



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS**

**Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.**

**El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.**

**Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.**

**Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.**

**Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.**

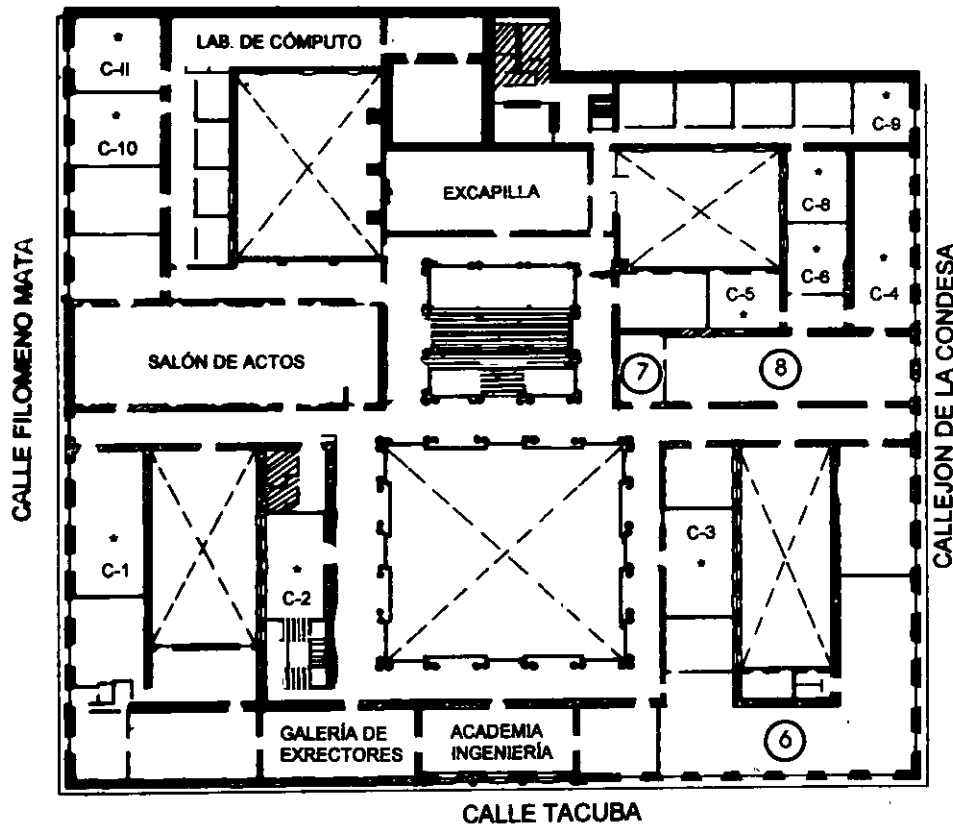
**Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.**

**Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.**

**Atentamente**

**División de Educación Continua.**

# PALACIO DE MINERÍA



## GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
  2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
  3. LIBRERÍA UNAM
  4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
  5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
  6. OFICINAS GENERALES
  7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
  8. SALA DE DESCANSO
- SANITARIOS
- \* AULAS

**1er. PISO**

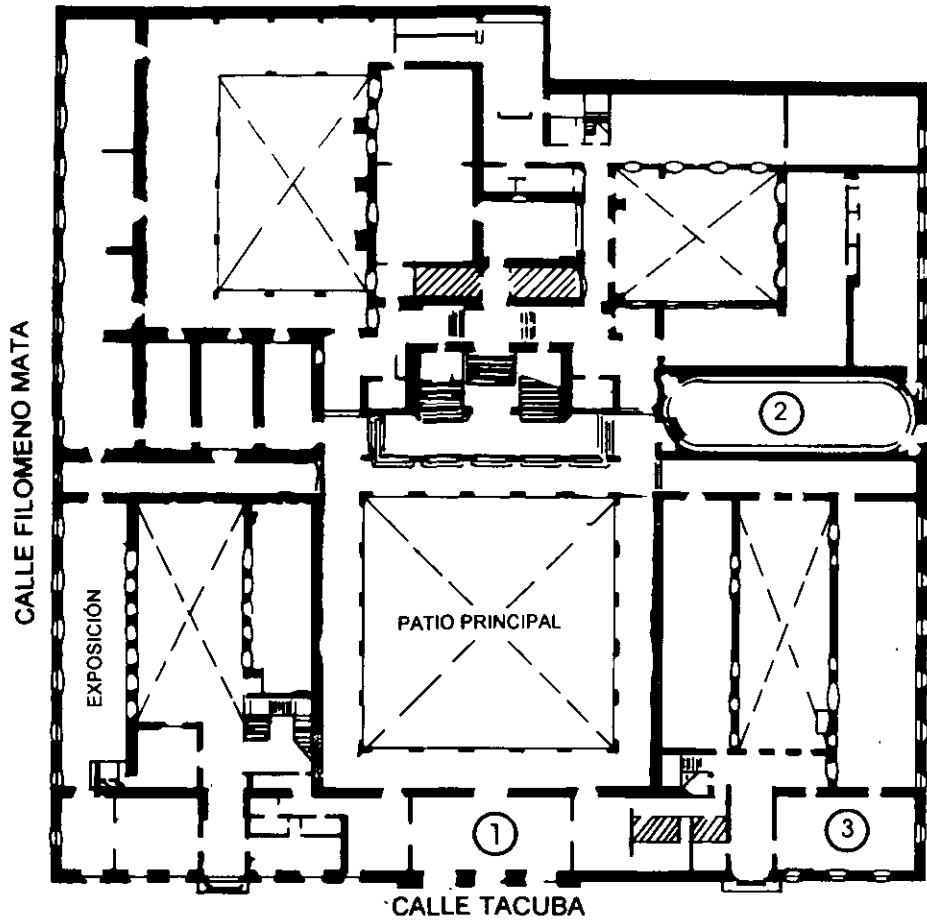


DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.  
CURSOS ABIERTOS

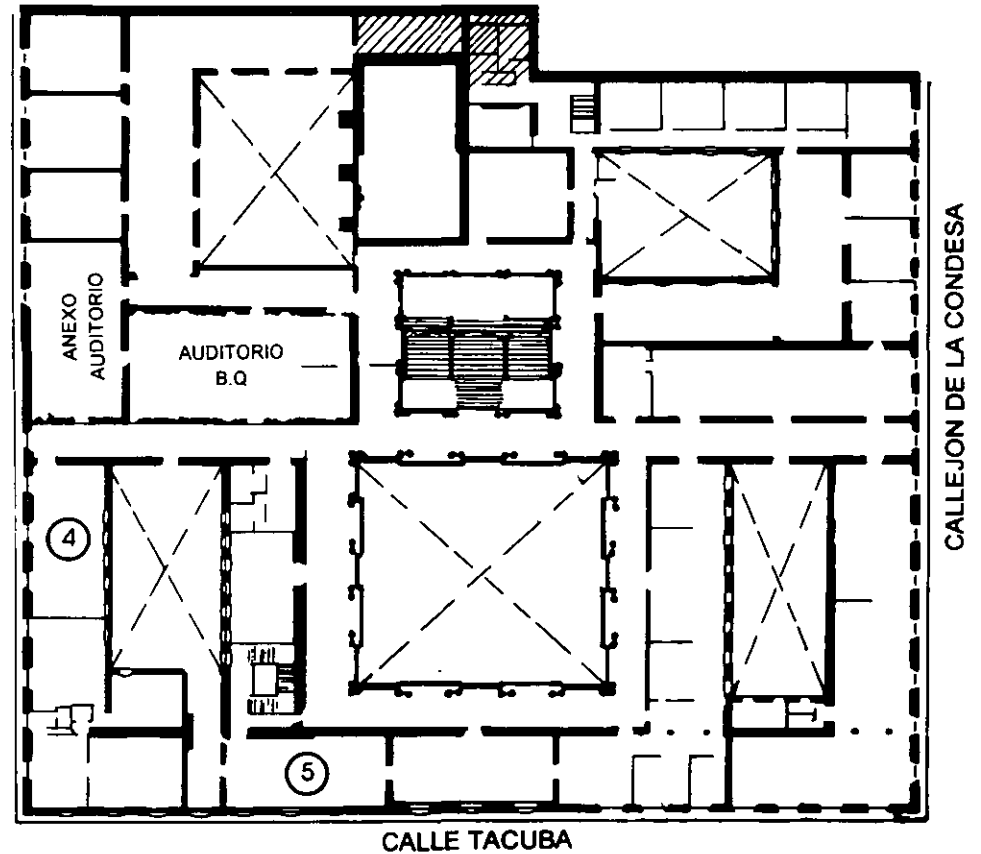
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



# PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



MEZZANINNE



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

**MÓDULO II: MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS DE  
POTENCIA**

**TEMA:**

**CALDERAS DE POTENCIA I, II Y III**

**ING. ALBERTO PLAUNCHÚ LIMA  
PALACIO DE MINERÍA  
ENERO – FEBRERO 2000**





**COLEGIO DE INGENIEROS MECÁNICOS Y ELECTRICISTAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA-U.N.A.M.**

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**DIPLOMADO  
INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN**

**CALDERAS DE POTENCIA**

**MÓDULO II  
INGENIERÍA DE CALDERAS**

**INSTRUCTORES**

**ALBERTO PLAUCHU L.**

## **Calderas de Potencia (ASME Sec. I)**

***Expositor:* Ing. Alberto Plauchú Lima**

# CALDERAS, COMBUSTIBLES Y COMBUSTION

El empleo de vapor como fuerza motriz, se remota a muchos años atrás, los primeros registros con que se cuenta datan del siglo I a C. Sin embargo estos fueron intentos aislados, no siendo hasta a principios del siglo XVIII cuando se inicia formalmente la utilización del vapor en forma generalizada. Las primeras calderas que se emplean fueron las del tipo tetera (Shell), un gran recipiente relleno de agua y calentada en su parte inferior, de forma simultanea surgieron las primeras calderas de tubos de humo. Por las características del diseño (calentamiento directo de los recipientes a presión, que contenían grandes volúmenes de agua en condiciones de vapor saturado) estas primeras calderas estuvieron sujetas a explosiones y accidentes, habiendo puesto en riesgo el desarrollo industrial de la época.

A raíz de esa problemática se buscó el diseño que pudiera otorgar seguridad a la operación de las calderas. Se buscaba desarrollar un diseño de caldera que tuviera la mayor parte de la superficie de calentamiento formado por tubos, los cuales transportaran y permitieran el calentamiento de un volumen de agua menor, produciendo con esto menos presiones y evitando consecuentemente las roturas frecuentes de aquellas partes sometidas a presiones elevadas. Stephen Wilcox introdujo en 1856 una modificación sustancial al diseño tradicional ya descrito, las características básicas de su desarrollo permitían una mejor circulación de agua y una mayor superficie de calentamiento, logrando con ello tener una caldera inherentemente segura.

A partir de entonces se sucedieron una serie de cambios y mejoras, basadas en una utilización generalizada de las calderas en diversos procesos de

# DIPLOMADO DE INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN

INSTRUCTORES:  
ALBERTO PLAUCHU L.

## MÓDULO II. INGENIERÍA DE CALDERAS

### PARTE 1 - CALDERAS DE POTENCIA.

#### A. GENERALIDADES.

- \* FUNCIÓN DEL GENERADOR - CLASIFICACIÓN - CAPACIDAD - EFICIENCIA - DISPONIBILIDAD - CONTROL.

#### B. COMPONENTES DE UNA CALDERA.

- \* DOMOS - CABEZALES - PAREDES - ECONOMIZADORES - SOBRECALENTADORES - ATEMPERADORES - CUBIERTAS - CAJAS DE AIRE Y DUCTOS - CALENTADORES DE AIRE - VENTILADORES - QUEMADORES - CHIMENEAS - ESTRUCTURA.

#### C. CIRCULACIÓN.

- \* CONCEPTOS BÁSICOS - TIPOS DE CIRCULACIÓN - RANGOS DE APLICACIÓN.

#### D. DISEÑO TÉRMICO.

- \* CONCEPTOS BÁSICOS - MODOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR . ABSORCIÓN EN DIFERENTES COMPONENTES - BALANCE TÉRMICO EN UNA CALDERA.

#### E. ESPECIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CALDERAS.

- \* PROBLEMAS CON CALDERAS EN SERVICIO - CAUSAS DE ESPECIFICACIÓN DEFICIENTE - ¿QUIÉNES INTERVIENEN? - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UNA ESPECIFICACIÓN - ALGUNAS SOLUCIONES.

#### F. CÓDIGO ASME DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN.

- \* SECCIÓN I - CALDERAS DE POTENCIA - INTRODUCCIÓN - FILOSOFÍA DEL CÓDIGO - ESTRUCTURA DE LA SECCIÓN I - RELACIÓN CON OTRAS SECCIONES Y CÓDIGOS - DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA - CONCEPTO "CONSTRUIDO A CÓDIGO"

#### G. USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN CALDERAS.

- \* FUNDAMENTOS DE ADMINISTRACIÓN - DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN LA GENERACIÓN DE VAPOR - GENERACIÓN EFICIENTE DE VAPOR - INFLUENCIA DEL CONTROL EN LA EFICIENCIA - MÉTODOS DE CÁLCULO DE EFICIENCIA - CONCLUSIONES.

producción industrial. Como ejemplo consideramos una caldera típica de finales del siglo XIX, la cual quemaba como combustible carbón, con una cantidad máxima de combustible quemado de 120 kg por m<sup>2</sup> de parrilla por hora, con una superficie de calefacción de 84 m<sup>2</sup> y con un rendimiento de 50%

Cien años después y gracias a la experiencia adquirida en diseño, fabricación y operación se cuenta con calderas de gran confiabilidad. Tanto es el desarrollo que se ha alcanzado con la utilización de las calderas, que se tiene un amplio espectro del tamaño de ellas para diferentes usos, disponiéndose desde la pequeña usada para la calefacción casera, hasta las enormes usadas para la producción de energía eléctrica.

