos pueden variar significativamente, ya que dependen de una variedad de factores entre los que se encuentran : tipo de diseño de las instalaciones, tipo de material utilizado en la fabricación de los elementos mecánicos seleccionados , marca del equipo, condición del equipo (nuevo o usado), inflación monetaria, etc. ; los cuales se deben de analizar detalladamente ya que afectan el costo final del producto fabricado. Un costo promedio de los elementos a utilizar en las instalaciones de vapor se detallan en la figura 15 ; los cuales fueron obtenidos de un representante de ventas. Se debe de realizar obligatoriamente un análisis minucioso de la recuperación del capital invertido, en base a los resultados que el propietario de la fábrica espera obtener con la implementación del sistema de vapor, para asegurar la inversión.

Otro tipo de costo de la instalación de vapor, que es necesario considerar ya que también afecta el valor final del bloque fabricado, es el costo de operación y mantenimiento del equipo ; éste costo se mantendrá por todo el tiempo que se realice el curado del bloque con vapor, el cual se debe de incluir directamente como costo de fabricación del bloque producido en la fábrica. Depende directamente del tiempo de operación y del tipo de mantenimiento que se realice a las instalaciones.

Figura 15 Descripción detallada de los elementos a utilizar en las instalaciones de la red de vapor

CANT	DESCRIPCIÓN	COSTO/ U	COSTO/T
1	Caldera Piro tubular de 150 HP	Q. 315,000	Q. 315,000
1	Tubo de H.N., cédula 40 sin costura 5" X 20'	Q. 1,670	Q. 1,670
4	Tubo de H.N., cédula 40 sin costura 3" X 20'	Q. 865	Q. 3,460
9	Tubo de H.N., cédula 40 sin costura 1 1/2" X 20'	Q. 355	Q. 3,195
1	Tubo de H.N., cédula 40 sin costura 1 1/4" X 20'	Q. 295	Q. 295
1	Tubo de H.N., cédula 40 sin costura 3/4" X 20'	Q. 200	Q. 200
1	Tubo de H.N., cédula 40 sin costura 1/2" X 20'	Q. 165	Q. 165
3	Válvulas de compuerta en hierro negro de 3" para presión de 150 psi.	Q. 1,489	Q. 4,467
8	Válvulas de compuerta en hierro negro de 1 1/2" para presión de 150 psi.	Q. 633	Q. 5,064
1	Válvulas de compuerta en hierro negro de 3/4" para presión de 150 psi.	Q. 416	Q. 416
2	Válvulas de compuerta en hierro negro de 1/2" para presión de 150 psi.	Q. 384	Q. 768
4	Válvulas de globo en hierro negro de 1 1/2" para presión de 150 psi.	Q. 1,581	Q. 6,324
1	Válvulas de globo en hierro negro de 1/2" para presión de 150 psi.	Q. 623	Q. 623
4	Válvula reguladora de temperatura de 1 1/4" Serie 175T	Q. 8,000	Q. 32,000
1	Trampa de vapor de balde invertido de hierro fundido, diámetro 3/4" para 250 psi.	Q. 745	Q. 745
1	Trampa de vapor de balde invertido de hierro fundido, diámetro 1/2" para 250 psi.	Q. 740	Q. 740
20	Bridas de 3"	Q. 91	Q. 1,820
4	Bridas de 1 1/2"	Q. 53	Q. 212
2	Tapones hembra de hierro negro de 5"	Q. 203	Q. 406
3	Tapones hembra de hierro negro de 3"	Q. 43	Q. 129
4	Codos de 90° de hierro negro para presión de 150 psi de diámetro 3", bridados.	Q. 74	Q. 296
36	Codos de 90° de hierro negro para presión de 150 psi de diámetro 1 1/2", roscada.	Q. 14	Q. 504
1	Codos de 90° de hierro negro para presión de 150 psi de diámetro 3/4", roscado.	Q. 4	Q. 4

3	Codos de 90° de hierro negro para presión de 150 psi de diámetro 1/2", roscado.	Q.	5	Q.	15
5	Tees normales de hierro negro para presión de 150 psi y diámetro 3", bridadas.	Q.	157	Q.	785
4	Reductor de hierro negro para presión de 150 psi de 3" A 1 1/2" .	Q.	125	Q.	500
12	Tees normal de hierro negro para presión de 150 psi y diámetro 1 1/2", roscado.	Q.	108	Q.	1,296
2	Tees normal de hierro negro para presión de 150 psi y diámetro 1/2", roscado.	Q.	4	Q.	8
8	Reductor de hierro negro para presión de 150 psi de 1 1/2" a 1 1/4", roscado.	Q.	54	Q.	432
4	Filtro de malla No. 100 de diámetro 1 1/2"	Q.	150	Q.	600
27	Cañuela de fibra de vidrio de espesor 1" y longitud 3' para recubrimiento de tubería de 3"	Q.	71	Q.	1,917
53	Cañuela de fibra de vidrio de espesor 1" y longitud 3' para recubrimiento de tubería de 1 1/2"	Q.	52	Q.	2,756
1	Rollo de lámina para recubrimiento de cañuela.	Q.	1,550	Q.	1,550
4	Manómetros con rango de 0 a 200 psi.	Q.	79	Q.	316
				Q.	388,678

Por lo tanto, el costo total de adquisición de los elementos a utilizar en la red de distribución de vapor es : **388,678** quetzales.

Tabla VII Factor de longitud equivalente de accesorios (adimensional)

Diámetro del tubo, plg	Válvula de compuerta	Válvula de globo	Válvula de ángulo	Codo de 90°	Codo de 45°	Regreso en U	Tee	
							Paso recto	Con bifurcación
1/2	0.4	10	5	0.9	0.6	2.2	0.7	2.2
3/4	0.5	15	7	1.3	0.9	3.4	1.1	3.4
1	0.7	20	10	1.8	1.2	4.4	1.5	4.4
1 1/4	0.9	25	12	2.2	1.5	5.5	1.8	5.5
1 1/2	1.1	30	15	2.7	1.8	6.7	2.2	6.7
2	1.5	40	20	3.6	2.5	9	3	9
2 1/2	1.8	50	25	4.4	3	11	3.7	11
2	2.2	60	30	5.3	3.7	13.5	4.4	13.5
3 1/2	2.5	70	35	6.2	4.3	15.5	5.1	15.5
4	3	80	40	7	5	18	6	18
5	3.6	100	50	9	6.2	22.5	7.4	22.5
6	4.4	120	60	10.5	7.5	27	9	27
8	6	160	80	14	10	36	12	36
10	7.5	200	100	18	12.5	45	15	45
12	9	240	120	21.5	15	58	18	56

Fuente : Propuesta de mejoramiento de la administración energética en el sistema de vapor de una planta de confitería. Tesis. Lieb Najera, Augusto Enrique.



TABLA VIII

Capacidad de tuberías para transportar vapor (lb/hr)  
(Para flujo de vapor comprendido entre 7,000 a 10,000 fpm)

PRESION psi	TEMP. °F (sat.)	Diámetro de tubería (pg.)																
		1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12
		7062	7094	7125	7187	7250	7312	7375	7500	7625	7750	7875	8000	8250	8500	9000	9500	10000
250	406	176	324	518	916	1498	2615	3591	6018	8731	13700	18620	24360	39470	58730	107700	179200	267700
200	388	143	264	423	748	1223	2135	2932	4913	7128	11190	15200	19880	32230	47950	87910	146300	218500
175	378	127	235	375	664	1086	1895	2603	4361	6328	9931	13490	17650	28610	42560	78040	129800	194000
150	366	111	205	328	580	948	1655	2273	3810	5528	8675	11790	15420	24990	37180	68170	113400	169500
125	353	95	175	280	496	811	1415	1943	3256	4724	7414	10070	13180	21360	31780	58260	96940	144800
100	338	79	145	232	411	672	1173	1612	2701	3919	6150	8356	10930	17720	26360	48330	80410	120100
90	331	72	133	213	377	617	1076	1478	2477	3594	5641	7665	10030	16250	24180	44330	73760	110200
80	324	66	121	194	343	561	979	1345	2254	3270	5132	6973	9122	14780	22000	40330	67100	100300
70	316	59	109	175	309	505	881	1211	2029	2943	4619	6277	8211	13310	19800	36330	60400	90240
60	308	53	97	155	274	449	783	1076	1803	2616	4105	5577	7296	11820	17590	32260	53670	80190
50	298	46	85	136	240	392	648	940	1575	2286	3587	4874	6376	10330	15380	28190	46900	70080
40	287	39	72	116	205	335	585	803	1346	1953	3066	4166	5449	8831	13140	24090	40080	59890
30	274	33	60	96	170	278	485	666	1115	1618	2593	3451	4514	7315	10880	19960	33200	49610
25	267	29	54	86	152	249	434	596	999	1449	2274	3090	4042	6551	9747	17870	29730	44430
20	259	26	47	76	134	219	383	526	881	1279	2006	2726	3566	5780	8600	15770	26230	39200
15	250	22	41	66	116	190	331	455	763	1107	1737	2360	3087	5003	7444	13650	22710	33930
10	240	19	35	55	98	160	279	384	643	933	1464	1990	2603	4218	6276	11510	19150	28610
5	228	15	28	45	79	130	227	311	522	757	1188	1615	2112	3423	5093	9339	15540	23220
0	212	11	21	34	60	97	170	233	391	568	891	1210	1583	2566	3818	7000	11650	17400

FUENTE: Manual de Watson McDaniel

Tabla IX

Capacidad de flujo de vapor de válvulas reguladoras de temperatura

Series 150, 152 y 175

Steam Supply Pressure	Double-Seated Series 150 & 151										Single-Seated Series 152										Single-Seated Series 175																		
	lbs. of Steam per Hour										lbs. of Steam per Hour										lbs. of Steam per Hour																		
	1/4"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	A-1/2"	B-1/2"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"							
1	200	320	464	592	864	1320	1790	3050	4650	7590	24	43	70	84	160	275	400	570	840	1200	1740	2800	3550	400	570	840	1200	1740	2800	3550	400	570	840	1200	1740	2800	3550		
3	228	360	522	666	972	1490	2016	3430	5490	8300	27	48	78	91	180	310	450	640	950	1360	1900	3150	3990	450	640	950	1360	1900	3150	3990	450	640	950	1360	1900	3150	3990		
5	254	400	580	748	1090	1650	2240	3800	5820	9200	30	54	88	102	200	345	500	710	1050	1500	2180	3500	4460	500	710	1050	1500	2180	3500	4460	500	710	1050	1500	2180	3500	4460		
10	317	500	725	925	1350	2070	2800	4770	7270	11500	37	67	110	127	250	430	630	900	1320	1900	2700	4370	5570	630	900	1320	1900	2700	4370	5570	630	900	1320	1900	2700	4370	5570		
15	380	600	870	1110	1620	2400	3260	5790	8790	13800	45	81	132	153	300	515	760	1070	1550	2200	3170	5070	6400	760	1070	1550	2200	3170	5070	6400	760	1070	1550	2200	3170	5070	6400		
20	440	700	1015	1295	1890	2800	3780	6680	10100	16100	52	84	154	178	350	600	850	1200	1700	2400	3400	5300	6700	850	1200	1700	2400	3400	5300	6700	850	1200	1700	2400	3400	5300	6700		
25	500	800	1160	1480	2160	3200	4400	7640	10600	18000	60	108	176	204	400	692	1010	1380	1950	2750	3900	5850	7400	1010	1380	1950	2750	3900	5850	7400	1010	1380	1950	2750	3900	5850	7400		
30	570	900	1305	1665	2400	3500	4800	8600	12100	20000	67	121	198	228	450	775	1120	1520	2150	3050	4350	6400	8100	1120	1520	2150	3050	4350	6400	8100	1120	1520	2150	3050	4350	6400	8100		
40	700	1100	1595	2050	2970	4500	6100	10500	15000	25000	82	150	242	280	550	950	1350	1850	2600	3650	5100	7100	9500	1350	1850	2600	3650	5100	7100	9500	1350	1850	2600	3650	5100	7100	9500		
50	820	1300	1885	2400	3510	5290	7200	12400	17900	30000	97	177	286	331	650	1120	1600	2150	2950	4050	5600	7700	10200	1600	2150	2950	4050	5600	7700	10200	1600	2150	2950	4050	5600	7700	10200		
60	950	1500	2175	2770	4090	6220	8400	14300	20800	34000	112	204	330	382	750	1320	1900	2550	3450	4700	6400	8700	11500	1900	2550	3450	4700	6400	8700	11500	1900	2550	3450	4700	6400	8700	11500		
70	1080	1700	2465	3140	4590	7050	9520	16200	23200	39200	127	230	374	433	850	1470	2100	2800	3750	5000	6800	9200	12000	2100	2800	3750	5000	6800	9200	12000	2100	2800	3750	5000	6800	9200	12000		
80	1200	1900	2755	3510	5190	7800	10640	18100	26400	43000	142	258	418	484	950	1640	2300	3050	4000	5200	7000	9300	12200	2300	3050	4000	5200	7000	9300	12200	2300	3050	4000	5200	7000	9300	12200		
90	1350	2100	3045	3890	5670	8300	11250	20000	29000	48500	157	285	462	535	1050	1810	2500	3250	4200	5400	7200	9500	12500	2500	3250	4200	5400	7200	9500	12500	2500	3250	4200	5400	7200	9500	12500		
100	1460	2300	3375	4250	6210	9140	12300	21900	32000	52000	172	312	506	586	1150	1980	2700	3500	4500	5800	7600	10000	13000	3500	4500	5800	7600	10000	13000	3500	4500	5800	7600	10000	13000	3500	4500	5800	7600
125	1780	2800	4060	5180	7560	11000	15000	26700	40700	64000	210	378	616	714	1400	2400	3250	4200	5300	6800	8900	11500	15000	4200	5300	6800	8900	11500	15000	20000	26000	34000	44000	57000	74000	95000	120000		
150	2100	3300	4795	6100	8900	13100	18000	31700	47000	74000	245	445	714	814	1650	2850	3800	4900	6100	7800	10100	13000	17000	4900	6100	7800	10100	13000	17000	22000	28000	36000	46000	59000	76000	98000	125000		
175	2400	3800	5510	7000	10100	14500	20000	35700	52000	80000	265	513	786	906	1900	3200	4200	5300	6500	8200	10500	13800	18000	5300	6500	8200	10500	13800	18000	23000	29000	37000	47000	60000	77000	99000	126000		
200	2750	4300	6375	7950	11500	16500	22500	40000	58000	87000	322	580	874	1004	2150	3700	4800	5900	7200	9000	11400	14800	19500	6000	7200	9000	11400	14800	19500	25000	32000	41000	52000	66000	84000	107000	136000		
250	3360	5200	7545	9500	13700	19500	26500	47000	68000	102000	395	735	1104	1264	2650	4500	5800	7000	8500	10500	13200	17000	22000	7000	8500	10500	13200	17000	22000	28000	36000	46000	58000	74000	95000	122000	155000		

Fuente: Catálogo de reguladores de presión, temperatura, trampas de vapor y rievales. Watson McDaniel Company

**Tabla X Factores de seguridad de trampas de vapor según aplicación**

FACTORES DE SEGURIDAD RECOMENDADOS PARA TRAMPAS DE VAPOR		
<p>El factor de seguridad real a utilizar en cualquier aplicación dependerá de la exactitud de :</p>		
<p>1. Carga estimada. 2. Presión estimada en la trampa. 3. Contrapresión estimada.</p>		
Tipo de Trampa	Factor de Seguridad	
Termostática de presión balanceada	2 -4	
Termostática termomática.	1,5 -2,5	
Termostática de expansión líquidos	2 -4	
Bimetálica	2 -3	
Flotador termostático	1,5 -2,5	
Cubeta invertida	2 -3	
Termodinámica	1,2 -2	
<p>FACTOR DE SEGURIDAD SEGÚN APLICACIÓN</p>		
	General	Con control de temperatura
Drenaje de líneas de tubería	2	
Tanques con equipo calefactor	2	
Intercambiadores de calor	2	
Baterías para calentamiento de aire	2	3
Serpentines para calentamiento de aire	2	4
Serpentines sumergidos (drenaje a nivel del serpentín)	2	
Serpentines sumergidos (Drenaje por sifón)	3	
Cilindros rotativos	3	
Línea de acompañamiento o trazas de vapor	2	
Prensa	2	
<p>En general, usar factor 2, excepto para serpentines de calentamiento de aire controlado termostáticamente, en convertidores y en aplicaciones de sifón.</p>		

Fuente : Manual : Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados. Armstrong International Inc.

Tabla XI Capacidades típicas para trampas de vapor de cubeta invertida lbv/hr

Serie A (presiones 1 - 75 psi)

MEDIDA	MEDIDA	MEDIDA	Presiones de entrada (psi)														
			1	2	3	5	10	15	20	30	40	60	75				
1/2, 3/4	B1H-15	1/4	665	715	755	835	960	1040									
3/4	B2-15	3/8	1700	1920	2110	2370	2910	3220									
1	B3-15	1/2	2140	2330	2600	2920	3590	3900									
1 1/4	B4-15	5/8	3940	4090	4350	4980	6000	8580									
2	B5-15	1 1/16	11600	12100	13200	14700	17800	20000									
1/2, 3/4	B1H-30	3/16				615	715	810	895	1000							
3/4	B2-30	5/16				1920	2260	2580	2870	3220							
1	B3-30	3/8				2340	2840	3230	3630	4120							
1 1/4	B4-30	1/2				4150	4930	5680	6200	7140							
2	B5-30	3/4				10000	121000	14000	15600	18500							
1/2, 3/4	B1H-75	5/32					500	570	610	705	770	905	965				
3/4	B2-75	1/4					1250	1440	1600	1850	2000	2350	2550				
1	B3-75	9/32					1970	2300	2500	2860	3120	3640	3960				
1 1/4	B4-75	3/8					3840	4400	4720	5470	6080	7150	7570				
2	B5-75	9/16					9060	11300	12400	13900	15200	17900	19200				

Serie B (presiones 20 - 250 psi)

MEDIDA	MODELO	ORIFICIO	Presión de entrada (psi)														
			20	40	60	80	100	125	150	180	200	225	250				
1/2, 3/4	B1H-125	1/8	446	600	695	765	830	920									
3/4	B2-125	13/64	1100	1440	1700	1900	2080	2240									
1	B3-125	1/4	2060	2600	3020	3600	3640	4100									
1 1/4	B4-125	11/32	4450	5530	6350	7110	7750	8540									
2	B5-125	1/2	10800	13500	15600	17100	18900	20000									
1/2, 3/4	B1H-180	3/32			585	642	703	765	816	867							
3/4	B2-180	5/32			1500	1700	1800	1940	2100	2200							
1	B3-180	7/32			2580	2830	3070	3380	3580	3780							
1 1/4	B4-180	9/32			4250	4730	5060	5680	5980	6300							
2	B5-180	7/16			13650	15100	16800	18400	19100	20500							
1/2, 3/4	B1H-250	4/57						562	600	630	665	695	720				
3/4	B2-250	9/64						1825	1940	2060	2120	2240	2300				
1	B3-250	3/16						2760	2910	3120	3380	3460	3630				
1 1/4	B4-250	1/4						4730	4980	5130	5500	5780	6040				
2	B5-250	3/8						15000	16100	16800	17800	18900	19400				

(continuación tabla XI)

Serie C (presiones de 10 - 250 psi)

MODELO		Presión de entrada (psi)										
MEDIDA	ROSCADO BRIDADO	10	20	40	60	80	100	120	150	180	200	250
1/2	211/10	290	480	710	900							
3/4	212/12	700	1100	1800	2000							
1	213/20	2000	2900	3700	4100							
1 1/2	215/28	4000	6000	8000	9500							
2	216/40	8000	12000	15600	18750							
1/2	211/8	195	330	500	660	770	850	990				
3/4	212/10	510	840	1100	1400	1600	1760	1930				
1	213/16	1250	1900	2300	2850	3000	3250	3500				
1 1/2	215/22	2900	4200	6000	7500	8500	9600	10100				
2	216/32	5500	8300	11400	13600	15400	16500	17600				
1/2	211/6	140	290	380	450	510	510	600	680	720	790	880
3/4	212/7	195	330	500	660	770	850	990	1050	1090	1150	1320
1	213/12	700	1100	1800	2000	2250	2500	2700	2900	2950	3050	3400
1 1/2	215/18	2200	3200	4500	5400	6000	6900	7200	8200	8550	9100	10000
2	216/24	4000	6000	8500	10100	11200	12800	13540	14300	14850	15650	17600

Tabla XII Capacidades típicas de trampas termostáticas (lbv/hr)

Presión de entrada (psi)	MODELO			
	3/8" TD 52 1/2" TD52L	1/2 TD52 3/4 TD52L	3/4 TD52	1" TD52
3.5	180	300	405	640
20	200	410	560	865
40	225	520	725	1090
60	275	640	905	1335
100	370	810	1160	1750
150	500	1000	1450	2200
200	610	1140	1670	2600
250	700	1270	1900	2900
300	790	1410	2100	3250
400	960	1630	2430	3780
500	1100	1830	2750	4250
600	1250	2000	3050	4700

Fuente: Recuperación de condensado en superficies de tanques transportadores de grasa, caso fábrica La Luz, S.A. Tesis. Tobar Esteban, Mario Antonio.

Tabla XIII Capacidades típicas de trampas de flotador y termostáticas (lbv/hr)

Modelo	FT-1	FT-2	FT-3	FT-4
Diámetro del orificio	1/8	13/16	5/16	1/2
Diámetro conexión	3/4 ó 1	1 1/2	2	2 1/2
Presión (psi)	Capacidad (Lb/hr)			
2	300	500	1400	5400
5	400	800	2000	7200
10	525	1100	2700	9000
20	700	1375	3500	12500
30	775	1575	4200	14000
40	850	1740	4550	15000
50	950	1975	5200	16500
60	1000	2000	5600	17000
75	1080	2200	6200	19800
100	1190	2475	7100	23000
125	1275	2725	8000	25500
150		2950		27000
175		3200		28500
200				30000
250				33000
300				35000
400				38500
500				40000

Fuente: Tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor. Tesis. Alvarado Molina, Gustavo Adolfo

**Tabla XIV Forma de operación de las trampas de vapor en condiciones especiales**

	Características	Cubeta invertida	Flotador y termodinámica	Termodinámica de Disco
1	Método de operación	Intermitente	Continuo	Intermitente
2	Conservación de energía	Excelente	Buena	Pobre
3	Resistencia al desgaste	Excelente	Buena	Pobre
4	Resistencia a la corrosión	Buena	Buena	Excelente
5	Resistencia al golpe de ariete	Excelente	Pobre	Excelente
6	Venteo de aire y CO <sub>2</sub> a la temperatura del vapor	Sí	No	No
7	Facilidad de comprobar buena operación	Excelente	Pobre	Excelente
8	Habilidad de manejar cargas de aire al arrancar el sistema	Aceptable	Excelente	Pobre
9	Operación con contrapresión	Excelente	Excelente	Pobre
10	Operación a baja carga	Excelente	Excelente	Aceptable
11	Respuesta a golpes de condensado	Inmediata	Inmediata	Demorada
12	Habilidad para pasar suciedad	Excelente	Pobre	Pobre
13	Tamaño físico comparativo	Grande	Grande	Pequeña
14	Falla normal de la trampa	Abierta	Cerrada	Abierta

Fuente : Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados. Armstrong International Inc.



Tabla XV Carga de condensado en lbv / hr por 100 pies de tubería principal aislada\*. Temperatura ambiente aprox. 70°f y 80% de eficiencia del aislamiento

Presión del vapor (psig)	Diámetro de tubería (plg)														0°F Factor de corrección +
	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	
10	6	7	9	11	13	16	20	24	29	32	36	39	44	53	1.58
30	8	9	11	14	17	20	26	32	38	42	48	51	57	68	1.5
60	10	12	14	18	24	27	33	41	49	54	62	67	74	89	1.45
100	12	15	18	22	28	33	41	51	61	67	77	83	93	111	1.41
125	13	16	21	24	30	36	45	56	66	73	84	90	101	121	1.39
175	16	19	23	26	33	38	53	66	78	86	98	107	119	142	1.38
250	18	22	27	34	42	50	62	77	92	101	116	126	140	168	1.36
300	20	25	30	37	46	54	68	85	101	111	128	138	154	184	1.35
400	23	28	34	43	53	63	80	99	118	130	148	162	180	216	1.35
500	27	33	39	49	61	73	91	114	135	148	170	185	206	246	1.32
600	30	37	44	55	68	82	103	128	152	167	191	208	232	277	1.31

• tabla de carga de condensado debido a la radiación y convección del vapor saturado.

+ para temperatura exterior de 0°F, multiplicar el valor de la carga de la tabla por el factor de corrección correspondiente.

Fuente : Catálogo de reguladores de presión, temperatura, trampas de vapor, flotes y válvulas de nivel. Watson McDaniel Company.

Tabla XVI. Características físicas de tubería de acero

Tamaño nominal - la	ASTM	DIAMETRO FIG.		Espesor de pared - Fig.	Área de Superficie $\pi d^2/4$		Área transversal $\pi d^2/4$	Área de Metal $\pi d^2/4$	VOLUMEN gal/ple ltn.	PESO lb/ple ltn.	Presión de trabajo - Jo. Psi.	
		Exterior	Interior		Exterior	Interior						
1/8	40(S)	0.405	0.269	0.058	0.106	0.0704	0.129	0.0568	0.0720	0.00295	0.244	314
	80(S)	0.405	0.215	0.095	0.106	0.0563	0.129	0.0363	0.0925	0.00189	0.314	1084
1/4	40(S)	0.540	0.364	0.088	0.141	0.0953	0.229	0.104	0.125	0.00541	0.424	649
	80(S)	0.540	0.302	0.119	0.141	0.0791	0.229	0.0716	0.157	0.00372	0.535	1353
3/8	40(S)	0.675	0.493	0.091	0.177	0.129	0.358	0.191	0.167	0.00992	0.587	574
	80(S)	0.675	0.423	0.126	0.177	0.111	0.358	0.140	0.217	0.00730	0.738	1191
1/2	40(S)	0.840	0.622	0.109	0.220	0.163	0.554	0.304	0.250	0.0158	0.850	697
	80(S)	0.840	0.546	0.147	0.220	0.143	0.554	0.234	0.320	0.0122	1.09	1266
3/4	XX	0.840	0.252	0.294	0.220	0.066	0.554	0.0489	0.504	0.00259	1.71	3824
	40(S)	1.050	0.824	0.113	0.275	0.216	0.866	0.533	0.333	0.0277	1.13	604
	80(S)	1.050	0.742	0.154	0.275	0.194	0.866	0.432	0.434	0.0225	1.47	1078
1	XX	1.050	0.434	0.308	0.275	0.114	0.866	0.148	0.718	0.00768	2.44	3134
	40(S)	1.315	1.049	0.133	0.344	0.275	1.36	0.864	0.494	0.0449	1.56	651
	80(S)	1.315	0.957	0.179	0.344	0.251	1.36	0.719	0.639	0.0374	2.17	1083
1 1/4	XX	1.315	0.599	0.358	0.344	0.157	1.36	0.282	1.08	0.0146	3.66	2963
	40(S)	1.660	1.380	0.140	0.435	0.361	2.16	1.50	0.669	0.0777	2.27	440
	80(S)	1.660	1.278	0.191	0.435	0.335	2.16	1.28	0.881	0.0656	3.00	805
1 1/2	XX	1.660	0.896	0.382	0.435	0.235	2.16	0.630	1.53	0.0328	5.21	2318
	40(S)	1.900	1.610	0.145	0.497	0.421	2.84	2.04	0.800	0.1058	2.72	417
	80(S)	1.900	1.500	0.200	0.497	0.393	2.84	1.77	1.07	0.0513	3.65	756
2	XX	1.900	1.100	0.400	0.497	0.288	2.84	0.950	1.89	0.0491	6.41	2122
	40(S)	2.375	2.067	0.154	0.622	0.541	4.43	3.36	1.07	0.174	3.65	376
	80(S)	2.375	1.939	0.218	0.622	0.508	4.43	2.95	1.48	0.153	5.02	690
2 1/2	XX	2.275	1.503	0.436	0.622	0.393	4.43	1.77	2.56	0.0922	9.03	1861
	40(S)	2.875	2.489	0.203	0.753	0.646	6.49	4.79	1.70	0.0249	8.79	505
	80(S)	2.875	2.323	0.276	0.753	0.608	6.49	4.24	2.25	0.020	7.66	806
3	XX	2.875	1.771	0.552	0.753	0.364	6.49	2.46	4.03	0.128	13.7	2048

(Continuación tabla XVI)