Como ejemplo de una caldera actual, mencionaremos algunas características de una caldera usada por CFE para generar 300 MW de energía eléctrica. Esta quema combustóleo a razón de 80 ton por hora, a plena carga con 16 quemadores dispuestos en 4 niveles en forma tangencial, produce 975 ton de vapor sobrecalentado, posee una superficie de calefacción de 23,125 m<sup>2</sup> y operan con eficiencias de alrededor del 89%. En los más de 100 años transcurridos desde la modificación realizada por Wilcox, los conocimientos sobre el vapor y el agua han aumentado grandemente, sus propiedades han sido determinadas y tabuladas adecuadamente, se han obtenido nuevos conocimientos de transmisión de calor, flujo de fluidos y circulación de agua-vapor, así como medios para quemar grandes cantidades de combustibles y procesar los subproductos de la combustión con equipos de control de emisiones. Se han fabricado aceros y aleaciones más fuertes y consistentes en sus propiedades, los métodos de fabricación de tuberías y recipientes son más avanzados; además se han adoptado códigos y normas para regular el diseño, fabricación e inspección de todas aquellas partes sujetas a presión.

Si bien es cierto que se han tenido grandes avances tecnológicos, por otro lado han surgido limitantes muy importantes para el empleo indiscriminado de calderas o de cualquier equipo de combustión, como son:

- Los altos índices de contaminación atmosférica, sobre todo en las zonas de alta concentración industrial y
- Los altos costos de los combustibles

Esas dos características obligan a pensar en la necesidad de implementar programas de ahorro o uso racional de energía, ya que a través de un programa de estos, se abaten tanto los altos costos como los altos índices de contaminación.

Dentro de estos programas se analizan puntos como los siguientes.

- El uso adecuado de los equipos; determinar las condiciones adecuadas de trabajo de acuerdo al diseño (presión de trabajo, temperatura de trabajo, máxima eficiencia o la capacidad mas cercana a la requerida, etc), programas de mantenimiento, supervisión adecuada, etc.
- El uso racional de la energía asociada a los equipos, evitar pérdidas innecesarias (fugas de calor, fugas de vapor, etc.), aprovechar el calor de desperdicio o rechazo (utilizar la alta temperatura en los gases de combustión), optimizar la combustión (carburación de los sistemas de combustión) etc.

En lo relativo a equipos de combustión, se analizarán la mayoría de los puntos mencionados, iniciando por las calderas, como equipos de principal importancia en la mayoría de los procesos industriales.

---

## 1.1 TIPOS DE CALDERAS Y SUS CARACTERISTICAS

### *Definición 1*

Una caldera es un recipiente cerrado en el cual se calienta agua, se genera vapor o se sobrecalienta, bajo presión o vacío, mediante la aplicación de calor proveniente de la combustión de combustibles, electricidad o energía nuclear.

## ***Definición 2***

Una caldera es un sistema sujeto a presión que transfiere calor. Este calor se obtiene de una mezcla de aire - combustible para producir vapor y/o agua caliente.

Las calderas se subdividen generalmente y de acuerdo a su utilización, en cuatro tipos clásicos.

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Generación de energía eléctrica (o de potencia)

Para efectos de este curso, nos limitamos a las calderas que transfieren calor proveniente de la combustión de diversos combustibles y para uso industrial

En términos más generales, las calderas se dividen en pirotubulares y acuotubulares, dependiendo de si los tubos contienen los gases de combustión o el agua:

---

### ***1.1.1 CALDERAS PIROTUBULARES***

En estas calderas los gases de la combustión son obligados a pasar por el interior de unos tubos, que se encuentran sumergidos en la masa de agua. Todo el conjunto, agua y tubos de gases, se encuentra rodeado por una carcasa exterior. Los gases calientes, al circular por los tubos, ceden calor sensible, el cual se transmite a través de los tubos, al agua

Estas calderas tienen una presión de trabajo que no excede normalmente de  $20 \text{ kg/cm}^2$ , ya que presiones más altas obligarían a espesores de la carcasa demasiado grandes. Su producción de vapor máxima se encuentra alrededor de 25t/h.

En el contexto de este curso se estudiarán dos tipos de calderas pirotubulares para combustibles líquidos y gaseosos:

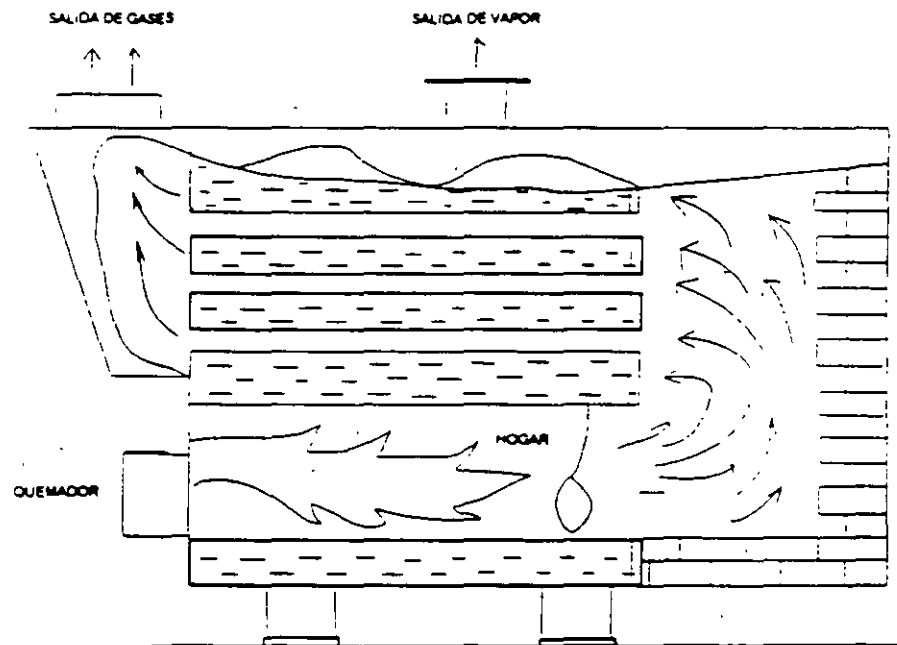
- Calderas de hogar integral
- Calderas compactas con tubo hogar

### Calderas Pirotubulares de Hogar Integral

En la Fig. 1.1 se puede ver el esquema de una caldera de este tipo, en el cual se puede ver el tipo de flama que se produce y el paso de los gases de combustión por los tubos en los cuales se lleva a cabo el intercambio de calor. Como se observa, el hogar y los tubos forman una sola unidad.

Comúnmente estas calderas se fabrican en el sitio de operación con material cerámico aislante de alta temperatura.

**FIG. 1.1: ESQUEMA DE CALDERA PIROTUBULAR DE HOGAR INTEGRAL**





---

## Caldera Pirotubular Compacta con Tubo Hogar

El diseño de estas calderas muestra un tubo central sumergido en el agua, el cual hace de hogar. Los gases de combustión ceden calor a este tubo por radiación. Posteriormente son obligados a pasar por los tubos, los cuales están sumergidos en agua, al igual que en todas las calderas pirotubulares.

Estas calderas tienen las siguientes ventajas:

1. Capacidad de soportar fluctuaciones de carga bruscas y grandes, produciéndose sólo ligeras variaciones en la presión debido a la gran cantidad de agua almacenada.
2. Bajo costo inicial.
3. Bajo costo de mantenimiento.
4. Simplicidad de instalaciones que sólo exigen la cimentación y las interconexiones de la caldera a las redes de agua, vapor, combustible y electricidad, ya instaladas previamente de la fábrica.

Este tipo de caldera es el de mayor utilización en la industria nacional por las ventajas ya mencionadas, además de que en condiciones adecuadas de operación y mantenimiento pueden trabajar con rendimientos hasta el 90% o más. Generalmente proporcionan vapor a dos niveles, bajo hasta 10.5 kg/cm<sup>2</sup> y alto hasta 20 kg/cm<sup>2</sup>, la producción de vapor alcanza hasta 25 t/h.

A pesar de las ventajas anteriores, las calderas pirotubulares presentan ciertos problemas y limitaciones como son: restricciones en tamaño y capacidad por resistencia de la carcasa, tensiones termicas y peligro de explosión por el efecto combinado de lo anterior y las incrustaciones, así como por otras causas.

Lo anterior ha conducido a la construcción de calderas acuotubulares, en las cuales los gases de combustión pasan por el exterior de tubos que conducen agua, vapor o una mezcla de ambas.

---

## 1.1.2 CALDERAS ACUOTUBULARES

Como ya se mencionó anteriormente, el diseño de estas calderas es totalmente diferente al de las pirotubulares, ya que los gases de combustión circulan por la parte externa de los tubos, mientras que por su interior lo hace el agua, posteriormente agua-vapor y finalmente vapor.

Estas calderas tienen un gran espectro de producción de vapor, la cual puede variar desde una pequeña producción de vapor, calderas compactas, hasta las grandes producciones de vapor, calderas de centrales termoeléctricas, funcionando en condiciones en extremo críticas del vapor. En la industria, comúnmente, se utilizan las calderas de vapor acuotubulares que operan a presiones inferiores a  $64 \text{ kg/cm}^2$  y temperaturas por abajo de  $450^\circ\text{C}$ . Como una clasificación general, se consideran calderas acuotubulares pequeñas y medianas las que tienen capacidades de vaporización desde 3 hasta 100 toneladas/hora, éstas a su vez se clasifican en diferentes tipos.

---

### Calderas Acuotubulares Compactas

Debido a su gran demanda, los fabricantes de calderas más importantes construyen este tipo de calderas, las cuales tienen como característica predominante que se construyen totalmente en los talleres del fabricante y se venden y envían como un paquete al lugar de su utilización. En principio pueden suministrarse para quemar cualquier tipo de combustible (combustóleo, gasóleo, diesel, gas natural o licuado, e inclusive carbón), variando lógicamente con el tipo de combustible las características tanto del hogar como de los sistemas de combustión y sus diferentes accesorios periféricos.

Por la característica ya mencionada anteriormente (paquete en el cual el cierre de los gases suele estar formado por paredes membrana por las que circula el agua o la mezcla agua-vapor) estas calderas requieren poca obra civil para su instalación. Comúnmente los diferentes autores identifican dos tipos de calderas y son:

---

### ***a) De Hogar Integral Pequeñas***

Son calderas con una producción de vapor de hasta 30t/h. El hogar está recubierto de unas paredes membranas. El tiro es forzado y los quemadores van incluidos en la caldera.

Véanse las Figs. 1.2 y 1.3, en donde se muestran calderas de este tipo para diferentes tipos de combustible.

Las calderas compactas de hogar integral pequeñas son recomendables, para los siguientes casos:

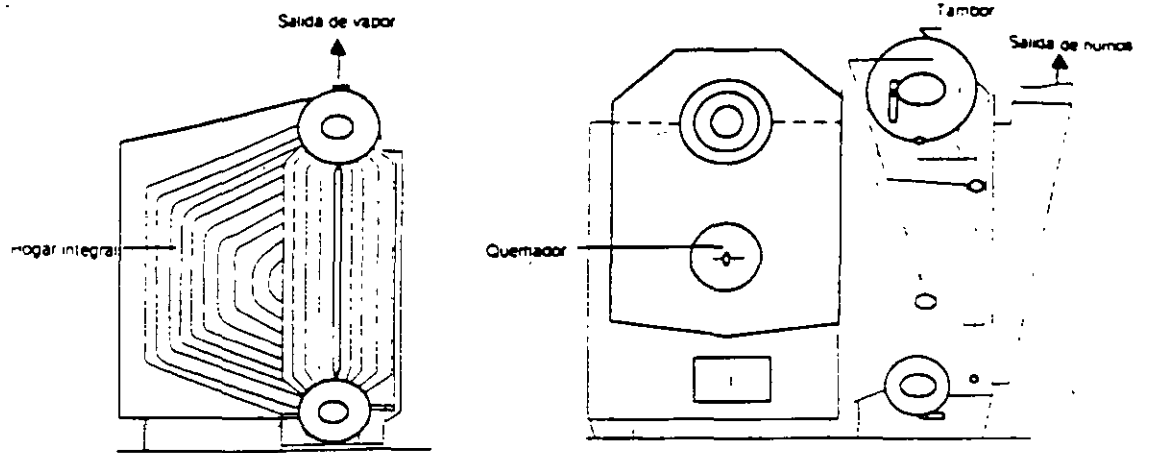
1. Cuando se requiere una rápida instalación.
2. Cuando se dispone de poco espacio.
3. Cuando puede ser necesario el traslado de la caldera a otra localización.
4. Cuando el proceso requiere una mayor presión de vapor que la suministrada por una pirrotubular compacta.

### ***b) De Hogar Integral Grandes***

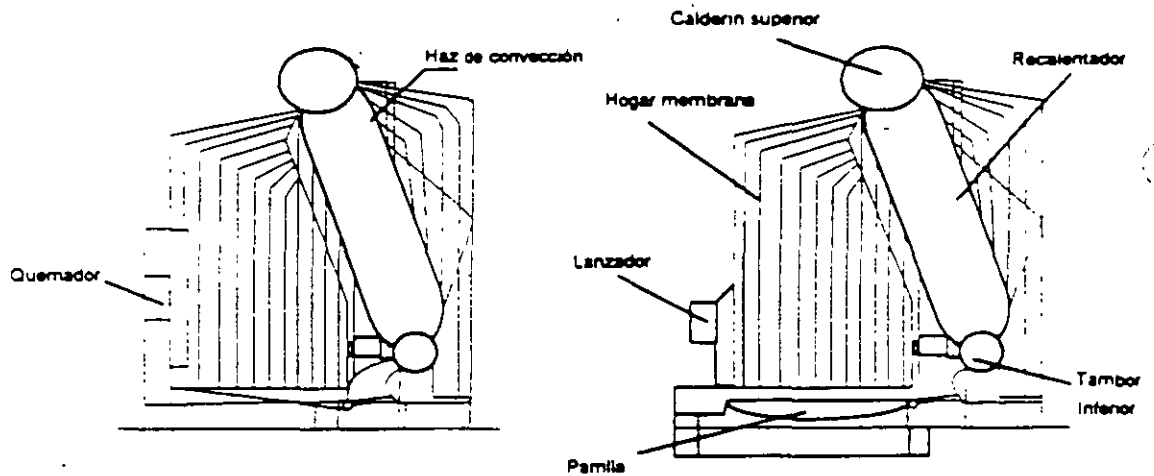
Estas son calderas de mayor producción de vapor, 200t/h; también tienen el hogar recubierto de paredes membrana, son de tiro forzado en su mayoría (puede haber de tiro balanceado).