Tamaño Cédula- Noml- nal.	DIAMETRO PIG.		Espesor de pared "t" pig.	Área de Superficie pie <sup>2</sup> /pala lineal		Área de transversal pig <sup>2</sup>	Área de metal pig <sup>2</sup>	VOLUMEN gal/pie lineal	PESO lb/pie lineal	Presión de trabajo Psi.
	Exterior	Interior		Exterior	Interior					
3	40(s) 80(w) xx	3.068 2.900 2.300	0.216 0.300 0.600	0.916 0.916 0.916	0.803 0.659 0.602	7.39 6.81 4.15	2.23 3.02 5.47	0.384 0.343 0.216	7.57 10.3 18.5	454 734 1829
3½	40(s) 80(w) xx	3.548 3.364 2.728	0.226 0.318 0.636	1.05 1.05 1.18	0.929 0.881 0.714	8.89 8.89 3.85	3.68 3.68 6.72	0.514 0.462 0.304	9.11 12.5 22.9	425 632 1699
4	40(s) 80(w) xx	4.026 3.826 3.152	0.237 0.337 0.674	1.18 1.18 1.46	1.05 1.00 0.825	12.7 11.5 7.80	3.17 4.41 8.10	0.661 0.597 0.405	10.8 14.9 27.5	403 663 1602
5	40(s) 80(w) xx	5.047 4.813 4.063	0.258 0.375 0.750	1.46 1.46 1.73	1.32 1.26 1.06	20.0 18.2 13.0	4.30 6.11 11.3	1.04 0.945 0.673	14.6 20.8 38.6	498 835 1951
6	40(s) 80(w) xx	6.065 5.761 4.897	0.280 0.432 0.864	1.73 1.73 2.26	1.59 1.51 1.28	28.9 26.1 18.8	5.58 8.40 15.6	1.50 1.35 0.978	18.0 28.6 53.1	467 825 1912
8	30(s) 40(s) 80(w)	8.071 7.981 7.625	0.277 0.322 0.500	2.26 2.26 2.26	2.11 2.09 2.00	58.4 58.4 50.0	7.25 8.40 12.8	2.56 2.60 2.37	24.7 28.6 43.4	351 431 753
10	xx (s) 30(c) 40(w) 80(w)	6.875 10.192 10.136 10.020 9.750	0.875 0.279 0.307 0.365 0.500	2.26 2.81 2.81 2.81 2.81	1.80 2.67 2.65 2.62 2.55	37.1 81.6 80.7 80.7 74.7	21.3 3.14 10.1 11.9 16.1	1.93 4.24 4.19 4.10 3.88	72.4 31.2 34.2 40.5 54.7	1460 285 324 405 700
12	(s) (c) 30(s) 14.000	12.090 12.000 11.750 13.250	0.330 0.375 0.500 0.375	3.34 3.34 3.67 3.67	3.17 3.7 3.08 3.46	115.0 113.0 108.0 138.0	16.1 14.6 19.2 16.0	3.88 5.96 5.88 5.63	54.7 43.8 49.6 65.4	700 299 352 503
14	30(s) x	13.000 14.000	0.500 0.500	3.67 4.18	3.15 3.99	154.0 133.0	16.0 21.3	7.17 6.70	54.6 72.1	458 653
16	30(s) 40(w) 16.000	15.250 16.000	0.375 0.500	4.18 4.18	3.99 3.93	183.0 177.0	18.4 24.3	9.48 9.18	62.4 82.8	653 400
18	(s) 20(w) 18.000	17.500 17.500	0.375 0.500	4.71 4.45	4.52 4.45	234.0 227.0	20.7 27.4	12.1 11.8	70.6 93.5	355 506
20	20(w) 20.000	19.250	0.375	5.22	4.97	291.0	23.2	13.2	78.6	319
20	(s) 20.000	19.000	0.500	5.73	4.97	291.0	30.6	14.7	104.2	454
2x	20 24.000	23.250	0.375	6.29	5.03	425.0	26.8	22.1	94.6	265
	(s) 24.000	23.000	0.500,	6.29	6.03	452.0	36.9	21.5	175.5	474

Fuente: Tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor. Tesis. Alvarado Molina, Gustavo Adolfo.

Tabla XVII Conductividad térmica y densidad de aislantes

Materiales de Aislantes	Intervalo de Temperatura	Conductividad (BTU-pig)/ (hr-pie <sup>2</sup> -°F)	Densidad lb/pie <sup>3</sup>	Aplicaciones
Espuma de Uretano	-270 a 225	0.11 a 0.14	2.00	Tanques y recipientes
Manta de fibra de vidrio	-270 a 450	0.17 a 0.60	0.60 a 3.0	Enfriadores, tanques (calientes y fríos) equipos de proceso
Láminas elastómeras	-40 a 220	0.25 a 0.27	4.50 a 6.0	Tanques y enfriadores
Tableros de fibra de vidrio	50 a 850	0.23 a 0.36	1.60 a 6.0	Calderas, tanques, e intercambiadores
Tablas y bloques de silicato de calcio	450 a 1200	0.22 a 0.59	6.00 a 10.0	Calderas, revestimiento de chimenea
Bloques de fibra de vidrio	hasta 1900	0.36 a 0.90	10.0 a 13.0	Calderas y tanques
Cañuela	-120 a 850	0.20 a 0.31	1.50 a 3.0	Tuberías

Fuente : Propuesta de mejoramiento en la administración energética en el sistema de vapor de una planta de confitería. Lieb Najera, Augusto Enrique.

Tabla XVIII Constantes para flujo de gases o vapores

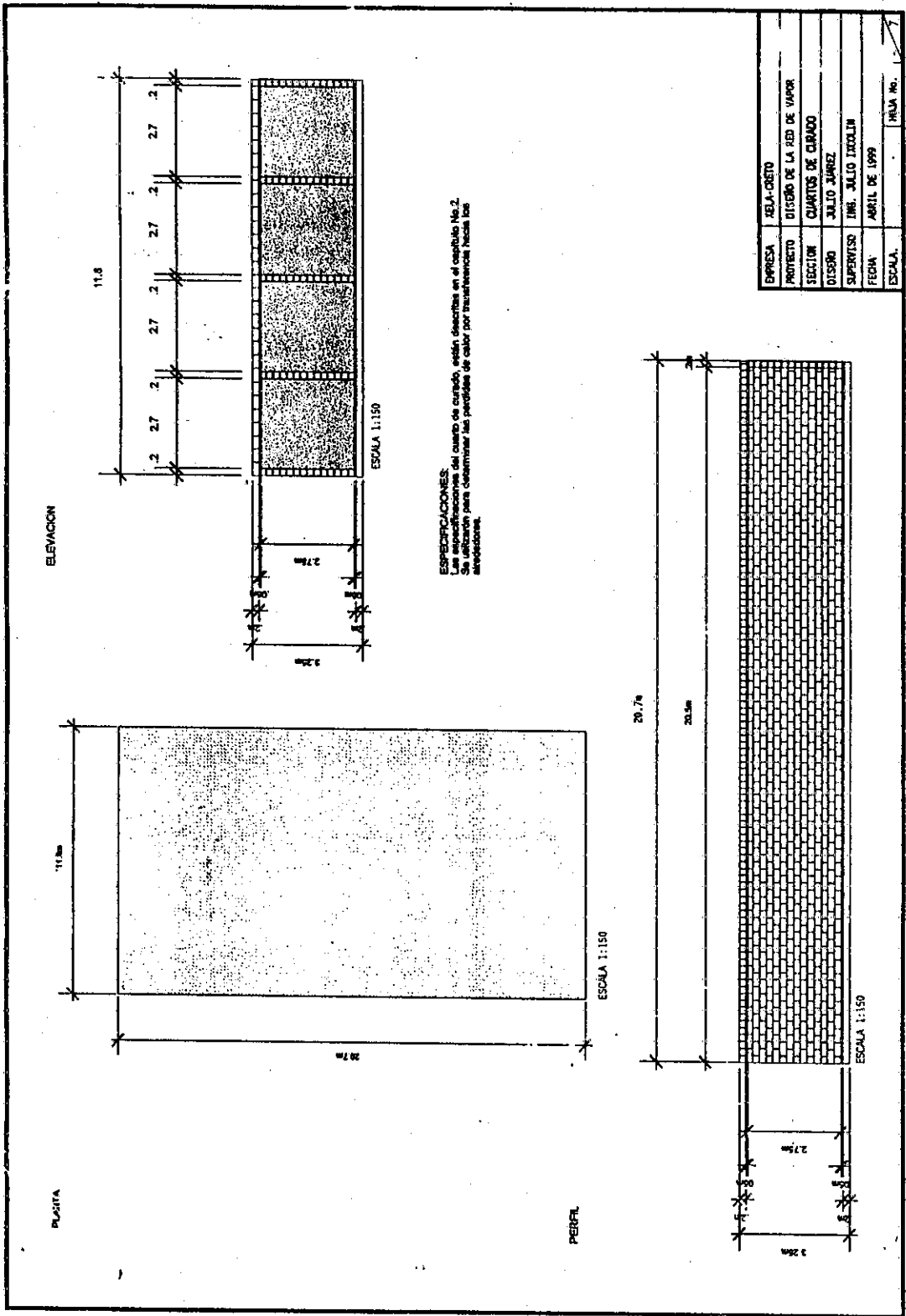
Calor específico, Cp	coeficiente, C'	Calor específico, Cp	coeficiente, C'
1.00	315	1.38	354
1.02	318	1.40	356
1.04	320	1.42	358
1.06	322	1.44	359
1.08	324	1.46	361
1.10	327	1.48	363
1.12	329	1.50	364
1.14	331	1.52	366
1.16	333	1.54	368
1.18	335	1.56	369
1.20	337	1.58	371
1.22	339	1.60	372
1.24	341	1.62	374
1.26	343	1.64	376
1.28	345	1.66	377
1.30	347	1.68	379
1.32	349	1.70	380
1.34	351	2.00	400
1.36	352	2.20	412

FUENTE: Válvulas: selección, uso y mantenimiento. Greene Richard.

## **4. PLANOS DE INSTALACIONES DE VAPOR**

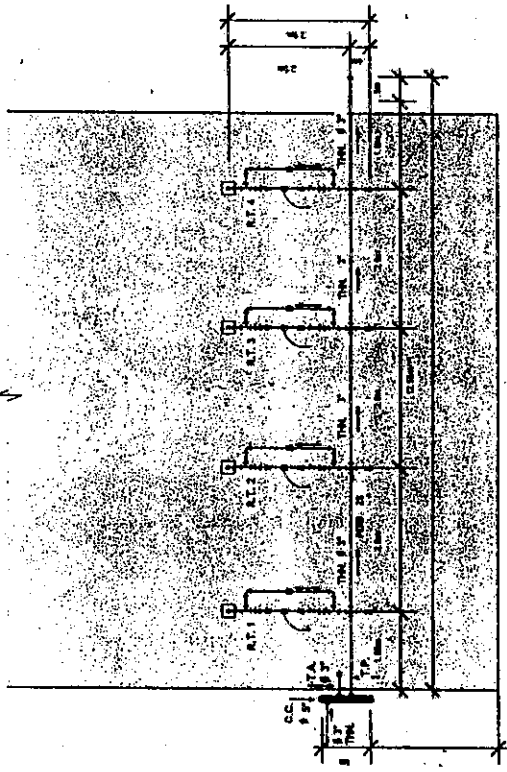
En el siguiente capítulo, se presentan los planos necesarios para realizar el montaje de la red de vapor en la fábrica de bloques Xela-Creto, los cuales son :

1. Plano de cuartos de curado
2. Plano de ubicación de caldera - cabezal de caldera
3. Plano de ubicación de tubería principal y ramales
4. Plano de detalles de ramales de vapor
5. Plano de ubicación de la tubería de vapor en cuartos
6. Plano de detalles de extracción de condensado en cabezal de caldera
7. Plano de detalles de extracción de condensado en final de tubería principal
8. Simbología y especificaciones

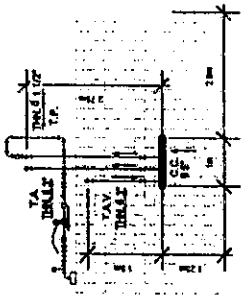
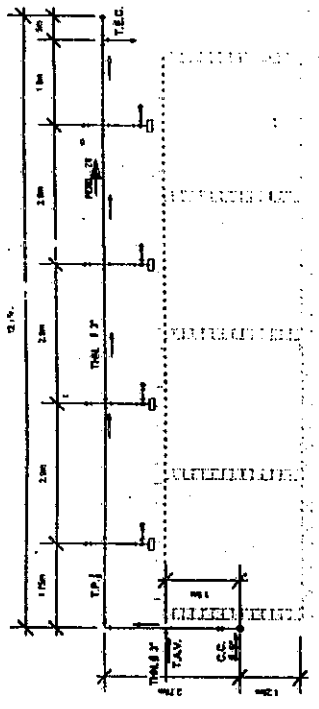