En las Figs. 1.4 y 1.5 aparecen calderas de este tipo para diferentes combustibles.

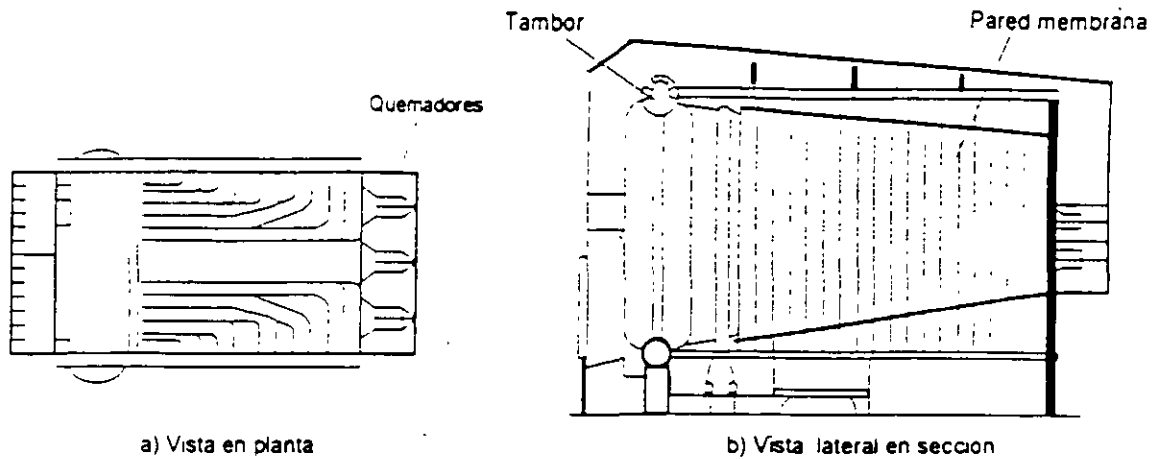
**FIG. 1.2: CALDERA COMPACTA DE HOGAR INTEGRAL PEQUEÑA PARA COMBUSTOLEO O GAS**



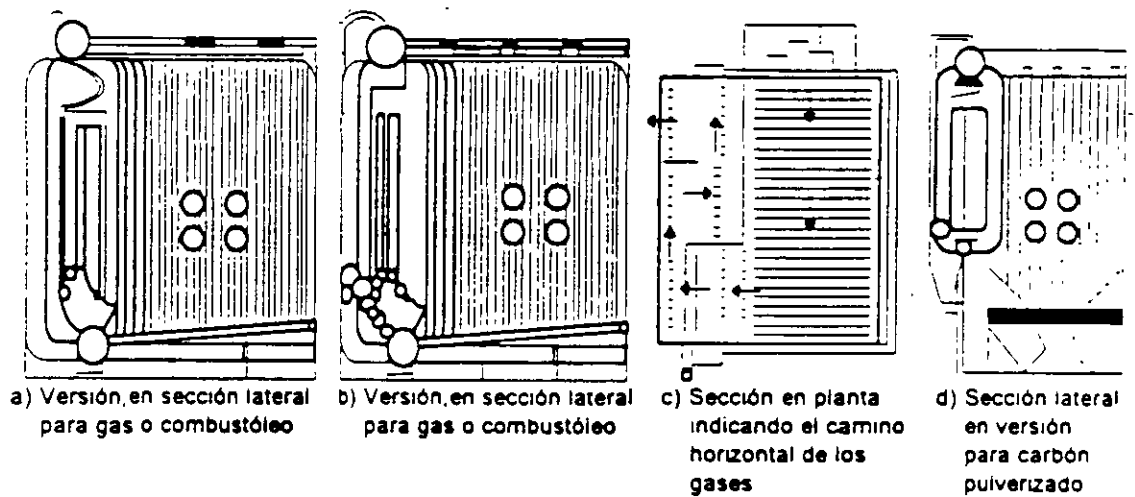
**FIG. 1.3: CALDERA COMPACTA DE HOGAR INTEGRAL PEQUEÑA EN VERSION PARA CARBON Y EN VERSION PARA COMBUSTOLEO O GAS NATURAL**



**FIG. 1.4: CALDERA COMPACTA DE HOGAR INTEGRAL GRANDE PARA COMBUSTOLEO O GAS**



**FIG. 1.5: CALDERA COMPACTA DE HOGAR INTEGRAL GRANDE, VERSION PARA CARBON Y VERSION PARA COMBUSTOLEO O GAS NATURAL**



Las calderas compactas de hogar integral grande son aplicables para los siguientes casos.

1. Producción de vapor requerida para generación de energía o para utilización en proceso

- 2 Cuando las limitaciones de espacio obliguen a la optimización de éste
- 3 Cuando los requerimientos de vapor sean superiores a los de las calderas de hogar integral pequeñas

Existen otros tipos de calderas que no serán analizadas en este curso y sólo se mencionarán

- Calderas Acuotubulares No Compactas
  - Tubos rectos
  - Tubos curvos
- Calderas Acuotubulares de Alta Presión y Alta Temperatura
- Calderas de Lecho Fluidizado
  - Burbujeante
  - Circulante
  - Presurizado

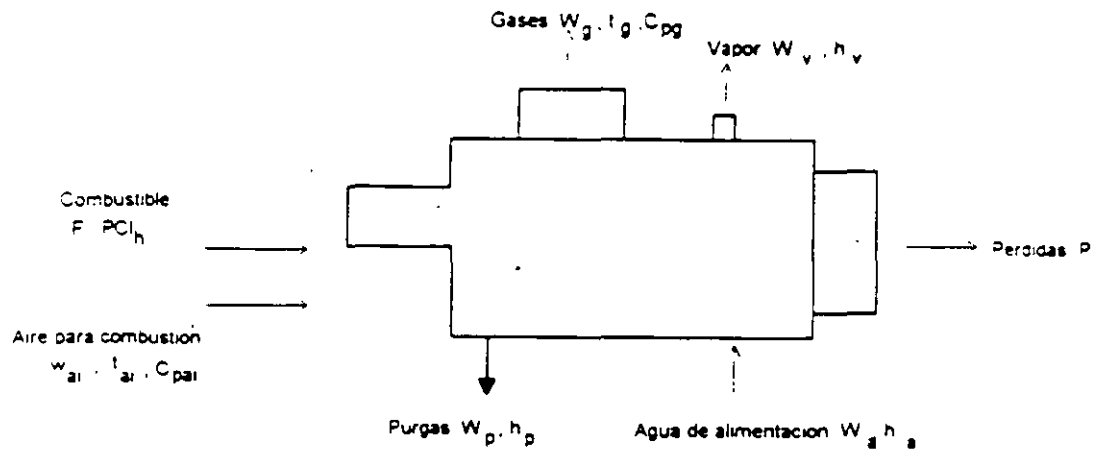
---

### 1.3 RENDIMIENTO DE LAS CALDERAS DE VAPOR

Para conocer como esta funcionando una caldera de vapor y poder tomar acciones encaminadas a una mejor operación y por ende, un funcionamiento más eficiente, se requiere conocer el rendimiento de dicho equipo. Para obtener dicho rendimiento, considerado éste como la relación de calor aprovechado a calor aportado, es necesario realizar balances tanto de masa como de energía.

En la Fig. 1.6 se pueden observar esquemáticamente los diferentes componentes que intervienen en el balance de masa y energía en una caldera

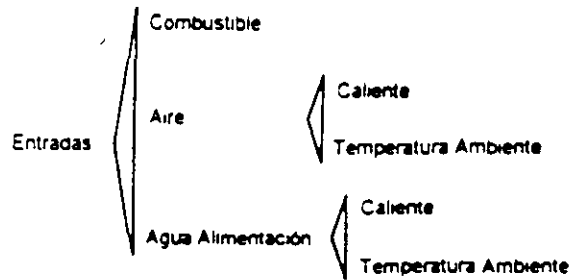
FIG. 1.6: ESQUEMA DE VARIABLES PARA BALANCE DE MASA Y ENERGIA EN UNA CALDERA



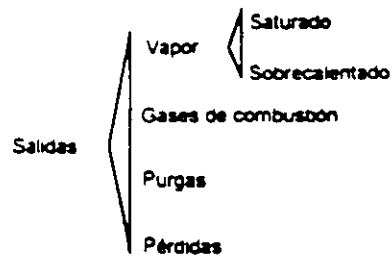
Donde:

$W_a$	=	Flujo de agua de alimentación, kg/h
$h_a$	=	Entalpia de agua de alimentación, kcal/kg
$W_v$	=	Flujo de vapor, kg/h
$h_v$	=	Entalpia de vapor, kcal/kg
$W_p$	=	Flujo de purgas, kg/h
$h_p$	=	Entalpia de agua de purgas, kcal/kg
$F$	=	Flujo de combustible, kg/h
$PCI_h$	=	Poder calorifico inferior del combustible humedo, kcal/kg
$W_{ai}$	=	Flujo de aire de combustión, kg/h
$t_{ai}$	=	Temperatura de aire de combustión, °C
$C_{pai}$	=	Calor especifico del aire, kcal/kg-°C
$W_g$	=	Flujo de gases de combustión, kg/h
$t_g$	=	Temperatura de gases de combustión, °C
$C_{pg}$	=	Calor especifico de los gases, kcal/kg - °C
$P$	=	Pérdidas, kcal/h

Como puede verse las entradas a la caldera son:



mientras que las salidas son.



Si se toma en cuenta que para cada una de las salidas y entradas hay asociada una energía, puede prepararse el siguiente cuadro:

ENTRADAS	FLUJO MASICO	ENERGIA ENTRANTE
Combustible	F	$F \times PCI_h$
Aire	$W_{ai}$	$W_{ai} \times C_{p_{ai}} \times t_{ai}$
Agua	$W_a$	$W_a \times h_a$

Para las salidas el cuadro equivalente es:

SALIDAS	FLUJO MASICO	ENERGIA SALIENTE
Vapor	$W_v$	$W_v \times h_v$
Gases	$W_g$	$W_g \times C_{p_g} \times t_g$
Purgas	$W_p$	$W_p \times h_p$
Pérdidas	-	P



Las pérdidas para los combustibles líquidos o gaseosos son las siguientes

- Pérdidas debidas a la humedad en el combustible
- Pérdidas debidas a la humedad en el aire
- Pérdidas debidas al calor en el vapor de atomización
- Pérdidas en el combustible no quemado, que sale en los gases de combustión (hollín)
- Pérdidas por radiación y convección en superficies exteriores

Para combustibles sólidos son aplicables las pérdidas anteriores más las siguientes.

- Pérdidas por carbón inquemado
- Pérdidas por calor sensible en escorias
- Pérdidas por calor sensible en polvos de los gases
- Pérdidas por calor en reinyectados pulverizados

De los cuadros anteriores y haciendo igual las energías entrantes a las salientes se tiene:

$$(F \cdot PCI_h) + (W_{ai} \cdot C_{p_{ai}} \cdot t_{ai}) + (W_a \cdot h_a) = (W_v \cdot h_v) + (W_g \cdot C_{p_g} \cdot t_g) + (W_p \cdot h_p) + P$$

Como  $W_p = W_a - W_v$ , reorganizando se tiene.

$$F \cdot PCI_h = W_v (h_v - h_p) + W_a (h_p - h_a) + W_g \cdot C_{p_g} \cdot t_g - W_{ai} \cdot C_{p_{ai}} \cdot T_{ai} - P$$

Como en la mayoría de las calderas las purgas son muy pequeñas, la ecuación anterior se puede simplificar por el término siguiente:

$$W_a = W_v$$

Asimismo, recordemos que el caudal de los gases de combustión está formado fundamentalmente por el aire aportado para la combustión, entonces:

$$W_{ai} = W_g$$

Quedando:

$$F \cdot PCI_h = W_v (h_v - h_a) + W_g (Cp_g \cdot t_g - Cp_{ai} \cdot t_{ai}) - P$$

Debido a que los gases de combustión están compuestos por gases triatómicos ( $CO_2$  y  $H_2O$ ), su calor específico es superior al del aire, que está formado por gases diatómicos ( $O_2$ ,  $N_2$ ). La diferencia no llega a ser mayor que un 10%, por lo cual, como una aproximación, puede suponerse que:

$$Cp_{ai} = Cp_g$$

Con lo cual la ecuación anterior resulta.

$$F \cdot PCI_h = W (h_v - h_a) + W_g - Cp_g (t_g - t_{ai}) + P$$

Sin embargo, si se requiere un cálculo más preciso, se puede determinar el calor específico de los gases  $Cp_g$  de la siguiente ecuación

$$Cp_g = \sum_i Cp_i \cdot Y_i$$

Donde:

$$\begin{aligned} Cp_i &= \text{Calor específico del componente } i \text{ en los gases} \\ Y_i &= \text{Fracción volumétrica del componente } i \text{ en los gases} \end{aligned}$$

---

### 1.3.1 CALCULO DE RENDIMIENTO

Dicho cálculo es el resultado de dividir la cantidad de calor asociada al vapor por la liberada en la combustión del combustible. Esta definición no toma en cuenta los calores sensibles aportados por el combustible y el aire comburente, al ser éstos mucho menores y por lo tanto despreciables frente al resto.

Su cálculo se puede realizar por cualquiera de los métodos siguientes

## Método Directo

Se mide la cantidad total de vapor producido, su temperatura y presión, así como la cantidad de combustible consumido. Conocido el  $(PCI)_h$  de dicho combustible, determinar el calor  $Q$  que suministra. Lógicamente, este rendimiento está medido con respecto al  $(PCI)_h$

A partir de estos datos, medidos unos y tabulados otros, se obtiene el rendimiento por medio de las fórmulas siguientes

$$\begin{aligned} Q &= F \cdot (PCI)_h \\ E &= W_v \cdot (h_v - h_a) \cdot 100/Q \end{aligned}$$

Donde

$$E = \text{Rendimiento, \%}$$

## Método Indirecto o de Pérdidas Separadas

Se evalúan las siguientes pérdidas:

1. Pérdidas por calor sensible en los gases de combustión

$$P_1 = G_{FH} \cdot C_{pg}(t_g - t_{ai}) 100/PCI_h$$

Donde

$$\begin{aligned} P_1 &= \text{Pérdidas por calor sensible en los gases (\%)} \\ G_{FH} &= \text{Caudal de gases totales (kg gases/kg comb.)} \\ C_{pg} &= \text{Calor específico medio de los gases (kcal/kg.}^\circ\text{C)} \\ &\quad C_g = M + N \text{ (M y N son coeficientes variables con la} \\ &\quad \text{temperatura)} \\ t_g &= \text{Temperatura de los gases a la salida (}^\circ\text{C)} \\ t_{ai} &= \text{Temperatura del aire a la entrada (}^\circ\text{C)} \\ (PCI)_h &= \text{Poder calorífico inferior húmedo del combustible (kcal/kg)} \end{aligned}$$

## 2 Pérdidas por inquemados

Una expresión semiempírica que funciona bastante bien para los combustibles líquidos y gaseosos industriales es la siguiente

$$P_2 = \left( \frac{21}{21 - [O_2]} \right) \left( \frac{[CO]}{3100} + \frac{[CH]}{1000} + \frac{OP}{65} \right)$$

Donde

$P_2$	=	Pérdida por inquemados, % sobre el $(PCI)_h$
$[O_2]$	=	Contenido de $O_2$ en los gases, %
$[CO]$	=	Concentración de CO en los gases, ppm
$[CH]$	=	Concentración de CH en los gases, ppm
OP	=	Opacidad de los gases, %

## 3 Pérdidas por radiación y otros

Se calcula en tanto por ciento sobre el  $(PCI)_h$  para diferentes capacidades de vaporización. Los valores aproximados que se muestran en la Fig 1 28 son útiles cuando la caldera funciona a su capacidad máxima de vaporización

Si la caldera funciona a cargas parciales, estas pérdidas son casi inversamente proporcionales al valor porcentual de la carga

## 4 Pérdidas totales.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 (\%)$$

El rendimiento de la caldera, en tanto por ciento, se calcula aplicando la ecuación siguiente

$$E = 100 - P$$

---

## Cálculo del Consumo Puntual de Combustible

El consumo puntual de combustible viene dado por.

$$F = \frac{W_v (h_v - h_a) \cdot 100}{E \cdot PCI_h}$$

---

### 1.3.2 PRODUCCIONES DE VAPOR POR UNIDAD DE COMBUSTIBLE

Este concepto, muy utilizado en la industria, es función de gran cantidad de variables, tales como tipo de combustible, presión y temperatura del vapor, temperatura del agua de alimentación a la caldera y todo tipo de rendimiento que afectan a esta transformación. Por tanto, a continuación se da la expresión correspondiente a un caso general:

$$IE_v = \frac{E \cdot PCI_h}{100(h_v - h_a)}$$

Donde

$IE_v$  = Producción de vapor por unidad de combustible:  
(índice energético), kg vapor/kg combustible

## 1.7.2 ASPECTOS ENERGETICOS DE LA COMBUSTION

### Composiciones Seca y Húmeda de Combustibles

#### Definiciones

Para cualquier clase de combustible se denomina composición húmeda a la fracción de combustible que existe de cada uno de sus componentes, incluyendo la humedad como un componente más. Se denomina composición seca a la fracción del combustible seco que existe de cada uno de sus componentes, es decir una vez eliminada la humedad.

#### Combustibles Sólidos y Líquidos

Sea un combustible de composición húmeda:

Carbón	C kg/kg comb
Hidrógeno	H kg/kg comb
Azufre	S kg/kg comb
Nitrogeno	N kg/kg comb
Oxigeno	O kg/kg comb
Humedad	M kg/kg comb
Cenizas	A kg/kg comb

$$C + H + S + N + O + M + A = 1$$

Su composición seca será

Carbón	C' kg/kg comb seco
Hidrógeno	H' kg/kg comb seco
Azufre	S' kg/kg comb seco
Nitrógeno	N' kg/kg comb seco
Oxigeno	O' kg/kg comb seco
Cenizas	A' kg/kg comb seco

$$C' + H' + S' + N' + O' + A' = 1$$

Las relaciones entre las dos composiciones son:

$$\begin{aligned} C &= C' (1 - M) \\ H &= H' (1 - M) \\ S &= S' (1 - M) \\ N &= N' (1 - M) \\ O &= O' (1 - M) \\ A &= A' (1 - M) \end{aligned}$$

### Combustibles Gaseosos

Sea un combustible gaseoso de composición húmeda:

Hidrógeno	:	$H_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Monóxido de carbono	:	$CO \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Sulfuro de hidrógeno	:	$SH_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Diversos hidrocarburos	:	$\Sigma C_m H_n \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Nitrógeno	:	$N_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Bióxido de carbono	:	$CO_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Oxígeno	:	$O_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Agua	:	$H_2O \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$

$$H_2 + CO + SH_2 + N_2 + CO_2 + O_2 + H_2O + \Sigma C_m H_n = 1$$

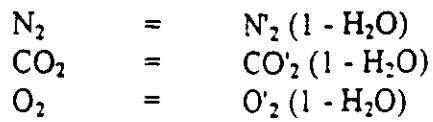
Su composición seca será:

Hidrógeno	:	$H_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Monóxido de carbono	:	$CO \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Sulfuro de hidrógeno	:	$SH_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Diversos hidrocarburos:	:	$\Sigma C_m H_n' \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Nitrógeno	:	$N_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Bióxido de carbono	:	$CO_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Oxígeno	:	$O_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$

$$H_2 + CO' + SH_2' + \Sigma C_m H_n' + N_2' + CO_2' + O_2' = 1$$

Las relaciones entre las dos composiciones son:

$$\begin{aligned} H_2 &= H_2' (1 - H_2O) \\ CO &= CO' (1 - H_2O) \\ SH_2 &= SH_2' (1 - H_2O) \\ \Sigma C_m H_n &= \Sigma C_m H_n' (1 - H_2O) \end{aligned}$$



---

## Poderes Caloríficos de Combustibles

### *Definiciones*

**El poder calorífico superior seco (PCS)**, Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible seco, quedando finalmente el agua formada en la combustión en forma líquida a 0°C y a 1 atm (kcal/unidad comb seco).

**Poder calorífico superior húmedo (PCS)<sub>h</sub>**, Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible quedando finalmente el agua formada en la combustión en forma líquida a 0°C y a 1 atm (kcal/unidad comb)

**Poder calorífico inferior seco (PCI)**, Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible seco, quedando finalmente el agua en forma de vapor (kcal/unidad comb seco)

**Poder calorífico inferior húmedo (PCI)<sub>h</sub>**, Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible, quedando finalmente el agua en la combustión en forma de vapor (kcal/unidad comb).

La diferencia entre el poder calorífico superior y el inferior radica en la entalpía de vaporización del agua.

En el Sistema Internacional (S I.), los poderes caloríficos se expresan en kJ por unidad de combustible (1 kJ = 4 186 kcal).

### *Combustibles Sólidos y Líquidos*

Se pueden aplicar las siguientes fórmulas aproximadas:



$$(PCS)_s = 8,100 C' + 34,200 (H' - O'/8) + 2,500 S' \text{ kcal/kg comb seco}$$

$$(PCS)_h = 8,100 C + 34,200 (H - O/8) + 2,500S \text{ kcal/kg comb}$$

$$(PCS)_h = (PCS)_s (1 - M)$$

$$(PCI)_s = 8,100C' + 34,200 (H'-O'/8) + 2,500S' - 5,400 H' \text{ kcal/kg comb seco}$$

$$(PCI)_h = 8,100C + 34,200(H-O/8) + 2,500S - 600M - 5,400H \text{ kcal/kg de comb}$$

$$(PCI)_h = (PCI)_s (1 - M) - 600M \text{ kcal/kg comb}$$

### Combustibles Gaseosos

Se pueden aplicar las siguientes fórmulas aproximadas:

$$(PCS)_s = 3,050H'_2 + 3,020CO' + 6,070SH'_2 + 9,500CH'_4 + 16,810C_2H'_6 + 24,300C_3H'_8 + 31,610C_4H'_{10} + 37,780C_5H'_{12} + 15,140C_2H'_4 + 14,060C_2H'_2 + 35,190C_6H'_6 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ comb seco}$$

$$(PCS)_h = (PCS)_s (1 - H_2O) + 482 H_2O \text{ kcal/Nm}^3 \text{ comb}$$

$$(PCI)_s = 2,570H'_2 + 3,020CO' + 5,590SH'_2 + 8,535CH'_4 + 15,365C_2H'_6 + 22,370C_3H'_8 + 29,200C_4H'_{10} + 34,890C_5H'_{12} + 14,176C_2H'_4 + 13,580C_2H'_2 + 33,740C_6H'_6 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ comb seco}$$

$$(PCI)_h = (PCI)_s (1 - H_2O) \text{ kcal/Nm}^3 \text{ comb}$$

Si  $Q_{is} = 0$  y  $Q_{CH} = 0$  (caso aproximado de combustión de gases):

### Pérdidas por Calor Sensible de los Gases

Los gases de combustión poseen un cierto contenido energético, el cual es fundamental cuantificar, para posteriormente llevar a cabo las medidas pertinentes para evitar tal situación o aprovechar la energía existente en ellos.

Las pérdidas por calor sensible de los gases de combustión, se pueden expresar, referidas a los gases de salida, o bien al combustible de alimentación:

- Pérdidas referidas a los gases.  
Pérdidas =  $W_g \times C_{p_g} \times (t_g - t_{ai})$ ,
- Pérdidas referidas al combustible:  
 $P_1 = G_{FH} \times C_{p_g} \times (t_g - t_{ai})$

Donde

$P_1$	Pérdidas por calor sensible en los gases (kcal/kg comb)
$G_{FH}$	Flujo de gases totales (kg gases/kg comb)
$C_{p_g}$	Calor específico medio de los gases (kcal/kg gases $^{\circ}$ C)
$t_g$	Temperatura de los gases a la salida ( $^{\circ}$ C)
$t_{ai}$	Temperatura del aire a la entrada ( $^{\circ}$ C)

La expresión anterior se puede transformar en:

$$P_1 = \frac{G_{FH} \times C_{p_g} \times (t_g - t_{ai})}{PCI_h} \times 100 [=] \% \text{ sobre la energía suministrada}$$

Para el cálculo de la pérdida  $P_1$ , de los combustibles sólidos o líquidos, se puede utilizar la expresión anteriormente indicada o bien, aproximadamente, la fórmula de Sieggert:

$$P_1 = K \frac{t_g - t_{ai}}{CO_2 + SO_2} [=] \% \text{ sobre la energía suministrada}$$

Donde:

$(CO_2 + SO_2)$  Suma de las concentraciones de  $CO_2$  y  $SO_2$  en los humos secos (%).

El valor de K para aplicar en esta expresión viene dado por la siguiente tabla aproximada:

Hulla	K	=	0.63
Antracita	K	=	0.68
Diesel	K	=	0.59
Combustóleo	K	=	0.56

### *Pérdidas por Inquemados*

Las pérdidas por inquemados se pueden calcular aproximadamente por la siguiente expresión:

$$P_2 [\%] = \frac{21}{21 - (O_2)} \times \left( \frac{CO}{3,100} + \frac{CH}{1,000} + \frac{OP}{65} \right)$$

Donde:

$P_2$	Pérdidas por inquemados (% sobre la energía suministrada)
$O_2$	% de $O_2$ en los gases
CO	ppm de CO en los gases
CH	ppm de C.H. en los gases (hidrocarburos)
OP	opacidad de los gases (%)

### **Pérdidas por Radiación y Otras**

Estas pérdidas hay que calcularlas en tanto por ciento sobre la energía suministrada, para diferentes capacidades de vaporización. A continuación se da una tabla aproximada, útil para cuando la caldera funciona a su capacidad máxima de vaporización (Fig. 1.28).

**FIG. 1.28: PERDIDAS POR RADIACION EN FUNCION DE LA CAPACIDAD MAXIMA DE VAPORIZACION**

Vaporización máxima (t/h)	10	50	100
$P_3$ (% de pérdidas)	2.2	1.75	1.5

Cuando la caldera funciona a cargas parciales las pérdidas por radiación y otros (en %) son, de forma aproximada, inversamente proporcionales al porcentaje de carga.

### **A. Rendimiento de la Combustión**

La curva de rendimiento de la combustión y, por tanto, del rendimiento de una caldera, presenta en cada momento un punto máximo A (ver Fig. 1.35) que corresponde a un determinado exceso de aire. Si en estas condiciones este exceso de aire se redujera, el rendimiento se haría menor debido a que aumentan los inquemados. Si el exceso de aire aumentara, se complementarían las reacciones de oxidación, pero se malgastaría energía en calentar el aire en exceso que se introduce.