PLANTA



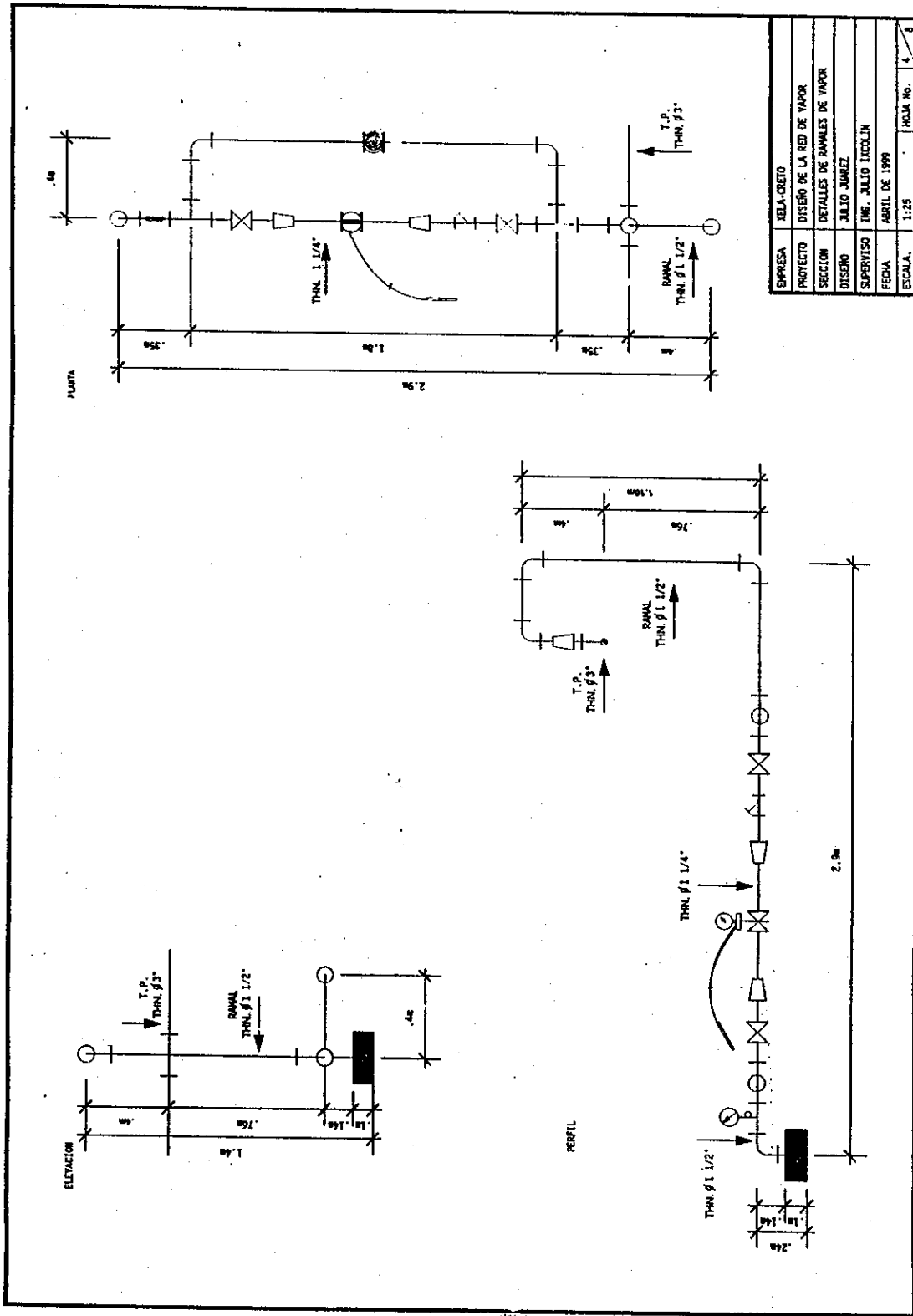
ELEVACION



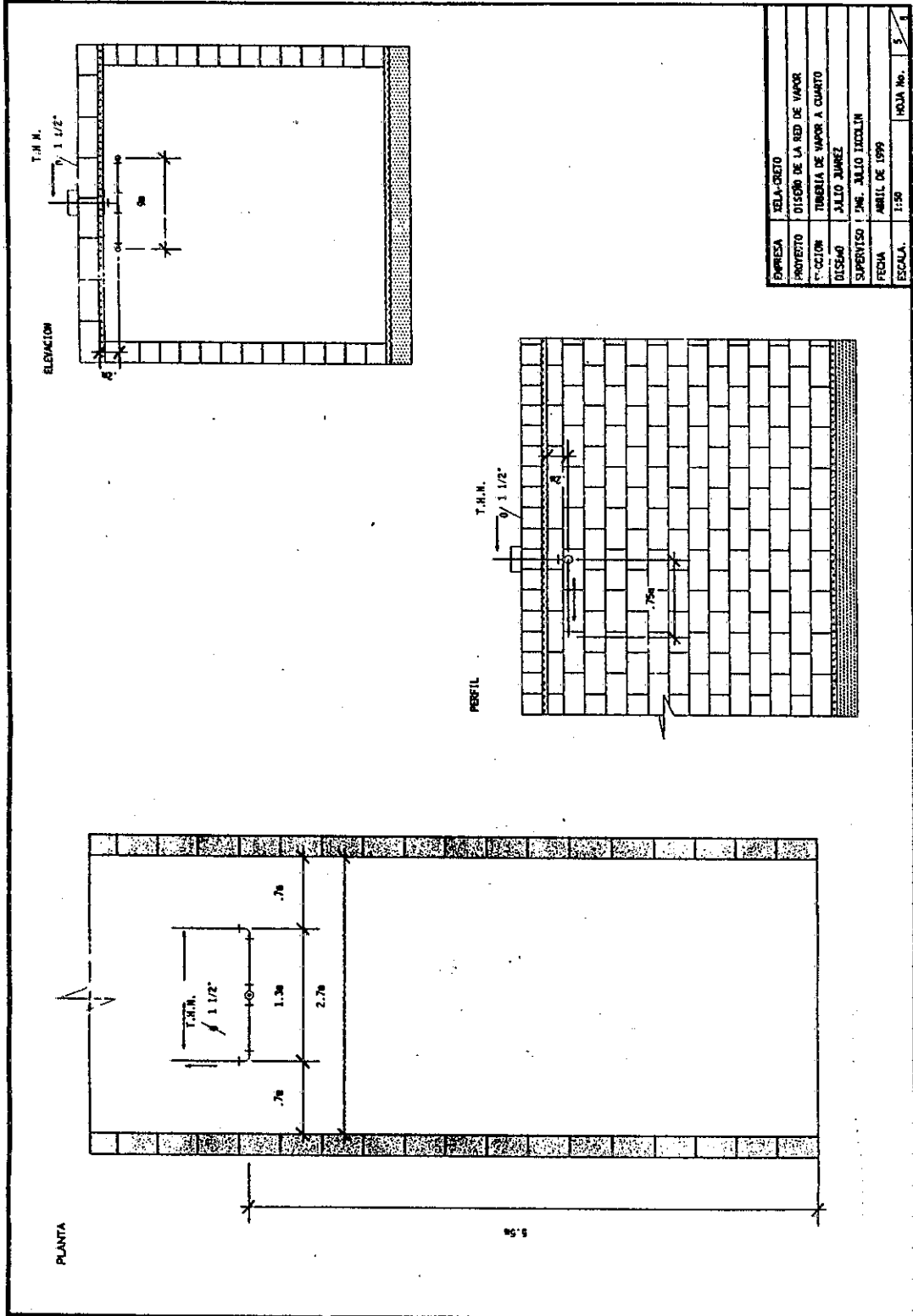
PROFIL

EMPRESA	VELA-CRETA
PROYECTO	DISÑO DE LA RED DE VAPOR
SECCION	TUBERIA PRINCIPAL Y RAMALES
DISEÑO	JULIO JIMENEZ
REVISADO	ING. JULIO IZCOLIN
FECHA	AGOSTO DE 1999
ESCALA	1:125
	FOLIA No. 3
	8



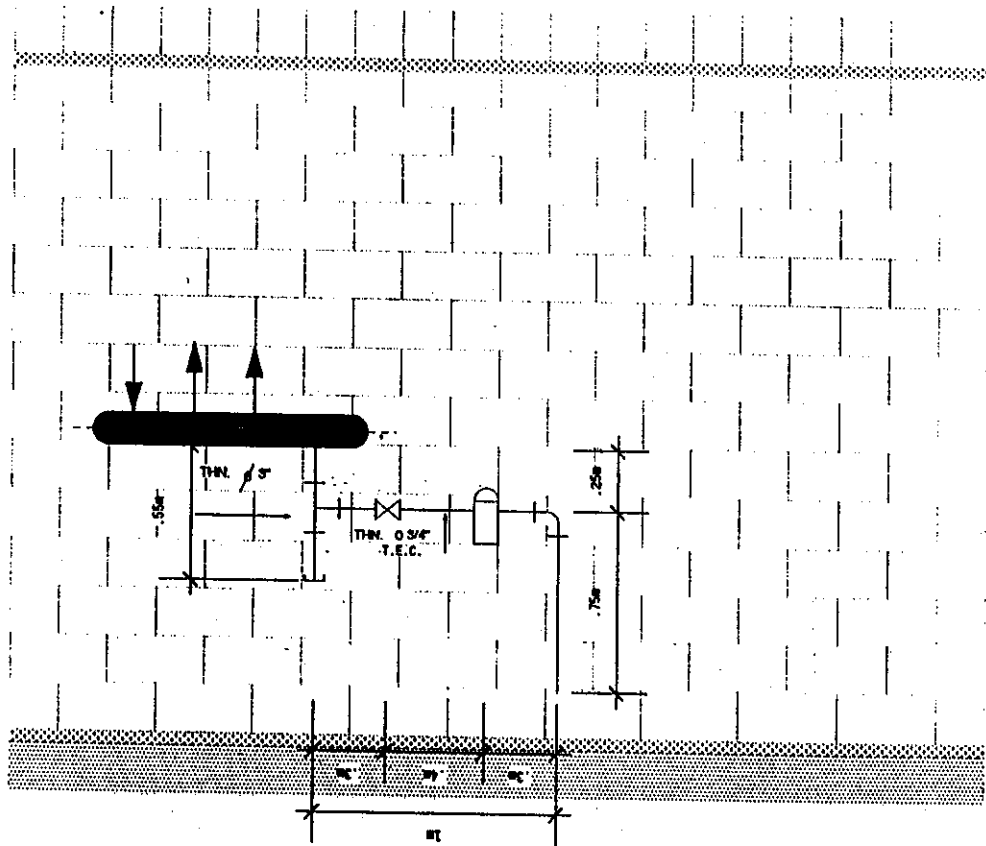


EMPRESA	VELA-CREO
PROYECTO	DISÑO DE LA RED DE VAPOR
SECCION	DETALLES DE RAMALES DE VAPOR
DISÑO	JULIO JUMAZ
SUPERVISO	ING. JULIO DICOLIN
FECHA	ABRIL DE 1999
ESCALA	1:25
Hoja No.	4 / 6



SISTEMA DE EXTRACCION DE CONDENSADO DEL  
 CABEZAL DE CALDERA

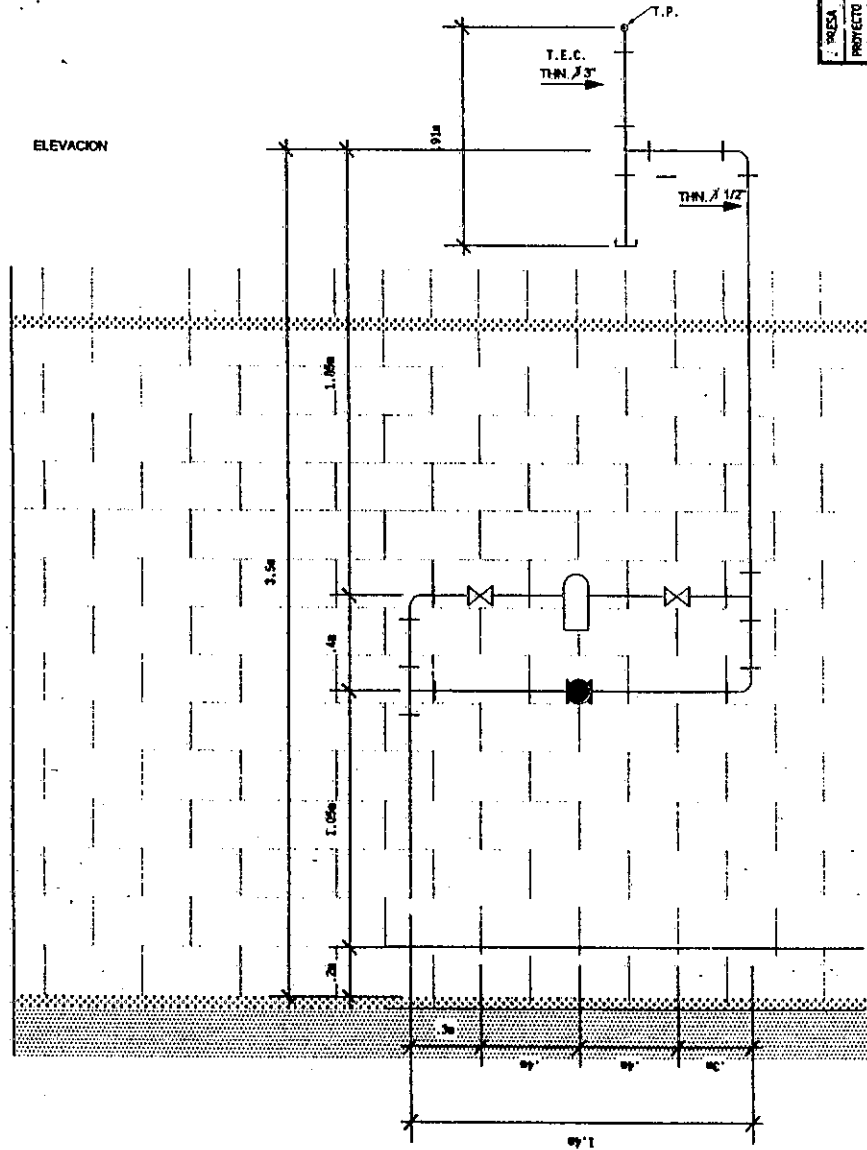
PERFIL 1



EMPRESA	HELA-CETO
PROYECTO	DISERIO DE LA RED DE VAPOR
SECCION	EXTRACCION COND. CABEZAL CALDERA
DISERIO	JULIO JUAREZ
SUPERVISOR	ING. JULIO IXCOLIN
FECHA	ABRIL DE 1999
ESCALA	1:50
	HOJA No. 5

SISTEMA DE EXTRACCION DE CONDENSADO DE LA TUBERIA PRINCIPAL

ELEVACION



AREA	CELAR-OETO
PROYECTO	CRIBO DE LA RED DE VAPOR
SECCION	EXTRACCION COND. TUBERIA PRINCIPAL
DISEÑO	JULIO JUAREZ
SUPERVISOR	ING. JULIO TICOLIN
FECHA	ABRIL DE 1999
ESCALA	1:25
	HOJA No.
	7
	8

SIMBOLOGIA

	VALVULA REGULADORA DE TEMPERATURA
	VALVULA DE COMPUERTA
	VALVULA DE VAPORES
	TRAMPA DE VAPORES DE BALDE INVERTIDO
	CODO DE 90
	TEE NORMAL
	TAPON DE TUBERIA
	REDUCTOR DE TUBERIA
	FILTRO DE TUBERIA
	DIAMETRO
	TERMOMETRO
	MANOMETRO
T.A.V.	TUBERIA DE ALIMENTACION DE VAPORES
P.B.D.	PENDIENTE
T.H.K.	TUBERIA DE HIERRO NEGRO
R.T.	RAMAL DE TUBERIA
T.E.C.	TUBERIA DE EXTRACCION DE CONDENSADO
C.C.	CARCEL DE CALDERA
T.P.	TUBERIA PRINCIPAL

ESPECIFICACIONES

1. Toda la tubería utilizada para conducir el vapor, será aislada con cañería de fibra de vidrio de espesor 1" y longitud 3", solo se debe de usar en consideración al diámetro de la tubería a aislar el momento de solicitarla.
2. La tubería de diámetro de 3", será unida por medio de bridas o soldadura, utilizando planchas de asbesto; ó cinco de fibra de vidrio entre ambas como espesor de seguridad para no permitir escape de vapor.
3. La tubería de diámetro 1 1/2" y 1 3/4", será unida utilizando rosca presisa de los accesorios.
4. La tubería principal, ramal de tubería y tubería utilizada para la extracción de condensado, será instalada oportunada en balsa aséptica, las cuales se fijarán por medio de tornillos a los muros de curado.
5. Se utilizarán casquillos o pasavientos asépticos de diámetro interior de 3 1/2" para introducir la tubería al cuarto de curado.
6. La tubería que se encuentra en el interior del cuarto de curado, será sustentada por medio de abrazaderas asépticas realizadas de hierro hueco, las cuales se fijarán al techo del cuarto de curado por medio de tornillos.
7. Realizar el respectivo rbo de cobrimo a la tubería utilizada por los muestreos al momento de la instalación.

EMPRESA	XELA-CRETO
PROYECTO	DISÑO DE LA RED DE VAPORES
SECCION	SIMBOLOGIA Y ESPECIFICACIONES
DISÑO	JULIO JIMENEZ
SUPERVISOR	ING. JULIO JIMENEZ
FECHA	ABRIL DE 1999
ESCALA	1:50
	FOLIO No. 1

## **5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

### **5.1 Suministro de vapor al cuarto de curado**

El flujo de vapor generado debe utilizarse correctamente para evitar aumentos en el costo de producción del bloque, especialmente causados por el aumento del consumo de combustible y agua de alimentación.

El suministro del vapor a los cuartos de curado se establecerá por una secuencia determinada por la capacidad de producción de la máquina utilizada para la fabricación del bloque y por el suministro de los mismos a los cuartos de curado.

Los cuartos de curado en la fábrica estarán ubicados en línea paralela a la máquina ; contruidos de manera consecutiva (pegados) para optimizar el terreno destinado para la construcción de las instalaciones y para evitar que exista traslape de vías del movimiento del personal o equipo existente en la fábrica al momento de producción ; facilita la ubicación de la red de distribución de vapor a los cuartos.

El suministro de vapor se realizará después de haber terminado el periodo de fraguado inicial del bloque (aproximadamente tres horas). La cantidad del flujo de vapor suministrada al cuarto de curado, será regulada por medio de válvulas reguladoras de temperatura ubicadas en la red de vapor, con lo que se logra mantener las condiciones de temperatura establecidas para el proceso de curado.

El personal encargado del suministro de vapor al cuarto de curado deberá llevar el control que se establece en el figura 16 (ver en siguiente página).