La curva de CO en función del exceso de aire presenta un codo que coincide con la zona de máximo rendimiento. Si el exceso de aire se reduce, aumenta rápidamente el contenido de CO, debido a que la combustión se efectúa en menor grado. Si el exceso de aire aumenta, el CO se reduce, pero muy lentamente.

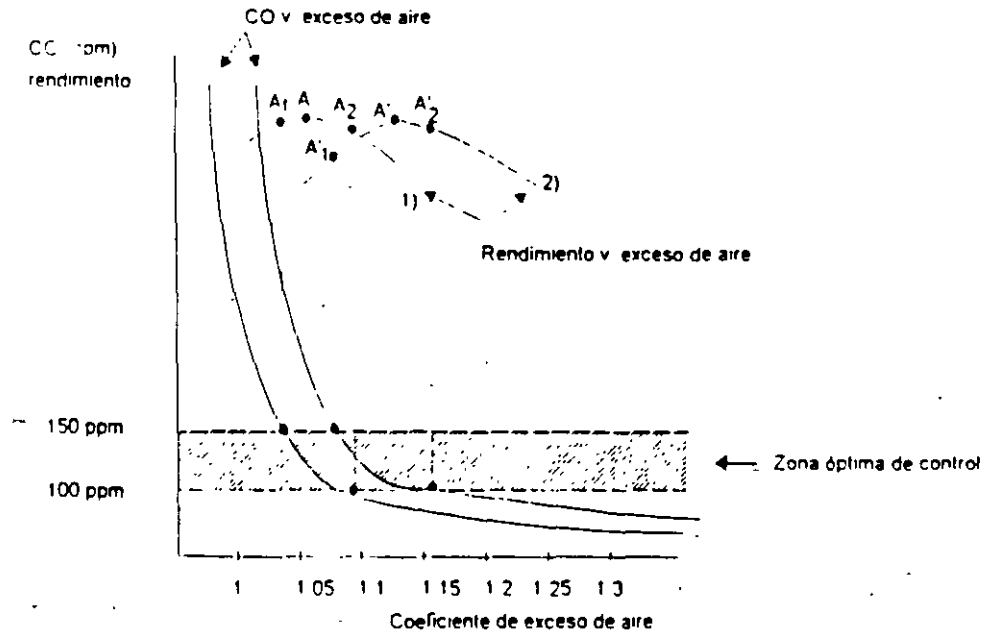
La situación del punto de mejor rendimiento y del codo de la curva de CO, varía de acuerdo a:

- El estado de las instalaciones, quemadores, etc.
- Las circunstancias de cada momento como son
  - Variaciones climatológicas (temperatura, presión, humedad relativa, viento, etc.)
  - Variaciones de carga de la caldera
  - Variaciones de composición del combustible

Por tanto las curvas son dinámicas, desplazándose en función de estas circunstancias tal como se muestra en la Fig. 1.35 (curvas 1 y 2)

En general se obtendrá la zona de mejor rendimiento siempre que se mantenga el CO en la gama de 100 a 150 ppm, con lo cual el rendimiento se moverá entre los puntos  $A_1$  y  $A_2$  o entre los puntos  $A'_1$  y  $A'_2$  de las curvas 1 y 2, respectivamente.

**FIG. 1.35: CONTROL AUTOMÁTICO DE LA COMBUSTION MIDIENDO EL CONTENIDO DE MONOXIDO DE CARBONO**



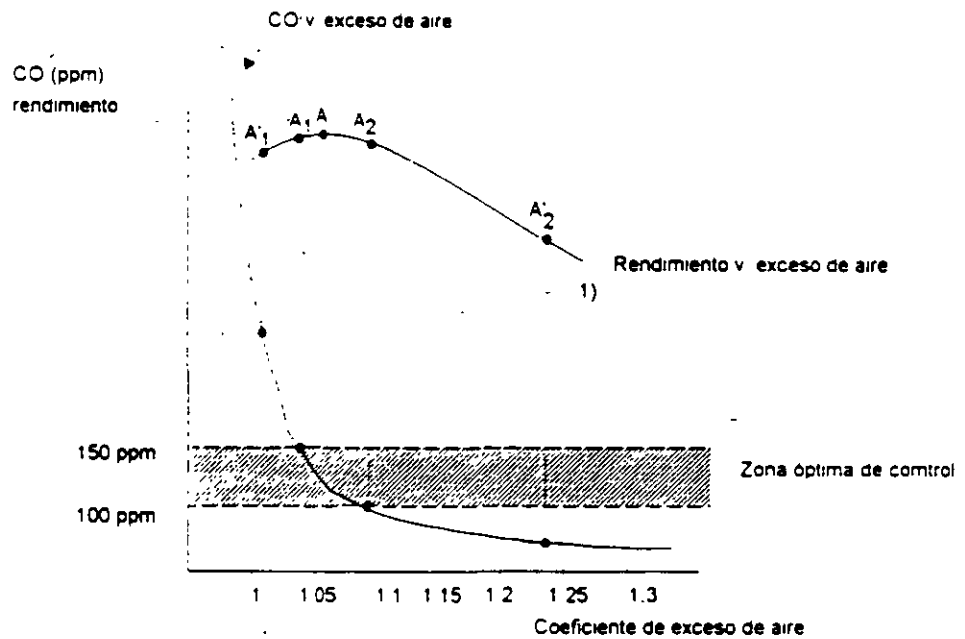
### B. Influencia del Control Manual en el Rendimiento

Actualmente se está produciendo un fenómeno curioso en la práctica del control de la combustión. En general los mandos de las fábricas están sensibilizados hacia el ahorro de energía y presionan a los operarios que conducen las calderas para que intenten reducir el exceso de aire en la combustión. Los operarios, al no disponer de medios, efectúan esta reducción (a ojo) moviéndose, por ejemplo, sobre la curva (Fig. 1.36) entre los puntos  $A'_1$  y  $A'_2$ . Con ello se producen dos efectos:

- Los valores del rendimiento ( $A'_1$  y  $A'_2$ ) en general son muy inferiores a los obtenidos mediante control por CO ( $A_1$  y  $A_2$ )
- En muchas ocasiones, al entrar en la zona de bajo exceso de aire para las condiciones relativas de funcionamiento, obtienen un porcentaje alto de inquemados ( $A'_1$ )

Estos mismos efectos se producirían en las curvas correspondientes a otras condiciones de trabajo. En términos generales los resultados son en ocasiones, más perjudiciales que beneficiosos.

FIG. 1.36: FUNCIONAMIENTO EN CONTROL MANUAL

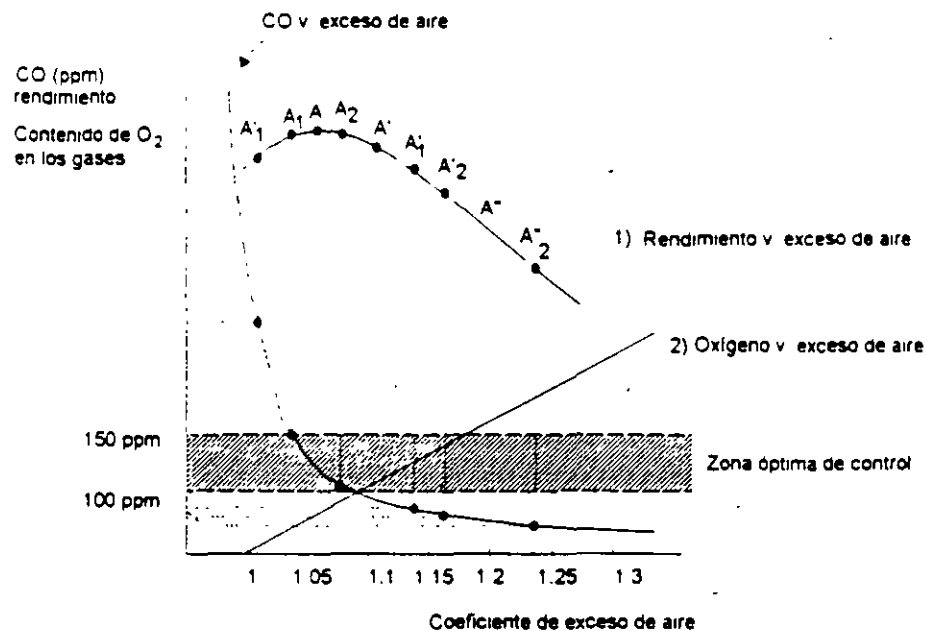


### C. Influencia del control por oxígeno en el rendimiento

El contenido medido de oxígeno en los gases debería ser teóricamente una función lineal del exceso de aire (Fig. 1.37, curva 2). Sin embargo, esta relación queda alterada en la práctica por tres circunstancias

- Los inquemados que se producen
- Las entradas, en el circuito de gases, de aire del exterior
- El error de medición del equipo

**FIG. 1.37: FUNCIONAMIENTO TÍPICO CON CONTROL CORREGIDO POR LA MEDIDA DEL CONTENIDO DE OXIGENO EN LOS GASES**



EL sistema de control por oxígeno se basa en fijar un valor del oxígeno (punto de consigna) a mantener automáticamente. Pueden darse dos casos (supuesto que la curva de rendimiento es la 1):

- Que se fije un punto de consigna de oxígeno bajo para este sistema de control (punto A'). Con ello el sistema se moverá entre A'<sub>1</sub> y A'<sub>2</sub> produciéndose en ocasiones inquemados altos.
- Que se fije un punto de consigna alto de oxígeno (punto A''). Con ello se garantiza que normalmente no se producirán inquemados, pero siempre se tendrá un exceso de aire alto.

En definitiva, la medición del contenido de oxígeno no permite conocer la forma en que se desarrolla la combustión, porque no tiene en cuenta las circunstancias antes enunciadas.

---

#### **1.8.4 Control Multivariable**

Se trata de un sistema de corrección por medida en el cual actúan dos o más parámetros correctores conjuntamente.

Generalmente uno de los parámetros es el CO, e intervienen como parámetros correctores, además de aquel, los hidrocarburos inquemados y la opacidad. Para cada uno de estos parámetros hay que fijar de antemano los valores objetivo. Igualmente deben existir en los lazos de control unos enclavamientos que permitan que en cada momento el parámetro corrector sea aquel que haga más favorable el punto de funcionamiento tras su corrección. En las Figs. 1.38 y 1.39 se indica la influencia de las variaciones de la opacidad y de los hidrocarburos sobre el rendimiento

---

#### **Influencia de la Opacidad**

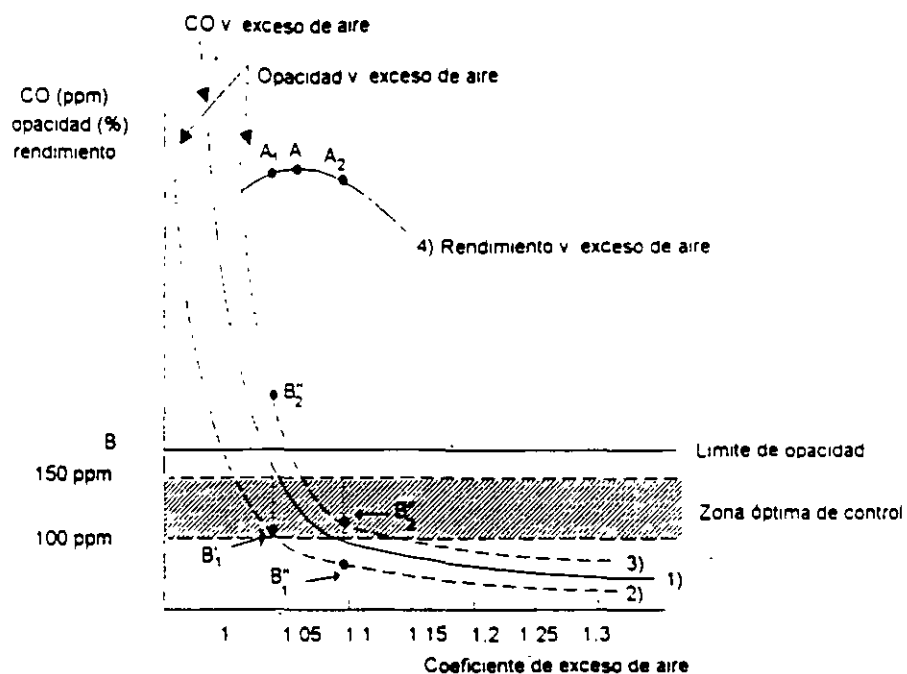
La existencia de partículas inquemadas en los gases produce el oscurecimiento de los mismos, lo cual generalmente se define como humo y se mide en una escala relativa de oscurecimiento llamada escala de opacidad

La opacidad de los gases tiene una relación directa con el grado de contaminación que los mismos producen y con las pérdidas de combustible. Por esta razón, generalmente se exige controlar esta variable

La opacidad varía con el exceso de aire de acuerdo a una curva similar a la del CO (ver Fig. 1.38). La situación relativa de ambas curvas (opacidad y CO) depende de circunstancias interiores y exteriores.



**FIG. 1.38: INFLUENCIA DE LA OPACIDAD EN EL CONTROL DE LA COMBUSTION**

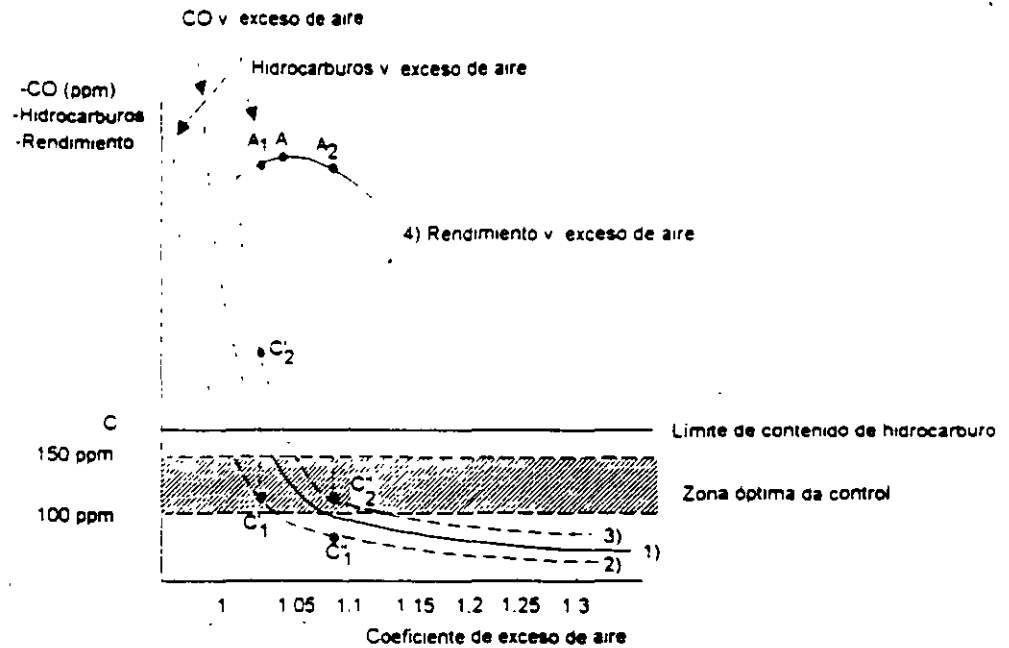


· Cuando la opacidad sigue una curva como la 2, estando la caldera en control entre 100 y 150 p.p.m. de CO, los valores de la opacidad variarían entre  $B_1'$  y  $B''_1$ . Si el límite de opacidad está en B, los valores anteriores son inferiores al límite y por lo tanto aceptables.

· Si la curva de la opacidad fuera la 3, los valores de la opacidad variarían desde  $B''_2$  a  $B'_2$ , siendo este último valor superior al límite aceptable

En estas circunstancias se produce humo, con sus efectos negativos. Por ello es importante que el equipo de control mida también la opacidad y corrija, en base a la misma, la combustión, es decir que en circunstancias como la  $B'_2$  se admita mayor exceso de aire para corregir el valor de la opacidad

**FIG. 1.39: INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HIDROCARBUROS EN LOS GASES, EN EL CONTROL DE LA COMBUSTION**



### Influencia de los Hidrocarburos

La curva de contenido de hidrocarburos en los gases (Fig. 1.39) es similar a la de CO y opacidad, pudiendo como esta última, estar a un lado u otro de la curva de CO.

Por un análisis similar al de la opacidad obtenemos que el contenido de los hidrocarburos en el punto  $C_2'$  no es admisible y por lo tanto, el sistema debe corregir automáticamente esta desviación.

El contenido de hidrocarburos en los gases nos indica también el grado en que se está efectuando la combustión. Ello es particularmente importante cuando el combustible es un gas limpio, que aún en la combustión con defecto de aire no produce prácticamente opacidad. En este caso el contenido de hidrocarburos será el que corrija las desviaciones del control por CO.

### **1.8.5 Control de la Combustión de Residuos**

A medida que la combustión de residuos se incrementa, las filosofías de control van variando paulatinamente, pasando desde la antigua situación en la que se quemaban los residuos para deshacerse de ellos hasta la actual en la que se queman para aprovechar su poder calorífico.

Este cambio ha conducido, hoy en día, a concentrar el esfuerzo en la utilización de diversas técnicas de optimización, de forma que se llegue a sustituir el máximo posible de combustible convencional.

En cuanto a control, el mejor sistema depende de la forma y proporción en las que el combustible convencional y el residuo han de ser utilizados.

---

#### **1. Combustión Únicamente de Residuos**

Este método es el más simple pero no el mejor. Sólo es utilizable cuando no se necesita el combustible convencional para estabilizar la combustión, y cuando la respuesta dinámica de la caldera es suficiente para compensar las variaciones habituales de la carga.

---

#### **2. Combustión de Acuerdo a una Relación Controlada de Combustible Habitual/Residuos**

En este método los dos combustibles deben poder ser quemados simultáneamente en cualquier proporción, y el sistema de control debe permitir que un combustible se ajuste manualmente, mientras que el segundo responda a las variaciones de la carga.

---

#### **3. Combustión en la que los Residuos son la Base**

En este método se complementa con el combustible habitual para seguir las variaciones de la demanda.

---

#### 4. Combustión en la que el Combustible Habitual es la Base

En este método se complementa con los residuos según las variaciones de la demanda.

Para cada uno de estos cuatro casos, así como para el caso de que haya más de un residuo existen, esquemas de control adaptados o adaptables. Sin embargo, por la simplicidad no se incluyen aquí

---

### 1.9 EJEMPLOS DE MEJORAS EN COMBUSTION

Según lo anterior, se puede mejorar el rendimiento de la combustión al reducir las pérdidas de calor, lo cual puede lograrse al implementar las siguientes acciones:

- Reducir las pérdidas de calor de los humos
- Reducir las pérdidas de calor por inquemados
- Reducir la diferencia de temperatura entre aire y gases

---

#### 1.9.1. *Control del Exceso de Aire*

Con 2 ejemplos se muestra que, dado los precios de los combustibles en México, en la actualidad el control automático de la combustión por medición de los gases no es rentable en todos los casos. Así, una buena solución en la mayoría de los casos puede ser realizar mediciones con un equipo portátil y proceder a los ajustes necesarios.

---

#### **Ejemplo 1.1: Control del Exceso de Aire por Control Automático**

El análisis de los gases de una "mala combustión" del combustóleo en una caldera de vapor, dio como media los valores siguientes

- % medio de O <sub>2</sub>	9%
- ppm de CO	1,900
- ppm de hidrocarburos	1,500
- % de opacidad	40
- Temperatura de los gases	250°C
- Temperatura ambiente	20°C

Las pérdidas por inquemados eran.

$$\frac{21}{21-9} \times \left( \frac{1,900}{3,100} + \frac{1,500}{1,000} + \frac{40}{65} \right) = 4.77\%$$

De acuerdo a la Fig 1.23, las pérdidas en gases eran 14.4%.

Las restantes pérdidas se estimaron en 3%

Se decidió optimizar la caldera mediante la instalación de un control multivariable de la combustión y un economizador. Con ello se tendría

- % medio de O <sub>2</sub>	1.5%
- ppm de CO	150
- ppm de hidrocarburos	100
- % de opacidad	5
- Temperatura de los gases	160°C

Las nuevas pérdidas por inquemados serían

$$\frac{21}{21-1.5} \times \left( \frac{150}{3,100} + \frac{100}{1,000} + \frac{5}{65} \right) = 0.24\%$$

Las pérdidas por gases pasarían al 5.6%.

Los rendimientos son.

$$\text{Actual} = 100 - 3 - 4.77 - 14.4 = 77.83\%$$

$$\text{Futuro} = 100 - 3 - 0.24 - 5.6 = 91.16\%$$

El ahorro porcentual obtenido fue:

$$100 \times \left( 1 - \frac{77.83}{91.16} \right) = 14.6\%$$

La caldera consumía 1,000 t/año de combustóleo. Por tanto, el ahorro anual obtenido fue 146 t/año de combustóleo, que suponen:

$$146 \text{ t/año} \times 220 \text{ N\$/t} = 32,120 \text{ N\$/año}$$

La inversión necesaria fue de N\$ 210,000.

### ***Ejemplo 1.2: Corrección de Holguras en el Equipo de Combustión***

En una caldera de vapor, la combustión media del combustóleo respondía a los siguientes valores.

- % medio de O<sub>2</sub> . . . . . 9%
- Temperatura de salida de gases . . . . . 220°C
- Temperatura ambiente . . . . . 20°C

Se revisó el quemador y se observaron numerosas holguras. Se corrigieron éstas y se ajustó la leva de relación aire/combustóleo, obteniéndose como media los valores siguientes.

- % medio de O<sub>2</sub> . . . . . 5%
- Temperatura de salida de gases . . . . . 210°C

El costo de la reparación fue N\$ 5,000.

De acuerdo a la Fig. 1.23, se tiene:

- Pérdidas iniciales en gases . . . . . 12.4%
- Pérdidas finales en gases . . . . . 9.1%

Las restantes pérdidas se calcularon en aproximadamente 3%. Por tanto.

- Rendimiento inicial =  $100 - 3 - 12.4 = 84.6\%$
- Rendimiento final =  $100 - 3 - 9.1 = 87.9\%$

El ahorro porcentual obtenido fue.

$$100 \times \left( 1 - \frac{84.6}{87.9} \right) = 3.75\%$$

La caldera consumía 2,000 t/año de combustóleo. Por tanto, el ahorro anual obtenido fue 75 t/año de combustóleo, que suponían:

$$75 \times 220 = 16,500 \text{ NS/año}$$

Se estimó que, para obtener este nivel de combustión, sería necesario efectuar dos veces al año las operaciones de ajuste. En consecuencia, el gasto anual será de 10,000 NS/año

---

### 1.9.2 AUMENTO DE LA TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AIRE

Una caldera de vapor que consume combustóleo, trabaja de acuerdo a:

Temperatura de gases	230°C
% de O <sub>2</sub> en los gases	5%
Temperatura del aire comburente	10°C

Se trasladó el ventilador de forma que aspiraba aire de la parte superior de la caldera a 40°C

Según la Fig. 1.23, las pérdidas en gases eran:

Antes de la reforma	10.6%
Después de la reforma	9.1%

Las restantes pérdidas eran el 3%. Por tanto, los rendimientos fueron:

Antes de la reforma:

$$100 - 3 - 10.6 = 86.4\%$$

- Después de la reforma.

$$100 - 3 - 9.1 = 87.9\%$$

El consumo era 2,500 t/año de combustóleo. Por tanto, el ahorro anual fue

$$2,500 \left( 1 - \frac{86.4}{87.9} \right) = 42.7 \text{ t/año}$$

Que suponen:

$$220 \text{ NS/t} \times 42.7 \text{ t/año} = 9,394 \text{ NS/año}$$

La inversión fue NS 14,000 00

---

## REFERENCIAS

1. **Manual de Eficiencia Energética en Calderas de Vapor.** *Grupo Eficiencia Industrial.* Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (en preparación).
2. **Manual Selmec de Calderas.** *Selmec Equipos Industriales, S.A. de C.V. 1992.*
3. **Manual de Eficiencia Energética Térmica en la Industria.** CADEM. *Grupo EVE. España 1984.*
4. **Curso para la Formación de Consultores en Diagnósticos Energéticos de Primer Nivel.** *Fondo para el ahorro de Energía.* Comisión Nacional para el Ahorro de Energía Cuernavaca, Mor., México, 1993



# PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

---

## 3.1 REFRACTARIO

Una caldera aislada se verá con muchas pérdidas de calor si el material refractario no es el adecuado.

- ... Un material refractario que soporte las condiciones de operación del equipo como son choque térmico, compresión, erosión, ataques químicos etc., no será el más idóneo sino es capaz de retener al calor. Una breve descripción de estos materiales se muestra a continuación. Además, se incluye la presentación de un equivalente funcional como son las paredes de agua.

---

### 3.1.1 LADRILLO REFRACTARIO

Cada fabricante tiene sus propios ladrillos refractarios, los cuales pueden ser cerámicos o fabricados en base a cementos plásticos.

Las características termotécnicas importantes de estos materiales refractarios son:

1. Conductividad térmica a diversas temperaturas.
2. Calor específico; el cual condiciona la cantidad de calor almacenado en el propio material.

3. Densidad.
4. Difusividad térmica
5. Emisividad que regula la cantidad de calor radiada o absorbida por las paredes, techo y suelo.

Por lo que respecta a la conductividad térmica, en la Fig. 3.1 se pueden ver las conductividades térmicas de diferentes materiales refractarios para altas temperaturas, desde 300 hasta 1,100°C, al igual que otros datos tales como la porosidad.

**FIG. 3.1: CONDUCTIVIDAD TERMICA DE MATERIALES REFRACTARIOS**

Características	Ladrillo Refractario			Ladrillo de Alúmina	Ladrillos de Sílice		Ladrillos de Zirconio			Ladrillo de Magnesita	Ladrillos de Carburo de Sílice		
				81% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96% SiO <sub>2</sub>	93% SiO <sub>2</sub>	95% ZrO <sub>2</sub>	65% ZrO <sub>2</sub>	30% ZrO <sub>2</sub>		90% SiC	77% SiC	50% SiC
	1.300	1.410	1.460	1.450	1.460	1.460	-	-	1.450	-	1.435	1.310	1.310
Temperatura max.(°C)	30	26.8	26.5	25.1	24.0	28.1	30	32.5	18.9	-	25.6	21.6	22.9
Porosidad (%)	Conductividad K (kcal-m-h-m <sup>2</sup> -°C)												
a 300 °C	0.76	0.90	1.03	2.02	1.16	1.01	-	-	2.61	-	-	11.16	4.09
500 °C	0.84	0.96	1.10	1.90	1.25	1.19	0.74	1.51	2.15	3.08	13.40	9.92	3.96
700 °C	0.90	1.00	1.15	1.83	1.34	1.21	0.75	1.36	1.92	2.55	11.16	8.80	3.72
900 °C	0.93	1.03	1.17	1.80	1.44	1.29	0.76	1.26	1.76	2.16	9.55	7.81	3.53
1 100 °C	0.94	1.04	1.18	1.79	1.32	1.37	0.77	1.19	1.64	1.83	8.55	6.82	3.35

Al mismo tiempo, los ladrillos refractarios deben reunir una serie de propiedades mecánicas que garanticen su resistencia en el transporte, y a la abrasión en aquellos casos donde se realice una combustión con aire que contenga muchas partículas.