## 5.2 Operación de la red

El equipo más importante del área de generación y distribución de vapor es el generador de vapor (caldera), el cual es operado por personal de experiencia y ligado íntimamente a mantener las condiciones de operación establecidas por el fabricante. La caldera a utilizar en las instalaciones es del tipo pirotubular de 150 BHP, la cual fue seleccionada por la capacidad que tiene de generar el flujo necesario para el curado del bloque. Se utilizará gas propano y búnker como combustible para su operación.

Figura 16 Control de actividades del proceso de curado  
FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"  
QUETZALTENANGO

### CONTROL DE ACTIVIDADES DEL PROCESO DE CURADO

No. Cuarto: \_\_\_\_\_ Tipo bloque \_\_\_\_\_ Cantidad: \_\_\_\_\_

No.	DESCRIPCION	CONDICIONES		
		Cond. Inicial	Cond. Final	Cond. total
1	Suministro de bloques al cuarto de curado	$t_o =$ hr.	$t_r =$ hr.	$t_T =$ hr.
2	Fraguado inicial del bloque	$t_o =$ hr.	$t_r =$ hr.	$t_T =$ hr.
3	Etapas de suministro de vapor	$t_o =$ hr.	$t_r =$ hr.	$t_T =$ hr.
3,a	Etapas de aumento de temperatura aprox.	$t_o =$ hr.	$t_r =$ hr.	$t_T =$ hr.
	Aumento de temperatura			°C/hr
3,b	Etapas de estabilización aproximada	$t_o =$ hr.	$t_r =$ hr.	$t_T =$ hr.
	Temperatura de estabilización			°C
4	Presión en cuarto en etapas de estabilización			psi
5	Reposo del bloque	$t_o =$ hr.	$t_r =$ hr.	$t_T =$ hr.
6	Extracción del bloque	$t_o =$ hr.	$t_r =$ hr.	$t_T =$ hr.

$t =$  tiempo

Observaciones especiales: \_\_\_\_\_

Revisó: \_\_\_\_\_  
Operador de red de vapor

Supervisó: \_\_\_\_\_  
Supervisor de producción

Para conocer la disponibilidad diaria de operación del generador de vapor y de la red de distribución, se verifican las condiciones generales siguientes con base en el listado de inspección que se detalla en la figura 17.

Figura 17 Listado de disponibilidad de operación de la red

FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"  
QUETZALTENANGO

**LISTADO DE DISPONIBILIDAD DE OPERACIÓN**

EQUIPO : _____ CODIGO _____		FECHA: _____				
No.	Descripción	Correcto		Incorrecto		Condición
1	Nivel de combustible en tanque de alimentación					
2	Nivel de agua en tanque de alimentación					
3	Nivel de agua en caldera					
4	Condición de purga en sólidos sedimentados					
5	Condición general en tuberías					
6	Condición general en instalaciones eléctricas					
7	Condición general de sistemas de combustible					
8	Condición general de instrumentación					
9	Tratamiento de agua de alimentación realizado					

Condición final del equipo:..... \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Inspeccionada por: \_\_\_\_\_  
Op. de caldera

Supervisada por: \_\_\_\_\_  
Sup. de Manto.

Para registrar las condiciones de operación diaria del generador de vapor y de la red de distribución, se utiliza la lista de inspección que se detalla en la figura 18.



Figura 18 Control de operación diaria del área de vapor

FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"  
QUETZALTENANGO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL ÁREA DE VAPOR

No.	DESCRIPCIÓN	CONDICIONES			
1	Operación de caldera	Inicio: hr.	Fin: hr.	Tiempo de Op.:	hr
2	Presión de vapor	Presión de Op.:			psi
3	Temperatura del vapor	Temperatura de Op.:			°C
4	Presión del agua de alimentación	Presión de Op.:			psi
5	Temp. del agua de alimentación	Temp. de Op.:			°C
6	Operación del quemador	Bueno:	Regular:	Malo:	
7	Consumo de combustible	Consumo promedio			gph
8	Consumo de agua de alimentación	Consumo promedio			gph
9	Período de tratamiento de agua de alimentación	Tiempo promedio:			hr
10	Temperatura de gases de combustión	Temp. promedio:			°C
11	Condición del sistema de agua de alimentación	Normal:		Anormal:	
12	Condición del sistema de alimentación de combustible	Normal:		Anormal:	
13	Condición del suministro de vapor a la red	Normal:		Anormal:	
14	Condición general de operación de caldera	Normal:		Anormal:	

Observaciones especiales:

Si existe un variación en las condiciones de operación establecidas en el proceso, dejar indicado en el espacio de observaciones para proceder a realizar las actividades de Manto.

Revisó:

Operador de caldera

Inspeccionó:

Supervisor de Manto.

Para conocer las condiciones de operación del generador de vapor al finalizar la semana (lista de inspección semanal), se utiliza el programa de inspección de visitas que se detalla en la figura 19.

Figura 19 Control de operación semanal del área de vapor

FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"

QUETZALTENANGO

CONTROL DE OPERACIÓN SEMANAL DEL ÁREA DE VAPOR

No.	DESCRIPCIÓN		C. E. F.		C=condición E=establecida F=fabricante C= correcto I = incorrecto
			C	I	
1	Tiempo total de operación semanal	hr			
2	Presión promedio de vapor	psi			
3	Temperatura promedio del vapor	°C			
4	Flujo total promedio de vapor	BTU/hr			
5	Temp. promedio de gases de combustión	°C			
6	Condición de operación del quemador	Buena:	Regular:	Malo:	
7	Consumo total de combustible semanal	gal			
8	Consumo promedio semanal combustible	gph			
9	Condición del sistema de agua de alimentación		Normal:	Anormal:	
10	Condición del sistema de alimentación de combustible		Normal:	Anormal:	
11	Condición del suministro de vapor a la red		Normal:	Anormal:	
12	Condición general de operación de caldera		Normal:	Anormal:	

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Realizado por: \_\_\_\_\_  
 Sup. de Manto.

Inspeccionado por: \_\_\_\_\_  
 Ing. de Manto.

Los controles mencionados se pueden utilizar como un registro de operación de los equipos y cuartos de curado para asegurar la calidad , así como para poder realizar un cambio en las condiciones y tiempo del suministro del vapor dependiendo de la calidad del bloque deseada. Las variaciones se realizarán en operación.

### **5.3 Mantenimiento**

Por definición, "mantenimiento es un conjunto de actividades que deben de realizarse a instalaciones, maquinaria o equipos, con el fin de mantener el servicio para el cual fueron diseñados"(2).

De la definición de mantenimiento, se puede establecer que el fin primordial de la actividad de mantenimiento es mantener el servicio que presta la maquinaria, por lo tanto la maquinaria debe de recibir un mantenimiento para su conservación y para garantizar que la función que ella realiza dentro del proceso productivo se cumpla a cabalidad, manteniendo la capacidad productiva en el nivel deseado. Con lo anterior aumenta la disponibilidad de las instalaciones y equipo para proporcionar el servicio, manteniendo el valor del equipo por medio de la disminución del deterioro.

La actividad de mantenimiento se debe de basar en el equilibrio de las siguientes actividades :

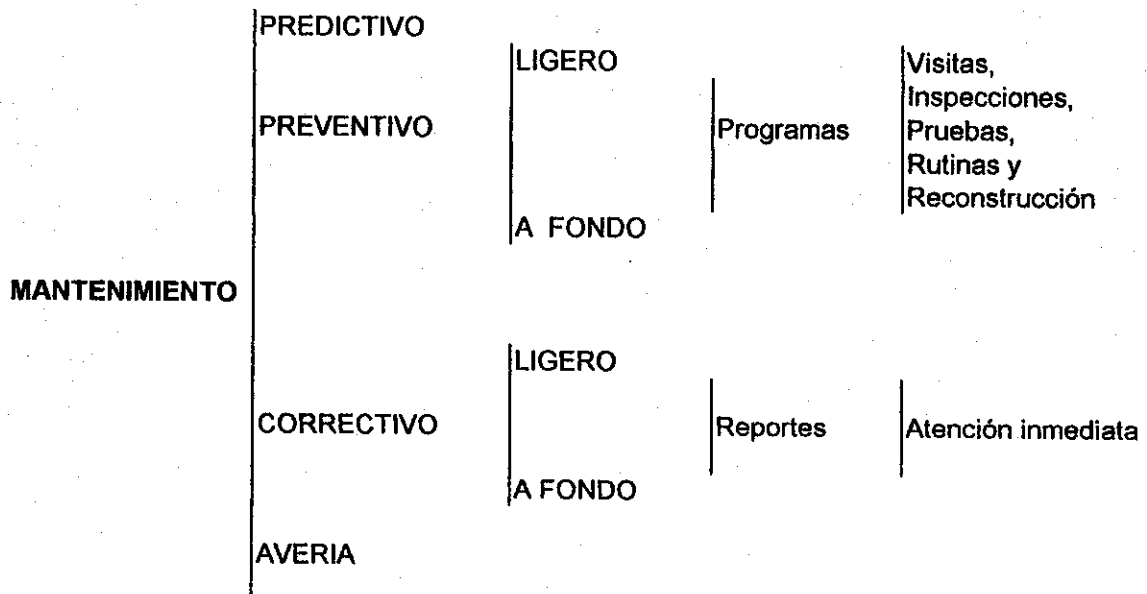
- Minimizar los costos de operación
- Aumento de la vida útil del equipo
- Reducir los costos de mantenimiento

En la práctica, el alcance del mantenimiento depende del tipo de industria o instalaciones, así como de la magnitud y desarrollo de la misma.

### **5.4 Tipos de mantenimiento aplicables a los equipos generadores de vapor**

Existen diversas formas de realizar el mantenimiento a un equipo de producción de vapor. Dichas actividades son consideradas como divisiones típicas de la actividad general de mantenimiento. Las divisiones se pueden observar en la figura 20.

Figura 20 Divisiones de la actividad de mantenimiento



Fuente : Manual de mantenimiento. INTECAP

#### 5.4.1 Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos a las calderas, sistemas auxiliares y de distribución de vapor mediante equipos sofisticados en partes críticas, ya que por su importancia, las fallas imprevistas causarían altas pérdidas de producción. La mayoría de las inspecciones se realiza con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción. Ejemplo :

- **Desgaste** : con espectrofotómetro de absorción atómica, aplicando sobre los aceites de lubricación que si muestran un contenido de metal superior a lo normal, indica dónde ocurre un desgaste excesivo.
- **De Espesor** : con ultrasonidos.
- **De Fracturas** : con rayos X, partículas magnéticas, tintas reveladoras o corrientes parásitas, ultrasonido.
- **De Ruido** : con medidores de nivel de ruido o decibelímetro.
- **De Vibraciones** : con medidores de amplitud, velocidad y aceleración.

- **De Temperatura** : con rayos infrarrojos o sea la termografía.

El mantenimiento predictivo sólo informa y sirve de base para un buen programa de mantenimiento preventivo. Un programa de mantenimiento predictivo a utilizar en las instalaciones se observa en la figura 21.

#### **5.4.2 Mantenimiento preventivo**

Consiste en todos aquellos trabajos de mantenimiento que se realizan para que el equipo se mantenga en condiciones de operación y preste continuamente el servicio para el cual fue diseñado. Se realiza mediante un *programa* de actividades previamente establecido para no afectar el proceso de producción del producto. Se planifica con base en la información que proporciona el fabricante (manuales, catálogos, planos) y experiencias proporcionadas por el personal que conforma el departamento de mantenimiento. El mantenimiento preventivo puede ser de tipo ligero y profundo ; el primero es formado por los trabajos que no necesitan conocimientos profundos ni herramientas especiales ; en cambio, el segundo si necesita personal con conocimientos profundos y herramientas especiales para su realización.

El mantenimiento preventivo para calderas se basa específicamente en :

- Programa de visitas (diario y semanal).
  - Programa de inspección, pruebas y rutinas de limpieza mayor.
  - Programas de reconstrucción.
- **Programa de visitas** : son listas de lugares o equipos a los cuales debe de dirigirse el personal de operación o mantenimiento, de acuerdo con la frecuencia que se considere necesaria. Los programas de visitas diarios y semanales se detallaron con anterioridad.

Figura 21

FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"  
QUETZALTENANGO

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

EQUIPO: CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP		Actividad a realizar		Equipo de Trabajo	Fecha	Resp.	hrs/H	Costo
No	Tipo de ensayo	Sección o parte						
1	Desgaste	Bombas de agua Bombas de aire	Medición de partículas metálicas en aceite de lubricación Medición de partículas metálicas En aceite de lubricación	Espectrofotómetro	2/5/99 3/5/99	Manto. Manto.	1 hr 1 hr	Q 12,000 Q 1,000
2	De Espesor	Tubos de caldera	Determinar desgaste en tuberías de conducción y accesorios para conocer debilidad adquirida Determinar desgaste en juntas de tubería con placa de tubos	Ultrasonidos	3/5/99	Manto.	1hr	Q 5,000
3	De Fracturas	Tubos de caldera	Verificar si existen microfisuras debido a sobrepresiones	Rayos X, Partículas magnéticas y líquidos penetrantes	7/5/99	Manto.	1 hr	Q 1,000
		Cuerpo externo de caldera	Verificar expansión debido a sobrepresiones o aumentos de temperatura		7/5/99	Manto.	1 hr	Q 2,000
4	De Ruido	Ventiladores Quemadores Motores eléctricos Bombas de agua	Verificar chumaceras y cojinetes Rotación libre Verificar correcta mezcla de aire-combustible Medir en chumaceras y cojinetes Medir en chumaceras y cojinetes	Decibelímetros	8/5/99 8/5/99 8/5/99 9/5/99	Manto. Manto Manto Manto	1 hr 1hr 1 hr 1 hr	Q 3,000 Q 4,000 Q 2,000 Q 2,000
5	Vibraciones	Ventiladores Motores eléctrico Acoplamiento de bombas-motores eléc.	Verificar balanceo de aspas Alineación de ejes, chumaceras y cojinetes Verificar alineación de ejes y cojinetes Verificar alineamiento de ejes	Medidores de amplitud y velocidad	10/5/99 10/5/99 11/5/99 11/5/99	Manto Manto Manto Manto	1 hr 1 hr 1 hr 1 hr	Q 2,000 Q 1,000 Q 1,500 Q 1,200

No	Tipo de ensayo	Sección o parte	Actividad a realizar	Equipo de trabajo	Fecha	Resp.	hrs/H	Costo
5	Vibraciones	Bombas de agua	Verificar alineamiento de ejes y cojinetes		11/5/99	Manto	1 hr	Q 1,500
6	Temperatura	Caldera	Verificar el posible aumento de temperatura exterior del cuerpo	Métodos termográficos	11/5/99	Manto	1 hr	Q 1,500
			Verificar posibles aumentos bruscos de temperatura		12/5/99	Manto	1 hr	Q 2,000
		Tubería de conducción vapor	Verificar el posible aumento de temperatura exterior del aislante		12/5/99	Manto	1 hr	Q 4,000

Realizado por: \_\_\_\_\_

Inspeccionado por: \_\_\_\_\_

Ing. de Manto

- **Programas de inspección, pruebas y rutinas** : son listas que indican las partes de un equipo que hay que inspeccionar para probar o verificar la condición del equipo. Es importante que la persona que realiza esta actividad tenga conocimiento profundo del equipo que va a inspeccionar, así como de los diferentes procedimientos que se utilizan.
- **Programas de reconstrucción** : éstos programas indican por quién y cuando se debe de realizar el trabajo, cuando debe de empezar y terminar. Se puede utilizar para llevar un control de todos los trabajos realizados en los equipos y cuales trabajos no fueron realizados por algún motivo.