Por otro lado, los ladrillos refractarios deben cumplir algunas especificaciones fisico-químicas relativas a la solubilidad en los gases de combustión o, en el caso de hogares donde se quema carbón, en la pasta formada por la escoria y el carbón fundido.

El aislamiento del hogar debe completarse con una segunda capa de material aislante. Según sean las características termotécnicas de esta segunda capa, viene condicionado el espesor de la capa de ladrillo refractario. Como consecuencia, conviene elegir una combinación adecuada de ladrillo refractario y aislante, de tal forma que el espesor total de la pared del hogar

---

sea el adecuado para que en él no se almacene una cantidad muy alta de calor, el cual se perdería en las paradas y arranques, así como en las variaciones de la carga que tuvieran como consecuencia variaciones en la temperatura del hogar.

---

### **3.1.2 TAMAÑO DE LOS LADRILLOS**

Ciertas fábricas usan ladrillos comunes de 220 x 110 x 60 mm. Otras prefieren ladrillos de 300 x 150 x 75 mm. Los ladrillos más grandes tienen diversas ventajas.

- a) Se colocan más fácil y rápidamente
- b) Por lo tanto necesitan menos mano de obra
- c) Consumen menos mezcla porque tienen una menor área en las juntas para el mismo volumen
- d) Cuestan un poco menos por unidad de volumen

Por otro lado tienen un inconveniente: como sus dimensiones son mayores, son menos elásticos y es más difícil dar a las paredes las dimensiones previstas. Es necesario tomar un múltiplo de su largo y/o de su ancho

---

### **3.1.3 RESISTENCIA AL FUEGO**

A la fecha es posible obtener temperaturas de 1,350°C en hornos comunes de aire frío, y de 1,450°C en hornos provistos de precalentadores de aire.

Para ambos casos deben elegirse:

- a) En el primero: ladrillos que contienen por lo menos, del 20 al 22% de óxido de aluminio.
- b) En el segundo, ladrillos que contienen por lo menos, del 30 al 33% de óxido de aluminio.

---

### 3.1.4 JUNTAS DE EXPANSION

En todos los muros de ladrillo del horno y de la caldera, deben construirse juntas de expansión de 5 mm cada 600 mm. Estas juntas no se construirán en las paredes de la herradura de un horno de este tipo.

En los arcos, los ladrillos se colocarían en hileras yuxtapuestas. De esta manera, el arco es realmente una serie de pequeños arcos independientes de la misma longitud de un arco de una sola hilera. En esta forma se evitan medios ladrillos. Debe colocarse entre ellos una junta de expansión de 5 mm, cada tres arcos.

---

### 3.1.5 SECADO DE LOS MUROS

Cuando se termina la construcción de los hornos o ductos, deben secarse cuidadosamente, encendiendo un fuego pequeño que se aumentará progresivamente, durante por lo menos tres días.

---

### 3.1.6 PAREDES DE AGUA

En calderas grandes no es posible construir el hogar solamente con ladrillo por las siguientes razones:

1. Debido a la altura, el esfuerzo de compresión creado por el peso de los ladrillos sería mayor que la resistencia mecánica.
2. Debido a los diferentes tipos de combustible que pueden utilizarse, las temperaturas que se alcanzarían en el hogar serían demasiado elevadas.
3. En calderas grandes de carbón pulverizado se depositarían cenizas y escorias en los ladrillos.
4. Es más económico aprovechar la superficie del hogar como superficie de calefacción en la caldera.

---

5. La dilatación de la estructura y de la caldera originaria problemas en la construcción de la obra de ladrillo.

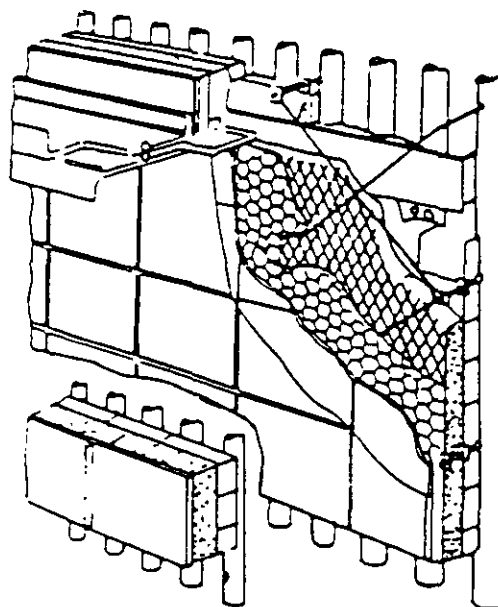
Como consecuencia de lo anterior se utilizan paredes de agua en los hogares, las cuales pueden ser de muy diversos tipos:

- a) Paredes de tubos y ladrillos. En la Fig. 3.2 se puede ver un esquema de la disposición de los tubos, de los ladrillos refractarios y de las capas de aislante. En el esquema, los tubos se encuentran distanciados, pudiendo variar esta distancia de unas calderas a otras.
- b) Paredes de tubos tangentes y ladrillos. Responden al mismo esquema anterior pero con los tubos prácticamente juntos entre sí. En la Fig. 3.3 se plantean estas paredes en dos casos diferentes: con carcasa exterior metálica (parte b) o sin carcasa exterior metálica (parte a).
- c) Paredes de tubos con membrana metálica. En este tipo de pared de agua los tubos llevan aletas longitudinales, formando una membrana metálica aplicada a lo largo de toda su longitud y constituyendo, por lo tanto, una pared totalmente metálica. En la Fig. 3.4 está ilustrado este caso.

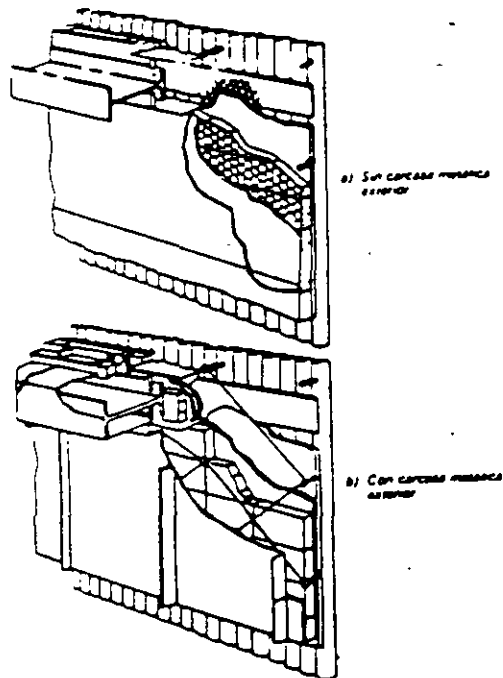
La utilización de los diferentes tipos de pared de agua está condicionada por diversos factores, tales como carga de la caldera, tipo de combustible, tamaños del hogar, y otros muchos que la práctica aconseja. Por otro lado, los aislantes y los refractarios que han de ser utilizados será en función de cómo se encuentren situados los tubos y de la utilización o no de una carcasa metálica exterior.

Por último, y a fin de ilustrar la variación de temperatura en una pared de agua, se incluye como ejemplo una pared de tubos y ladrillos. (ver Fig. 3.5).

**FIG. 3.2: PARED DE AGUA DEL HORNO DE UNA CALDERA  
CONSTRUIDA DE TUBOS Y LADRILLOS**

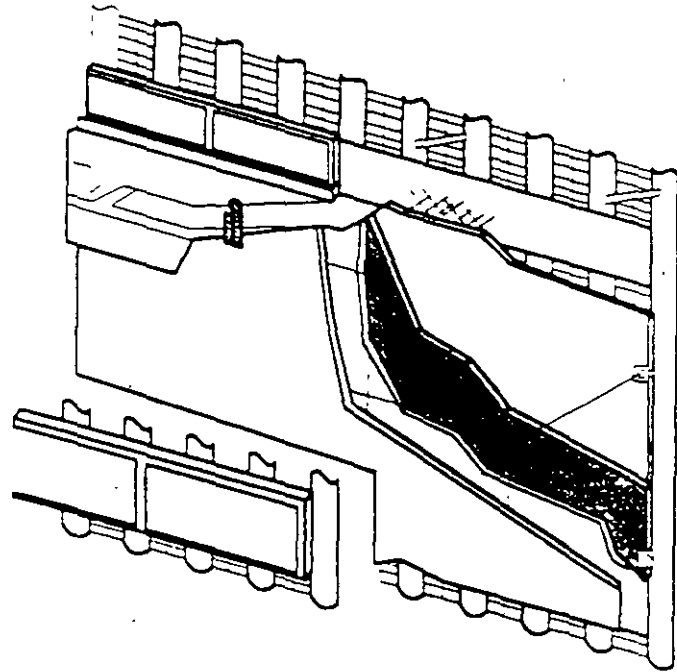


**FIG. 3.3: PARED DE AGUA DEL HOGAR DE UNA CALDERA  
CONSTRUIDA DE TUBOS Y LADRILLOS**

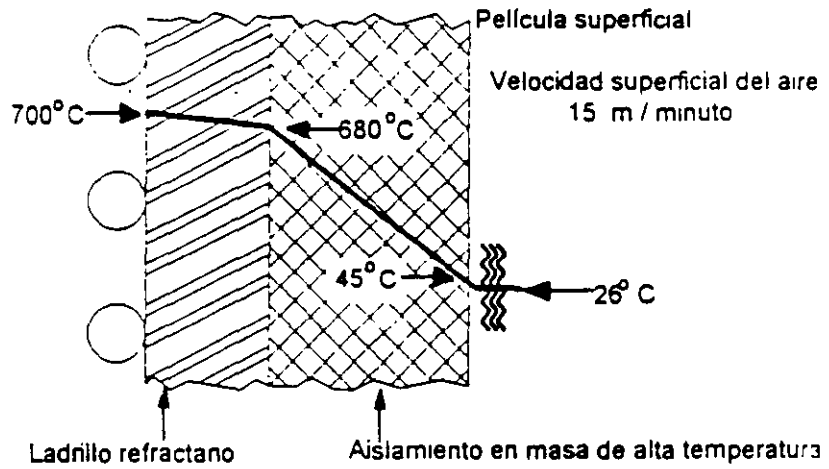


**PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR**

**FIG. 3.4: PARED DE AGUA DEL HOGAR DE UNA CALDERA CONSTRUIDA DE TUBOS CON MEMBRANA METALICA**



**FIG. 3.5: LEY DE VARIACION DE LA TEMPERATURA EN UNA PARED DE AGUA DE TUBOS Y LADRILLOS CON AISLAMIENTO DE ALTA TEMPERATURA**



## 3.2 TIRO

Para mantener la temperatura a la marcha de la combustión, se requiere pasar por el horno y sobre el combustible, la cantidad de aire necesaria. Como el trayecto del aire es complejo y existen diversas resistencias a su paso (a través del colchón de combustible y entre los tubos de la caldera, diversos cambios de dirección, etc.) y dado que es necesario dar a los gases una velocidad relativamente alta, el mantener esta corriente de gas exige cierto gasto de energía que normalmente se da en la forma de presión

Esta presión motriz, puede obtenerse de dos fuentes

- a) De la energía térmica producida por la combustión, es decir, tiro natural
- b) De una fuente externa, ventilador u otro medio, es decir tiro forzado

### 3.2.1 TIRO NATURAL

En el tiro natural la succión se crea evacuando los gases de la combustión por la chimenea. Siendo estos gases calientes, el peso de la columna gaseosa así formada es menor que el peso de la misma altura de aire ambiente. La masa de gases contenida en la chimenea tiende entonces a subir, empujada por el aire ambiente que la reemplaza progresivamente y que a su vez se calienta al atravesar el horno.

La obtención de un buen tiro natural, es más difícil que la de un tiro forzado. Necesita el conocimiento de las relaciones que existen entre los siguientes elementos:

- |  |       |
|--|-------|
| 1. Velocidad de los gases en los ductos        | $V_C$ |
| 2. Tiro a la salida de los ductos              | $d$   |
| 3. Velocidad de los gases que deja la chimenea | $V_S$ |
| 4. Sección transversal de la chimenea          | $S_S$ |
| 5. Altura de la chimenea                       | $H$   |



## Velocidad de los Gases en los Ductos

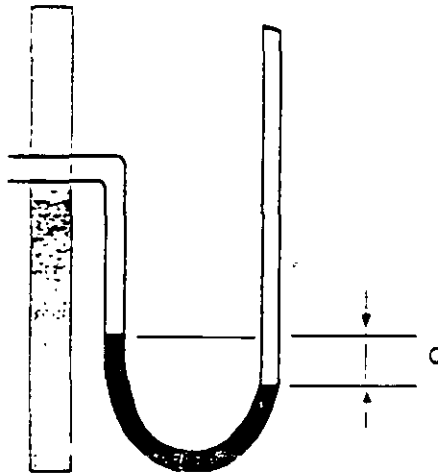
Esta velocidad no debe pasar de 5m/seg. en el caso del tiro natural. Puede tomarse:

$$V_s = 4 \text{ a } 5 \text{ m/seg} \quad (3.1)$$

## Tiro a la Salida de los Ductos

El tiro a la succión es la diferencia entre la presión exterior y la presión en el interior del ducto. Se mide fácilmente en una instalación existente, con la ayuda de un pequeño tubo en U que contenga agua (Fig. 3.6) y se expresa en mm de agua.