Las ventajas del mantenimiento preventivo se concentran en que el personal y material es adecuado en cantidad y calidad para realizar las actividades de mantenimiento, reduce costos de mantenimiento, minimiza el tiempo muerto y el servicio del equipo puede realizarse en un tiempo establecido con mutuo acuerdo con el departamento de producción. El programa de mantenimiento preventivo a utilizar en el área de generación de vapor se observa en la figura 22.

Figura 22 Programa de inspección trimestral de mantenimiento

FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"  
QUETZALTENANGO

**PROGRAMAS DE INSPECCIÓN TRIMESTRAL DE MANTENIMIENTO**

EQUIPO: CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP		Fecha:	
No	Sección y descripción	Tiempo	Condición*
1	<b>Cámaras de agua</b>	min.	
	Remover agua	min.	
	Remover Manholes	min.	
	Inspección visual de incrustaciones en parte superior del conjunto de tubos	min.	
	Inspección visual de condiciones estructurales generales de tubos y cabezales	min.	
	Remover Handholes	min.	
	Inspección visual de incrustaciones en parte frontal y posterior de la tubería media y baja	min.	



	Inspección visual de la posición correcta del conjunto de tubos en la caldera	min.
	Observar cualquier daño en la tubería	min.
	Aplicar limpieza con agua a elevada presión y cepillos	min.
	Extracción de sólidos sedimentados del interior de la cámara de agua	min.
	Revisar condición de empaques	min.
	Instalar Manholes	min.
	Instalar Handholes	min.
2	<b>Cámaras de fuego</b>	
	Inspección de residuos de combustible sin quemar adheridos a la tubería	min.
	Inspección detallada de Post-combustion	min.
	Limpieza de superficie primaria de conducción de gases calientes (tubo central): deshollinado	min.
3	<b>Superficies de aislamiento</b>	
	Inspección de residuos de combustible adheridos a refractarios y aislantes	min.
	Realizar una inspección Post-combustion total	min.
	Inspección de condiciones del aislamiento	min.
	Inspección de ubicación correcta de aislamientos	min.
	Inspeccionar características de los aislamientos	min.
4	<b>Sistema de combustión</b>	
	<i>Quemador</i>	
	Remoción del quemador	min.
	Desarme del quemador	min.
	Limpieza de bailarinas	min.
	Verificación de dimensiones de bailarinas	min.
	limpieza de boquillas del inyector	min.
	Verificación de las dimensiones de las boquillas de atomización del combustible del inyector	min.
	<i>Electrodos de ignición</i>	
	Verificación de daños a en los materiales	min.
	Calibrar de separación entre ambos electrodos	min.
	Revisar dimensiones establecidas por el fabricante	min.
	Realizar la descarbonización de los electrodos	
	Inspeccionar su correcto montaje	min.
	<i>Transformador de alto voltaje</i>	
	Inspeccionar la condición general del transformador de alto voltaje	min.
	Con elevadas medidas de seguridad verificar su condición de funcionamiento (correcta conversión)	min.
	Inspeccionar el correcto montaje	min.
	<i>Accesorios de regulación de flujo</i>	
	Inspeccionar condiciones de operación de las válvulas selenoides	min.
	Verificar estado de servomotores	min.
	Lubricación de elementos móviles	min.

5	Inspeccionar posibles daños en accesorios	min.	
	Instalar el quemador	min.	
<b>5 Análisis de combustible</b>			
	Realizar análisis de composición del combustible verificando condiciones estandarizadas, por medio de análisis de laboratorio realizado por el distribuidor del combustible.		

**INSTALACIONES: RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR**

No	Sección y descripción	Tiempo	Condición
1	Red General		
	Inspeccionar posibles fugas	min.	
	Revisar condición de juntas y uniones	min.	
	Revisar condición de la cañuela de fibra de vidrio	min.	
	Inspeccionar operación de trampas de vapor	min.	
	Inspección del funcionamiento de reguladores	min.	
	Operar todas las válvulas de compuerta y globo	min.	
	Limpieza general de instrumentación	min.	
	Inspeccionar funcionamiento de instrumentación	min.	

\*Nota: La condición se diferencia en que fue realizada ó que no fue realizada

Observaciones:

---



---



---

Inspección realizada por: \_\_\_\_\_  
Sup. de Manto.

Supervisado por: \_\_\_\_\_  
Ing. de Manto

Además del mantenimiento trimestral, se realizan las siguientes actividades para realizar el mantenimiento preventivo semestral (ver figura 23)

Figura 23 Programas de inspección semestral de mantenimiento

FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"  
QUETZALTENANGO

**PROGRAMAS DE INSPECCIÓN SEMESTRAL DE MANTENIMIENTO**

Nota: Estas actividades se adicionarán a las descritas en el programa de inspección trimestral de mantenimiento

EQUIPO: CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP		Fecha:	
No	Sección y descripción	Tiempo	Condición*
1	<b>Bombas de Aire</b> Inspección de rodamientos del rodete Inspeccionar los impeler de las bombas Verificar buenas condiciones generales de la bomba		
2	<b>Dispositivos de Seguridad</b> Inspeccionar las condiciones de los elementos que conforman el sistema de nivel bajo de agua en caldera Inspeccionar las condiciones de los elementos que conforman el sistema de nivel alto de agua en caldera Inspeccionar las condiciones de los elementos que conforman el sistema de detección de sobre-presión en caldera Ajuste de los sistemas de seguridad Calibración de los sistemas de seguridad Realizar pruebas de operación de los sistemas de seguridad descritos anteriormente		
3	<b>Equipo eléctrico</b> Limpieza general de paneles eléctricos Limpieza general de protecciones eléctricas Inspección de cables de distribución de energía eléctrica Prueba de aislamientos eléctricos en motores Inspección de rodamientos del motor Revisión y ajuste de conexiones eléctricas		
4	<b>Agua de alimentación</b> <i>Bombas de Agua</i> Inspección de los elementos mecánicos Realizar cambio de lubricantes Inspección de rodamientos Inspección de acoplamientos, empaques y retenedores		
5	<b>Ventiladores</b> Inspección visual del estado del mismo Inspección del acoplamiento motor-ventilador Inspección visual de chumaceras Inspección visual de rodamientos Realizar etapa de lubricación		

<b>INSTALACIONES: RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR</b>			
No	Sección y descripción	Tiempo	Condición*
	Inspeccionar condiciones de todos los empaques Realizar pruebas de funcionamiento de trampas de vapor Verificar condiciones de operación del regulador de temperatura		

\*Nota: la condición se diferencia en que fue realizada ó que no fue realizada

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Inspección realizada por: \_\_\_\_\_  
 Sup. de Manto.

Supervisado por: \_\_\_\_\_  
 Ing. de Manto

Para implementar el programa de mantenimiento preventivo anual, se realizan todas las actividades que corresponden al mantenimiento semestral y las que se presentan en la figura 24 .

Figura 24 Programa de inspección anual de mantenimiento  
 FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"  
 QUETZALTENANGO

### PROGRAMAS DE INSPECCIÓN ANUAL DE MANTENIMIENTO

Nota: estas actividades se adicionarán a las descritas en el programa de inspección trimestral de mantenimiento y programa de inspección semestral

<b>EQUIPO: CALDERA PIROTUBULAR DE 150 BHP</b>		Fecha:	
No	Sección y descripción	Tiempo	Condición*
1	Verificar el estado de las válvulas de alivio (seguridad)		
2	Realizar las pruebas en operación de caldera del buen funcionamiento de las válvulas de alivio (seguridad)		
	Realizar prueba hidrostática a presión 1.5 mayor de la presión de operación		

INSTALACIONES: RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR			
No	Sección y descripción	Tiempo	Condición*
1	Verificar las condiciones de los asientos de válvulas		
2	Verificar las condiciones de los elementos mecánicos que componen las trampas de vapor		
3	Inspección del cabezal de distribución		
4	inspección visual de los soportes de tubería		

\*Nota: la condición se diferencia en que fue realizada o que no fue realizada

Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Inspección realizada por: \_\_\_\_\_

Sup. de Manto.

Supervisado por: \_\_\_\_\_

Ing. de Manto

### 5.4.3 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en todos aquellos trabajos de mantenimiento que se realiza a los calderas e instalaciones de distribución de vapor, cuando éstos dejan de proporcionar el servicio para el cual fueron diseñados y se desea recupera el mismo. También el mantenimiento correctivo se divide en: mantenimiento correctivo ligero y mantenimiento correctivo a fondo. Esto dependiendo de la falla que halla originado la intervención a corregir.

El mantenimiento correctivo se controla por medio de *reportes* los cuales deben de ser atendidos de inmediato. El personal de mantenimiento debe de tener el criterio suficiente para corregir la falla y recuperar el servicio de una manera rápida y segura.

Las actividades que se realizan en éste tipo de mantenimiento son la reparación de defectos y corrección de defectos.

Las desventajas del mantenimiento correctivo se concentran en que el personal y material no es adecuado en cantidad y calidad para cubrir los reportes establecidos con respecto al fallo que presente la maquinaria, eleva los costos de mantenimiento, aumenta la inseguridad del operador y produce que exista un aumento de tiempo muerto de producción.

Las actividades de mantenimiento que generalmente se presentan para mantenimiento correctivo se detallan en la figura 25. **No se descarta la posibilidad de que pueda presentarse cualquier falla en un momento inesperado.**

#### **5.4.4 Mantenimiento avería**

Se realiza cuando existe un defecto de importancia mínima en el equipo, el cual puede ser reparado en poco tiempo. La actividad realizada en ésta clase de mantenimiento es el cambio de repuestos.

Actualmente, grandes empresas internacionales han adoptado la utilización del **Mantenimiento Productivo Total MPT** para el mejoramiento de la calidad del mismo, el cual desecha el principio de que únicamente el personal de mantenimiento es el encargado de velar por que el equipo preste el servicio deseado. MPT obliga a que el personal de operaciones o producción realice actividades básicas de mantenimiento.

La palabra MPT, tiene tres significados importantes :

- Total efectividad y eficiencia económica del servicio.
- Total mantenimiento de prevención (MP) (diseño libre de mantenimiento) y actividades para mejorar el mantenimiento del equipo.
- Total participación : ***mantenimiento autónomo por operadores*** y actividades de grupos pequeños en cada departamento (CATS) y a cada nivel.



INSTALACIONES: RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR									
No	Sección de falla	Descripción de falla		Fecha	Respon.	Repues.	Herramientas	hrs/H	Costo
1	Tuberías	Fugas imprevistas			Manto				

Observaciones

---



---



---

Inspección realizada por: Sup. de Manto.

Supervisado por: Ing. de Manto



Establece además, los siguientes objetivos :

- Incrementar la efectividad de los equipos.
- Desarrollar sistemas de mantenimiento productivo, para prolongar la vida de los equipos.
- Involucrar a todos los departamentos (ingeniería y diseño, mantenimiento y producción) al plan de MPT ; diseñar, usar y mantener los equipos implementando el MPT.
- Involucrar a todos los empleados en todas las actividades del MPT.
- Eliminar totalmente los paros y las averías.

La implementación del MPT beneficia al departamento de mantenimiento ya que las actividades básicas son realizadas por los operadores, manteniendo al equipo en buenas condiciones de operación y funcionamiento ; además desarrollan habilidades para detectar problemas potenciales antes de que generen paros por averías.

### **5.5 Programa de mantenimiento productivo total**

El objetivo del programa de mantenimiento a utilizar en el área de vapor, es mantener las condiciones y el servicio de los equipos que serán utilizados para generar y distribuir el vapor. Se involucrará a todo el personal que tiene relación alguna con el equipo existente, especialmente operadores (personal de producción) y personal del departamento de mantenimiento. Antes de realizar el programa de mantenimiento, se hará un enfoque general de las actividades que le corresponden imaginariamente a cada individuo que tenga relación con el equipo, para poder establecer seguidamente las labores de mantenimiento y el personal que realizará la actividad.

Son definidos como trabajos de **Tipo I**, aquellos que los *operadores* son capaces de realizar ahora o después de un adiestramiento adecuado. Ejemplo de estas actividades serían :

- limpieza
- lubricación
- inspecciones generales
- pruebas
- ajustes menores, atornillamientos
- servicios y reparaciones menores.

Estas tareas normalmente toman un tiempo mínimo para su ejecución, y son actividades repetitivas que usualmente se basan en un número de rutinas y servicios que se realizarán diariamente, semanalmente, mensualmente o semestralmente.

Son definidos como trabajos de **Tipo II**, aquellos trabajos que requieren habilidades y conocimientos profundos del equipo, para poder realizar el mantenimiento o reparación de falla existente. Ejemplo de estas actividades serían :

- desarme parcial del equipo
- uso de varias herramientas
- reemplazo de partes o componentes
- altos niveles de habilidad
- mayor tiempo para las rutinas de mantenimiento
- pruebas de operación del equipo

Son también trabajos de tipo II, los trabajos realizados en un mantenimiento predictivo, tales como las que se detallan en el mantenimiento predictivo.

## **5.6 Implementación del programa de mantenimiento productivo total**

Para implementar el programa de mantenimiento a las instalaciones, se debe de conocer la clase de equipos existente, su historial de trabajos realizados y de las condiciones actuales de operación. Con lo anterior se logra conocer las características y condiciones actuales para poder elegir el tipo de mantenimiento que sea necesario.

Para las instalaciones de vapor, se considera que el equipo es adquirido del fabricante, en condiciones nuevas de uso y con los contratos de primeros servicios vigentes. La relación inicial del personal de operación y mantenimiento será por medio de una capacitación proporcionada por el fabricante y por medio de los manuales de operación y mantenimiento. A continuación se ilustran las formas de control iniciales del equipo, las cuales van dirigidas a la creación e implantación del Mantenimiento Productivo Total (MPT) en la fábrica.

Particularmente, para implementar el MPT en el área de generación y distribución de vapor de la fábrica XELA-CRETO, solo se necesita tener conocimiento del generador de vapor ya que la red de distribución contiene accesorios cuyas características son generales. Se incluirá al llenar los listados de inspección y ordenes de trabajo que debe realizar el personal operador del equipo y personal del departamento de mantenimiento.

### **a) Identificación de equipos**

Se realizará una adecuada identificación de equipos para facilitar el adecuado conocimiento y operación. Se utilizará el formato que se ilustra en la figura 26.

Figura 26 Tarjeta de control de equipos

TARJETA DE CONTROL DE EQUIPO					
<b>CODIGO DEL EQUIPO:</b>					
Nombre general de equipo principal:		GENERADOR DE VAPOR			
Potencia	150 BHP	Marca:	Cleaver Brooks	Fabricante	El mismo
No serie		Modelo	CB600-150-150	Clasificación:	Pirotubular
Fecha de fabricación		Fecha de adquisición		Costo:	Q 315,000
Presión máxima vapor:	150 psi	Temp. aprox. del vapor	358 °C	BTU/hr	5,025,000
<b>Combustible:</b>	Tipo I	Tipo II			
Clase	Buncker C	LPG			
Consumo	42 gph	62,8 gph			
<b>Características eléctricas tablero de mando</b>					
Voltaje:	220 V	Número de fases	3	Frecuencia	60 Hz

TARJETA DE CONTROL DE EQUIPO					
<b>CODIGO DEL EQUIPO:</b>		BOMAL001			
Nombre general de equipo		BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN			
Potencia	15 HP	Marca:	Aurora Pump.	Fabricante	El mismo
No serie		No. Parte		Tipo :	Centrifuga
Fecha de Fabricación		Fecha de Adquisición		Costo:	
Voltaje del motor	220 V	Frecuencia	60 Hz	Número de fases	3
Presión de trabajo de la bomba	200 psi	Amperaje: 35 A			

**b) Historial del equipo para calderas según TPM**

Forma de control de todas las actividades de mantenimiento que se han realizado al equipo. Puede ser utilizado para realizar análisis a nivel administrativo y mantenimiento. Es una base para ajustar o modificar las actividades de mantenimiento que se han realizado hasta la fecha. Un formato del historial se puede observar en la figura 27.

Figura 27 Historial del equipo

**HISTORIAL DEL EQUIPO**

<b>CODIGO:</b>	
No. de equipo: _____	Descripción: _____
Fecha de Adquisición: _____	costo: _____
	No Clasificación: _____
	Costo de Reemplazo: _____

Fecha	No. O.T.	Descripción de la acción	Mano de obra		Costo repuestos	Costo total	Costo Acumul.	% del C.A.F
			Hrs	Costo				

Como el equipo se adquirirá en nuevas condiciones, no existirá historial de trabajos realizados en el equipo. Si se adquiere el equipo después de una etapa de operación, es recomendable que el vendedor proporcione ésta información ; o

también, realizar por parte del departamento de mantenimiento una inspección y mantenimiento completo para iniciar un nuevo historial del equipo.

### **c) Condiciones del equipo**

Para verificar las condiciones actuales del equipo, se puede realizar una inspección de las condiciones que presenta el mismo. Seguidamente, se hace una comparación de las condiciones detectadas con una tabla escala-rango de condiciones-acciones utilizada al realizar las Acciones de Mejoramiento Continuo del Equipo (CATS), las cual se obtienen al implementar el TPM. La tabla de análisis de condiciones del equipo se detalla en la figura 28 .

Para realizar el análisis de la condición del equipo, se compara las condiciones actuales del equipo determinadas después de una inspección con las establecidas en la tabla de escala-rango y condición-acción. Se determina la ponderación respectiva y se determinan los conceptos requeridos por la hoja de evaluación de el análisis de condición del equipo establecida por el programa de TPM. El equipo es evaluado por:

1. Confiabilidad
2. Capacidad
3. Condición general
  - Apariencia/limpieza
  - Facilidad de operación
  - Seguridad/ medio ambiente que rodea

Un formato que es posible utilizar para determinar la condición del equipo se muestra en la gráfica 29.

NOTA : El generador de vapor, como tiene una condición nueva al ser adquirido de forma directa al fabricante, se establece que se encuentra en excelentes condiciones de operación y las actividades recomendadas a realizar se pueden determinar en la tabla anteriormente expuesta.

Figura 28 Guía de evaluación periódica de TPM para calderas

**GUÍA DE EVALUACIÓN PERIÓDICA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO  
TOTAL PARA CALDERAS Y EQUIPOS AUXILIARES EN GENERAL**

ESCALA CLASIFICACIÓN	CONDICIÓN	ACCIONES POSIBLES
<p><b>1</b> Mala calidad</p>	<p>debajo de todos los estándares difícil para efectuar trabajo incierto muy baja efectividad general del equipo no existen tolerancias no se hacen mejoramientos no existe seguridad para efectuar no existe mantenimiento preventivo alto rango de desecho</p>	<p><b>Requiere atención inmediata</b> desecharlo modificar iniciar mantenimiento preventivo mejorar funciones y medidas de seguridad aumentar actividades de limpieza pintar nuevamente</p>
<p><b>2</b> Justo</p>	<p>Condición mínima de aceptación Bajo algunos estándar no es fácil para el operador capacidad limitada sucia Baja efectividad general del equipo alto grado de desecho pequeño programa de mantenimiento preventivo</p>	<p><b>Requiere acciones iniciales</b> reconstrucción mejorar funciones y medidas de seguridad mejorar el mantenimiento preventivo aumentar actividades de limpieza mejorar inspecciones</p>
<p><b>3</b> Promedio</p>	<p>requerimientos encontrados exposiciones confiables realizando el mantenimiento preventivo No en buenas condiciones algunas limitaciones de capacidad presentable efectividad general promedia del equipo desechos promedios</p>	<p><b>Acciones requeridas</b> mejoramiento necesario de las funciones mejorar las inspecciones mejorar el mantenimiento preventivo (PM) Aumento de la limpieza no permitir deterioros</p>
<p><b>4</b> Bueno</p>	<p>máquina confiable buena apariencia muy pocos desechos todos los programas de Manto. realizados algunos mejoramientos realizados buena efectividad general del equipo alcanzados todos los estándares</p>	<p><b>Acciones posibles</b> afinar los programas de mantenimiento mantener la inspección a los equipos mantener la limpieza y lubricación mejorar donde sea posible no permitir deterioros</p>
<p><b>5</b> excelente</p>	<p>Condiciones perfectas nuevas vistas de marcha excelentes capacidades no existen desechos mejorando lo equipos no existen paradas repentinas realización perfecta del mantenimiento preventivo excelente efectividad general del equipo</p>	<p><b>Usar como ejemplos</b> demostraciones distantes para clientes no permitir deterioros mantenimiento perfecto, récord en PM alcanzada perfectamente la limpieza</p>

Figura 29 Análisis de condición del equipo por TPM

**ANÁLISIS DE CONDICIÓN DEL EQUIPO POR TPM**

No. equipo _____		Descripción del equipo _____			
Fecha _____		Evaluado por _____			
<p style="text-align: center;">1-Mala Calidad   2- Justo   3- Promedio   4- Bueno   5- Excelente</p> <p style="text-align: center;"> </p>					calificación completa
<b>1- Confiabilidad</b>					
Comentarios					
<b>2- Capacidad</b>					
Comentarios					
<b>3- Condición general</b>					
Apariencia/limpieza					
Facilidad de operación					
Seguridad/medio ambiente					
Comentarios					

Para iniciar el programa de mantenimiento, se tomarán en cuenta las actividades recomendadas por el fabricante, las actividades establecidas para una condición buena y excelente de la tabla anterior y los conocimientos del personal de mantenimiento.



#### **d) Listas de inspección**

Son tareas estandarizadas que el operador realiza. Contiene específicamente actividades de limpieza, lubricación e inspección de las condiciones del equipo. Una lista de inspección a utilizar en el área de generación, se detalla en la figura 30.

#### **e) Desarrollo de órdenes de trabajo**

Es la parte final de las actividades de que el operador realiza al ser involucrado en la actividad de mantenimiento. Se utiliza para asignar un trabajo al Departamento de Mantenimiento, el cual fue determinado al realizar las listas de inspección por los operadores. Estos trabajos asignados a mantenimiento se evalúan y se determina a que tipo de mantenimiento se asignará, el cual puede ser tomado para un mantenimiento preventivo o para un mantenimiento correctivo.

Un formato proporcionado por el TPM de ordenes de trabajo se detalla en la figura 31.

**PROGRAMA DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PARA PERSONAL OPERATIVO**  
(Listas de Inspección)

Procedimientos de trabajo		Mantenimiento autonomo estandar (limpieza, lubricación e inspección)				Efectivo hasta: Enero, 2000	
No.	Depto.: Generación de vapor	Equipo: No. 001	Periodo: Junio, 1999 Enero, 2000				
No.	Localización	Criterio	Método	Herramientas	Tiempo	Intervalo	Persona Resp.
						dia. sem. men.	
1	Area de trabajo y generación	Eliminar polvo y tierra	Barrer y sacudir	Escoba y trapos	5 min	x	Operador
2	Cuerpo externo de caldera	Eliminar polvo	Limpiar y sacudir	Trapos y waipe	10 min	x	Operador
3	Quemador	Eliminar productos combustión	Limpiar con combustible y secar	Waipe y aceite (combustible liviano)	20 min	x	Operador
4	Tableros de control y conexiones eléctricas externas	Eliminar polvo y tierra	Limpieza manual	Brochas, trapos y Limpia contactos	20 min	x	Operador
5	Filtros de combustible	Eliminar posibles solidos o polvo	Limpiar manualmente a en dirección opuesta	Waipe, combustible y trapos	10 min	x	Operador
6	Accesorios, instrumentación de la red de vapor	Eliminar suciedad y materiales solidos extraños posibles	Limpieza manual	Trapos, cepillos plásticos y cepillos metálicos	15 min	x	Operador

No.	Punto de Lubricación	Criterio	Método/ tipo de lubricante	Herramientas	Tiempo	Intervalo	Persona Resp.
						dia. sem. men.	
1	Extensiones del regulador de medios en quemador	Suministrar la cantidad necesaria manualmente	Con aceite especificado por el fabricante	Lubricadores	3 min	x	Operador
2	Chumaceras y cojinetes	Suministrar el nivel indicado	Con grasas y aceites dichos por fabricante	Engrasadoras y lubricadores	3 min	x	Operador
3	Sistema de lubricación bomba	Suministrar al nivel indicado	Con aceite especificado por el fabricante	Lubricadores	2 min	x	Operador

No.	Categoría	Localización	Criterio	Método	Acción	Tiempo	Intervalo		Persona Responsable
							día	manana	
Inspección	1	Temperatura	cuerpo de caldera	30 a 35 °C	Toma de temperatura	Verificar	1 min	x	Operator
	2	Presión de agua de alimentación	Bombas de agua	Dentro del rango establecido	Inspección visual	Ajustar	1 min	x	Operator
	3	Temperatura	Gases de combustión	Dentro del rango establecido	Inspección visual	Corregir combustión	1 min	x	Operator
	4	Drenado de condensado	Trampas de vapor	En base a estándares	Inspección visual	Verificar operación	2 min	x	Operator
	5	Ruido	Motores, ventiladores y bombas	Dentro de lo normal	Contacto directo e inspección visual	Lubricar y ajustar	5 min	x	Operator
	6	Vibración	Bases de motores y bombas	Desajustadas y mal apretadas	Inspección visual	Apretar tornillos de bases	3 min	x	Operator
	7	Temperatura	Rodamientos	Dentro del rango establecido	Toma de temperatura	Comparar con estandar	1 min	x	Operator

Realizado por:

Sup. de Manto.

Inspeccionado por:

Ing. de Manto

Figura 31 Hoja de información de fallas según TPM

FÁBRICA DE BLOQUES "XELA-CRETO"  
QUETZALTENANGO

**HOJA DE INFORMACIÓN DE FALLAS SEGÚN TPM  
OT**

Descripción del Equipo: _____	Equipo No.: _____	
Fecha: _____	Tiempo: _____	Operador: _____
<b>1. Cual es la falla? (Describir la parada repentina)</b>		
<b>2- Porque? (Que piensa el operador que causo la falla)</b>		
<b>3- Que se debe de hacer para eliminar la falla? (Para prevenir futuras paradas imprevistas de la misma clase)</b>		

En la actualidad, las empresas conscientes de la importancia y beneficio del mantenimiento de los equipos, instalaciones o maquinaria, se inclinan hacia la utilización de sistemas informáticos de mantenimiento que permiten controlar el

mantenimiento preventivo y correctivo en cualquier industria ; ya que por lo regular, son actividades cíclicas las cuales pueden ser establecidas con base a criterios del personal de mantenimiento o en base a las recomendaciones del mantenimiento estipulados por los fabricantes de los equipos.

Un programa informático para mantenimiento preventivo puede generar y operar en una empresa en cualquier momento las actividades siguientes :

- Órdenes de trabajo.
- Listas de equipos.
- Programa anual de mantenimiento.
- Presupuestos de mano de obra y repuestos.
- Inventarios.
- Historias de mantenimientos preventivos.
- Historias de mantenimientos correctivos.
- Recursos requeridos.

## CONCLUSIONES

1. La calidad del bloque aumenta al realizar el proceso de curado utilizando vapor directo. Proporciona las condiciones de saturación de humedad y temperatura elevada para que todas las reacciones químicas alcancen las características óptimas deseadas para completar la hidratación y fraguado del concreto ligero.
2. Con la implementación del curado de vapor en las fábricas productoras de bloques se reduce el tiempo de producción en un 85.71 %. El tiempo promedio de producción utilizando el curado normal del bloque es de siete días y realizando el curado acelerado por medio de vapor el tiempo de producción se reduce a un día.
3. Se deben utilizar válvulas reguladoras de temperatura al diseñar y montar la red de distribución de vapor para el curado del bloque, ya que permite : uniformizar la calidad del producto, disminuir el personal operativo de la red, mantener las condiciones deseadas de temperatura en cada etapa del proceso y disminuir los costos de operación de la red de vapor al suministrar solamente la cantidad de vapor necesaria en el proceso.
4. Al realizar el curado del bloque por medio del vapor, los costos totales del bloque disminuyen gracias a los factores siguientes : menor cantidad de personal para el curado, disminución del tiempo de producción y disminución del costo de los materiales de fabricación (especialmente en la cantidad de cemento a utilizar para alcanzar determinada resistencia). Los costos del bloque se compensan con la calidad del mismo.
5. La capacidad y tipo de la trampa de vapor por utilizar, debe ser la adecuada para aumentar la eficiencia, disminuir los costos de operación al evitar fugas de vapor y evitar el deterioro de los equipos utilizados en la distribución y control del mismo.

## RECOMENDACIONES

1. Establecer mediante pruebas experimentales y pruebas de laboratorio, el tiempo óptimo de suministro de vapor para alcanzar la resistencia deseada en el bloque ; para minimizar los costos de operación del generador de vapor y los costos totales del bloque fabricado.
2. Al diseñar una red de vapor para el curado del bloque de cualquier tipo de concreto, se deben de realizar pruebas de laboratorio para conocer la conductividad térmica real de los materiales por utilizar en el diseño del cuarto de curado, así como, para conocer el calor específico del bloque a curar en base a los materiales utilizados para la fabricación . Con lo anterior se establece la cantidad de vapor necesaria a generar por la caldera. Se recomienda la asesoría del personal del laboratorio de Concreto de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y del Laboratorio de concreto de Cementos Progreso, La Pedrera, para los análisis y pruebas de laboratorio necesarias y obtener la calidad del bloque que se desea producir.
3. Establecer un mantenimiento preventivo para el generador de vapor y de la red de distribución de vapor ; así como, mantener el control estricto del tratamiento de agua de alimentación para evitar mal funcionamiento y deterioro de los equipos. Lo anterior se puede realizar tomando como base el mantenimiento estipulado en el capítulo 5 y con la asesoría del personal que distribuye los equipos.
4. Utilizar por parte del departamento de mantenimiento una base de datos alimentada a una computadora personal, la cual deberá incluir: historiales del equipo, programas de mantenimiento preventivo, programas de mantenimiento correctivo, ordenes de trabajo y reportes. Con lo anterior se logra mantener la información actualizada y es de fácil acceso para el personal encargado del mantenimiento.

5. Establecer las rutas de movimiento adecuadas en las instalaciones para transitar fácilmente hacia los ramales de tubería, para poderlos inspeccionar diariamente en el proceso, o para operarlos rápidamente en caso de cualquier emergencia.
6. Instalar el termostato del regulador de temperatura a 5 metros de distancia a partir de la entrada del cuarto. Colocarlo en la parte superior, ya que debido al movimiento del flujo de vapor dentro del cuarto, se considera el punto crítico para alcanzar la temperatura deseada.
7. Analizar la viabilidad del proyecto en el cual se incluyan todos los factores que puedan incidir en el aumento del costo de venta del bloque al mercado, para asegurar que la inversión realizada será recuperada en el tiempo establecido.
8. Realizar el montaje de la tubería de vapor de forma aérea, debidamente anclada y soportada a cada 3 m.
9. Lograr la mayor eficiencia posible del equipo de generación de vapor y red de distribución de vapor, al operar en las condiciones establecidas por el fabricante, evitando fugas o suministros de vapor no necesarios y realizando los programas de mantenimiento establecidos para las instalaciones.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oscar Armando Amado Quiñones. Cálculo y diseño de una mezcladora para la fabricación bloques de piedra pómez. Tesis : Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1996. p 15.
2. Manual de mantenimiento. Instituto Técnico de Capacitación y Productividad.
3. Comisión Guatemalteca de Normas. Normas COGUANOR números : NGO 41054, NGO 41055 y NGO 41055. Ministerio de Economía. Guatemala, C.A.
4. Jorge Raúl Soto Obediente . Diseño de líneas de vapor. Tesis : Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1972. p 50.
5. Richard Greene. Válvulas : selección, uso y mantenimiento. México : Edit. McGRAW HILL. 1990. p 9.
6. Gustavo Adolfo Alvarado Molina. Tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor. Tesis : Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 1986. pp 30-30 y 85.
7. Mario Antonio Tobar Esteban. Recuperación de condensado en serpentines de tanques transportadores de grasa, caso fábrica La Luz, S.A. Tesis : Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 1995. p 53.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Catálogo de reguladores de presión, de temperatura, trampas de vapor, flotes y válvulas de nivel.** WATSON McDANIEL COMPANY. U.S.A.
2. **Documento didáctico - informativo sobre materiales de construcción.** Cementos Progreso, S. A. Guatemala. 1998
3. FIGUEROA Arriaza, Jorge Francisco. **Procedimientos óptimos de curado de elementos de concreto, con vapor a baja presión.** Tesis : Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1982.
4. **Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensado.** Armstrong International, Inc. U.S.A. 1998
5. HARTMANN, Edward H. **Successfully installing TPM.** Edit. Continental Graphics Corporation. U.S.A. 1992
6. Instituto Americano del Concreto (ACI). **Curado acelerado del concreto a presión atmosférica.** Realizado por la comisión ACI 517. U.S.A. 1987.
7. IXOLÍN Barrios, Julio César. **Sistemas informáticos para la automatización de programas de mantenimiento preventivo.** Tesis : Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1,995.
8. JENNINGS, Burgess. **Aire Acondicionado y Refrigeración.** 18ava. Publicación en español. México : Edit. Compañía Editorial Continental, S.A de C.V.
9. KERN, Donald. **Procesos de Transferencia de Calor.** 10ma. publicación en español. México : Edit. CECSA.

## APÉNDICE

Tabla XIX Especificaciones del regulador de temperatura serie 150 Y 150T

### 1/2" - 2" with Screwed Ends

Size	Max Oper Press	A	B	C	Ship Wt. (lbs)	Cv
1/2"	250 psi	3 7/8"	2"	14 1/4"	13	6.0
3/4"	250 psi	3 7/8"	2"	14 1/4"	13	7.0
1"	200 psi	4 1/4"	2 1/8"	14 1/2"	14	11.0
1 1/4"	200 psi	4 1/2"	2 1/4"	14 3/4"	15	15.0
1 1/2"	200 psi	5 1/2"	2 1/2"	14 3/4"	18	20.0
2"	150 psi	7 3/8"	3 3/4"	16 1/2"	40	30.0

### 2" - 4" with Flanged Ends

Size	Max Oper Press	A		B	C	Ship Wt. (lbs)	Cv
		125-lb	250-lb				
2"	150 psi	9 7/8"	11 1/16"	3"	15 1/2"	46	30.0
2 1/2"	150 psi	9 7/8"	11 7/16"	3 1/4"	20 1/2"	78	45.0
3"	150 psi	10 1/4"	11"	5 1/2"	32 1/2"	125	62.0
4"	150 psi	13"	13 3/8"	6 1/2"	34 1/2"	185	105.0

Especificaciones del regulador de temperatura serie 152 Y 152T

### 1/2" - 2" with Screwed Ends

Size	Max Oper Press	A	B	C	Ship Wt. (lbs)	Cv
*1/2"	250 psi	3 1/4"	1 1/2"	14 1/4"	12	0.8
**1/2"	200 psi	3 1/4"	1 1/2"	14 1/4"	12	1.5
1/2"	125 psi	3 1/4"	1 1/2"	14 1/4"	12	2.4
3/4"	125 psi	3 1/4"	1 1/2"	14 1/4"	12	2.8
1"	60 psi	4 3/8"	1 7/8"	14 1/2"	13	5.5
1 1/4"	50 psi	5"	2 1/4"	14 3/4"	15	9.5
1 1/2"	25 psi	5 3/8"	2 1/2"	15 1/4"	16	14.0
2"	15 psi	6 1/2"	2 3/4"	16 1/2"	24	20.0

### 2" with Flanged Ends

Size	Max Oper Press	A		B	C	Ship Wt. (lbs)	Cv
		125-lb	250-lb				
2"	15 psi	7"	7 1/2"	2 1/4"	16 1/2"	40	20.0

(continuación de tabla XIX)

Especificaciones del regulador de temperatura serie 175 Y 175T

1/2" – 2" with Screwed Ends

Size	Max Oper Press	A	B	C	Ship Wt. (lbs)	Cv
1/2"	250 psig	4 1/8"	2 3/8"	13 1/2"	14	2.5
3/4"	250 psig	4 1/8"	2 3/8"	13 1/2"	14	4.5
1"	200 psig	4 1/8"	2 3/8"	13 1/2"	14	9.0
1 1/4"	200 psig	4 13/16"	3 1/4"	14"	17	13.0
1 1/2"	200 psig	5 1/16"	3 1/2"	14 1/2"	18	19.0
2"	150 psig	9 1/2"	5 3/4"	15 1/4"	50	27.0

2" – 5" with Flanged Ends

Size	Max Oper Press	A		B	C	Ship Wt. (lbs)	Cv
		125-lb	250-lb				
2"	50 psig	10 7/8"	10 7/8"	5 3/4"	15 1/4"	80	27.0
2 1/2"	50 psig	10 7/8"	11 1/4"	7"	24"	96	42.0
3"	50 psig	10 7/8"	11 7/8"	8"	25"	110	55.0
4"	50 psig	12 1/2"	13 1/8"	8 3/4"	26"	160	70.0
5"	50 psig	13 1/8"	14"	10"	27"	200	90.0

Obtenida del manual de Watson McDaniel Company

Tabla XX Capacidades de la válvula reductora de presión serie "D" operada por piloto

Inlet Steam Pressure (psig)	Outlet Steam Pressure (psig)	Series "D" Valve Size									
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	6"
<b>Cv Factors</b>		3.8	6.7	11	15	21	37	55	71	113	241
5"	0	85	150	250	350	500	800	1200	1600	2600	5500
	2	80	140	230	310	440	770	1100	1500	2400	5100
7"	0	115	200	325	450	600	1100	1650	2100	3600	7800
	2	105	180	300	400	575	1000	1500	2000	3100	6700
	3	90	160	275	375	525	900	1300	1800	2800	6000
10"	0	150	260	425	575	850	1500	2200	2800	4600	9900
	2	140	240	400	550	800	1400	2100	2700	4300	9100
	5	100	175	300	400	600	1000	1600	2000	3200	6900
12"	0	160	280	475	600	900	1600	2400	3100	4900	10300
	4	140	240	400	550	800	1400	2100	2700	4300	9100
	7	125	200	375	500	700	1200	1900	2400	3800	8200
15"	3	190	325	550	750	1000	1800	2700	3500	5600	12000
	5	175	300	500	700	900	1700	2500	3200	5200	11100
	8	140	250	400	500	800	1300	2000	2600	4200	8900
20"	5	210	375	625	850	1200	2100	3100	4000	6400	13700
	10	190	325	550	750	1000	1800	2700	3500	5600	12000
	12	170	300	500	675	950	1600	2500	3200	5100	10800
25"	7	250	450	775	1050	1500	2600	3800	5000	7900	16900
	10	225	425	700	975	1300	2400	3600	4600	7300	15600
	15	200	350	600	800	1100	2000	3000	3900	6200	13200
30"	12	275	500	800	1100	1500	2700	4100	5200	8300	17800
	15	250	450	750	1000	1400	2500	3800	4900	7800	16600
	20	225	375	650	850	1200	2100	3200	4100	6500	14000
40"	18	350	600	1000	1350	1900	3300	5000	6400	10300	21900
	25	300	500	850	1150	1600	2800	4200	5400	8700	18500
	30	250	425	700	1000	1400	2500	3700	4700	7600	16100
50"	20	400	700	1200	1650	2300	4100	6000	7800	12400	26500
	30	350	650	1100	1500	2000	3600	5400	6900	11000	23600
	40	275	500	800	1100	1500	2700	4100	5200	8300	17800
60"	30	475	850	1350	1900	2600	4600	6900	8900	14200	30300
	35	425	775	1250	1700	2400	4300	6400	8200	13100	27900
	50	300	525	850	1200	1600	2900	4300	5600	8900	19000
75"	35	575	1000	1650	2300	3200	5600	8300	10800	17200	36600
	50	475	825	1350	1900	2600	4600	6900	8900	14100	30100
	60	400	700	1150	1600	2200	3900	5800	7400	11800	25200
90"	45	675	1200	1950	2700	3700	6600	9800	12700	20200	43100
	60	575	1000	1700	2300	3200	5700	8500	10900	17400	37100
	75	425	750	1200	1700	2300	4100	6100	7900	12600	27000
100"	50	750	1300	2100	3000	4100	7300	10800	14000	22200	47500
	60	700	1200	2000	2700	3800	6700	10000	12900	20500	43800
	80	500	875	1400	1900	2700	4800	7100	9200	14700	31300
125"	60	925	1650	2700	3700	5200	9100	14000	17500	28000	59500
	75	825	1475	2400	3300	4600	8200	12200	15700	25000	53500
	100	625	1100	1800	2500	3500	6200	9200	11900	19000	40400
150"	75	1100	1900	3100	4300	6000	10600	15800	20400	32400	69100
	100	925	1600	2700	3600	5100	9000	13400	17400	27700	59000
	125	650	1150	1900	2600	3600	6400	9500	12300	19600	41900
175"	85	1275	2250	3700	5000	7100	12500	18600	24000	38200	81400
	125	1000	1800	2900	4000	5600	9900	14700	18900	30100	64300
	150	750	1300	2100	2900	4100	7300	10800	14000	22200	47500
200"	100	1450	2500	4200	5700	8000	14100	21000	27100	43100	92000
	125	1300	2300	3700	5100	7100	12600	18700	24100	38400	81900
	150	1075	1900	3100	4300	6000	10600	15700	20300	32300	68900
225"	120	1575	2800	4600	6200	8700	15400	22900	29500	47000	100200
	150	1450	2500	4200	5700	8000	14100	21000	27200	43300	92300
	175	1350	2400	3900	5300	7400	13100	19500	25200	40100	85500
250"	130	1750	3100	5100	6900	9700	17100	25500	32900	53400	111800
	150	1650	2900	4700	6500	9100	16000	23800	30800	49000	104600
	200	1200	2100	3500	4800	6700	11900	17600	22800	36200	77300

Obtenida del manual de WATSON McDANIEL COMPANY

Tabla XXI Dimensiones y pesos de la válvula reguladora de temperatura tipo "DT" operada por piloto

SIZE	FACE-TO-FACE			A	B	C	D	E	WEIGHTS (lbs)			
	SCREWED	FLANGED							Ø	SCR.	FLANGED	
		125 lbs	250 lbs								125#	250#
1/2"	5 1/4"			6 1/4"	5 1/4"	7 1/2"	5 1/4"	1/2"	24			
3/4"	5 1/2"			6 1/4"	5 1/4"	7 1/2"	6 1/2"	1/2"	27			
1"	6 1/4"			6 1/4"	6 1/4"	7 1/2"	7"	1/2"	31			
1 1/4"	8 1/2"			7 1/4"	7"	7 1/2"	8 1/4"	1/2"	56			
1 1/2"	9 1/2"			7 1/4"	7 1/4"	7 1/2"	8 1/4"	1/2"	62			
2"	9 1/4"	9 1/2"	9 1/4"	8 1/4"	7 1/4"	8 1/4"	10 1/4"	1 1/4"	85	90	106	
2 1/2"		10"	10 1/4"	8 1/4"	8 1/4"	8 1/4"	11 1/4"	1 1/4"		110	125	
3"		11"	11 1/4"	9 1/4"	9 1/4"	8 1/4"	13 1/4"	1 1/4"		150	170	
4"		13 1/4"	13 1/4"	10 1/4"	10 1/4"	8 1/4"	14 1/4"	1 1/4"		255	285	
6"		18 1/4"	19"	11 1/4"	16"	8 1/4"	19 1/4"	2 1/4"		555	595	

\* Diaphragm Plate Setting Dimension, given for maintenance purposes only. It's measured from the metal face of body to the top of the diaphragm plate.

Dimensiones y pesos de la válvula reguladora de temperatura y presión tipo "DPT" operada por piloto

SIZE	FACE-TO-FACE			A	B	C	D	E	WEIGHTS (lbs)			
	SCREWED	FLANGED							Ø	SCR.	FLANGED	
		125 lbs	250 lbs								125#	250#
1/2"	5 1/4"			11 1/2"	5 1/4"	13 1/2"	5 1/4"	1/2"	37			
3/4"	5 1/2"			11 1/4"	5 1/4"	13 1/2"	6 1/2"	1/2"	40			
1"	6 1/4"			12"	6 1/4"	13 1/2"	7"	1/2"	44			
1 1/4"	8 1/2"			12 1/2"	7"	14 1/4"	8 1/4"	1/2"	53			
1 1/2"	9 1/2"			13"	7 1/4"	14 1/4"	8 1/4"	1/2"	75			
2"	9 1/4"	9 1/2"	9 1/4"	13 1/2"	7 1/4"	15 1/4"	10 1/4"	1 1/4"	98	103	113	
2 1/2"		10"	10 1/4"	14"	8 1/4"	15 1/4"	11 1/4"	1 1/4"		123	138	
3"		11"	11 1/4"	14 1/2"	9 1/4"	15 1/4"	13 1/4"	1 1/4"		163	183	
4"		13 1/4"	13 1/4"	15 1/2"	10 1/4"	15 1/4"	14 1/4"	1 1/4"		268	298	
6"		18 1/4"	19"	16 1/2"	16"	15 1/2"	19 1/4"	2 1/4"		568	608	

Obtenida del manual de WATSON McDANIEL COMPANY