FIG. 3.6: MEDIDA DEL TIRO



## Velocidad de los Gases que Dejan la Chimenea

La velocidad de los gases que dejan la chimenea, corresponde a la energía perdida. Desde el punto de vista de la economía en la instalación (altura mínima de la chimenea por construirse, por ejemplo) es conveniente que la velocidad  $V$  sea lo más baja posible

Sin embargo, debe ser suficiente para evitar que la componente vertical de los vientos dominantes pueda perturbar el funcionamiento de la chimenea. En los países tropicales es ventajoso tener por lo menos 4 m/seg y aun 5 m/seg. No es necesario excederse de esta última cifra, porque se producirá una chimenea innecesariamente alta y costosa. V debe elegirse entonces de tal manera, que:

$$4 < V \leq 5 \text{ m/seg,}$$

de acuerdo con la importancia de los vientos dominantes.

La velocidad teórica de los gases se calcula con la ecuación siguiente;

$$V = \sqrt{2gHC \left( \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_{ge}} \right)} \quad (3.2)$$

Donde:

V	=	Velocidad teórica de los gases m/seg
g	=	9 81 m/seg <sup>2</sup>
H	=	Altura de la chimenea, m
T <sub>ge</sub>	=	Temperatura absoluta de los gases a la entrada de a chimenea, °K
T <sub>a</sub>	=	Temperatura absoluta del aire exterior, °K

Para chimeneas de ladrillo, piedra o concreto, la velocidad real de los gases oscila entre 30 y 50% de la teórica, a causa de la rugosidad en la superficie interior

---

### Sección Transversal de la Chimenea

La elección de la velocidad de los gases de la chimenea, incluye la determinación de la sección transversal en la parte superior. Se sabe que el flujo de gases debe ser:

$$Q = W_c \times U_{ge} \times D_g \quad (3.3)$$

Donde:

- $Q$  = Flujo de gases que deben pasar por la chimenea  $m^3/\text{seg}$   
 $W_c$  = Consumo de combustible,  $\text{kg/h}$   
 $U_{gc}$  = Razón de gases producidos,  $\text{kg gases/kg combustible}$   
 $D_g$  = Densidad de los gases,  $\text{kg/m}^3$ ,

y el área de la sección transversal de la chimenea está dada por

$$A = Q/KV \quad (3.4)$$

Donde:

- $A$  = Área de la sección transversal, en la base de la chimenea,  $m^2$   
 $K$  = Coeficiente de velocidad, de 0.3 a 0.5

---

### Altura de la Chimenea

La altura de la chimenea puede determinarse de acuerdo con la segunda fórmula de Tripiet:

$$H = \frac{dD}{464 p_a \left( \frac{1}{T_a} - \frac{b}{T_{gc}} \right)} \quad (3.5)$$

Donde:

- $d$  = Tiro en la base de la chimenea, en mm de agua, dado para el caso del tiro natural  
 $D$  = densidad del fluido en el aparato medidor de tiro,  $\text{kg/m}^3$   
 $p_a$  = Presión barométrica, en mm de agua (760 mm de Hg = 10,336 mm de agua)

- b = Coeficiente numérico que toma en cuenta el enfriamiento de los gases mientras pasan a través de la chimenea y que tiene el valor siguiente.
- 1.05 Para chimenea de ladrillo
  - 1.08 Para chimenea de concreto reforzado
  - 1.12 Para chimenea de lámina

---

### **Ventajas y Desventajas del Tiro Natural**

El tiro natural presenta las siguientes ventajas:

- (a) Una larga vida: las chimeneas duran 100 años
- (b) Seguridad: no existe ningún riesgo por la ruptura de un ventilador
- (c) Economía en la operación: no se necesita ningún motor, no se consume potencia

Sin embargo, presenta algunas desventajas:

- (a) Necesita una buena cimentación, por el peso de la chimenea
- (b) Ocupa un espacio considerable, por las dimensiones de la base de la chimenea
- (c) Puede producir sólo un tiro limitado, a menos que se dé una altura excesiva
- (d) No tiene ninguna flexibilidad cuando ocurren cargas inesperadas

---

### **3.2.2 TIRO MECANICO**

Existen 3 sistemas principales de tiro mecánico:

1. Tiro forzado
2. Tiro inducido
3. Tiro inducido por "inyección"

**Tiro Forzado.** En este tiro el aire se sopla abajo de la parrilla cerrando el depósito de cenizas.

Este sistema tiene la ventaja de permitir la introducción de aire a presión atmosférica en la cámara de combustión, y consecuentemente evita la entrada de aire por cualquier intersticio, a pesar de que existan grietas o fugas en la albañilería de la caldera

Se emplea principalmente cuando se instala un calentador de aire

**Tiro Inducido.** Este es el sistema más común. En lugar de colocar el ventilador en la parrilla, se coloca en el extremo de los ductos y en la base de la chimenea.

**Tiro de Inyección.** Esta es otra forma del tiro inducido. La succión se produce no con un ventilador, sino con una boquilla de vapor que descarga en la chimenea y produce en los gases el efecto de Giffard. Puede emplearse también un ventilador fuera de circuito y producir el efecto de Giffard, tomando del ducto una fracción de los gases y retornándolos por medio de una boquilla similar a la utilizada con el vapor

---

### **Ventajas y Desventajas**

El tiro mecánico necesita de un ventilador, por lo tanto, existen posibilidades de accidentes y es necesario parar para revisar y mantener el ventilador; sin embargo, se emplea cada vez más por las siguientes razones

- (a) El costo inicial de instalación es muy bajo
- (b) Necesita menos espacio
- (c) Y sobre todo, es flexible; con un motor de velocidad variable el tiro puede regularse inmediatamente

Es posible también instalar en el motor un regulador automático de tiro, que asegure una marcha flexible y regular a la fábrica y permita proporcionar en todo momento el vapor suficiente para las necesidades de la misma.

---

### **3.2.3 VENTILADORES**

En un principio se empleaban grandes ventiladores de baja velocidad. En la práctica moderna se prefieren ventiladores de alta velocidad que son más

pequeños y por lo tanto más económicos en su instalación y en el espacio que necesitan.

---

### Potencia Necesaria

Si un ventilador tiene que proporcionar un volumen dado de gas y mantener al mismo tiempo un tiro determinado, la potencia que empleará tendrá por valor:

$$T = V d \quad (3.6)$$

Donde

$$\begin{aligned} T &= \text{Potencia neta que debe proporcionarse en} \\ &\quad \text{kgm/seg} \\ V &= \text{Flujo de gas que debe manejarse, en m}^3/\text{seg} \\ d &= \text{Tiro producido en mm de agua (= kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

La potencia necesaria en la flecha del ventilador será entonces:

$$T = \frac{V \cdot d}{p} \quad (3.7)$$

Donde:

$$p = \text{Rendimiento del ventilador}$$

Este rendimiento es muy bajo y varía sustancialmente con la potencia del ventilador. Pueden emplearse las cifras de la tabla siguiente

#### RENDIMIENTO DE LOS VENTILADORES

Ventiladores pequeños	0.20 - 0.50, promedio 0.30
Ventiladores grandes	0.40 - 0.70, promedio 0.50

No olvidarse que la potencia T es la potencia que se aplica a la flecha del ventilador. La potencia que debe darse al motor debe incluir la eficiencia de éste y también la de las bandas, cuando se emplea este tipo de transmisión.

**Influencia de la temperatura del gas.** Se notará que la potencia  $T$  indicada arriba, depende directamente del volumen de los gases. Consecuentemente, para un gasto dado y en términos de peso del mismo, se necesitará más potencia si el gas es caliente, que si es frío.

### 3.2.4 EJEMPLO

Un tren de calderas de vapor quema carbón a razón de 8,500 kg/h, produciendo 20 kg de gases por kg de combustible quemado. La temperatura del aire ambiente es 30°C, la temperatura media de los gases al entrar en la chimenea es de 343.3°C y la temperatura media de los mismos en el interior de ésta es 250°C. El fluido en el aparato medidor de tiro tiene una densidad de 996 kg/m<sup>3</sup> y el tiro teórico es de 23 mm de agua en la base de la chimenea, siendo la presión barométrica de 730 mm Hg.

Calcular las dimensiones de la chimenea requerida; si esta es de concreto

Solución:

Tomando un coeficiente de velocidad de 0.4 y asumiendo que la densidad de los gases sea igual a la del aire a 343.3°C, esto es 0.576 kg/m<sup>3</sup>, tenemos:

$$H = \frac{23 \times 996}{464 \times 730 \left( \frac{1}{303} - \frac{1.08}{523} \right)} = 54.7 \text{ m}$$

$$V = \sqrt{2 \times 9.81 \times 54.7 \left( \frac{523}{303} - 1 \right)} = 28 \text{ m/seg}$$

$$Q = 8,500 \times 20 / (60 \times 60 \times 0.576) = 82 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$A = 82 / (0.4 \times 28) = 7.32 \text{ m}^2$$

### 3.2.5 FILTROS DE ENTRADA DE AIRE

Cuando las condiciones ambientales de la zona donde se capta el aire comburente son tales que el aire admitido puede contener impurezas que afecten a elementos mecánicos o al mismo proceso de combustión, conviene colocar filtros en la entrada de los conductos.

Es recomendable colocar filtros si:

1. El aire contiene sólidos abrasivos que pueden producir desgastes en los elementos mecánicos del circuito de aire.
2. El aire aspirado está contaminado con sustancias que pueden interferir el proceso de combustión, o que pueden contaminar, a su vez, los gases de combustión.
3. El aire aspirado está contaminado con sustancias que pueden actuar como catalizadores en los procesos de corrosión asociados al  $SO_2$ .

Sin embargo, en muchos casos no es necesario colocar filtros a la entrada del aire comburente y de hecho, gran parte de las calderas de vapor carecen de ellos

---

### 3.3 CHIMENEAS

Una chimenea es el ducto, de sección circular o cuadrada, por el cual se conducen los gases producto de combustión hasta un lugar conveniente y seguro.

La chimenea se puede construir de cualquier material, empleándose generalmente lámina de acero, concreto o ladrillo, siempre y cuando garantice resistencia al calor y a la corrosión, así como a la presión de viento y sismos.

---

#### 3.3.1 REQUISITOS PARA LAS CHIMENEAS

El reglamento para generadores de vapor de la Secretaría del Trabajo, establece en el Art. 33, que a continuación se transcribe, los requerimientos para una chimenea:

"Artículo 33 CHIMENEAS. Deberán reunir los requisitos siguientes"

1. Tendrán la capacidad suficiente para dar salida a todos los gases producidos por la combustión.



2. Tendrán la altura necesaria para que llenen debidamente su objetivo y, en todo caso, la mínima deberá ser tal que sobresalga un metro veinticinco centímetros del techo del edificio o cuarto de generadores cuando no hay edificio cercano, o tres metros del edificio más alto que se encuentre dentro del perímetro de diez metros alrededor de ellas.
3. Deberán ser construidas de manera que garanticen su completa estabilidad y podrán ser metálicas, de concreto armado, de piedra o de ladrillo con mortero de cemento. Cuando se usen materiales alterables al fuego, deberán revestirse interiormente con materiales a prueba de fuego hasta la altura que fuere necesaria, según la temperatura de los gases de salida. Deberá estar convenientemente atirantada para lograr su estabilidad.
4. Cuando las dimensiones de la chimenea lo requieran, deberán contar con aberturas practicadas en su base con puertas de cierre para que pueda fácilmente ser limpiada e inspeccionada "

---

### **3.3.2 PUERTOS DE MUESTREO**

La Secretaría de Desarrollo Social, para facilitar la toma de muestras de los gases en la chimenea, ha establecido en la norma CCAT-FF-001 que aquella debe contar con puertos de muestreo según se muestran en las Figs. 3.7, 3.8, y 3.9.

FIG. 3.7: VISTA LATERAL DE PUERTOS Y PLATAFORMA PARA MUESTREO

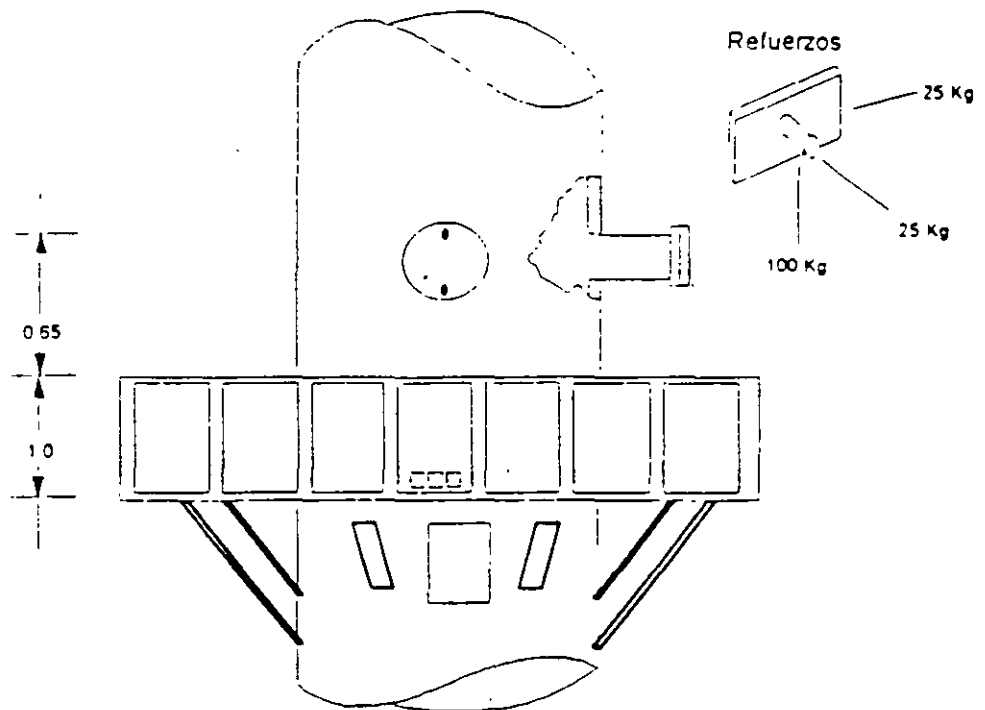
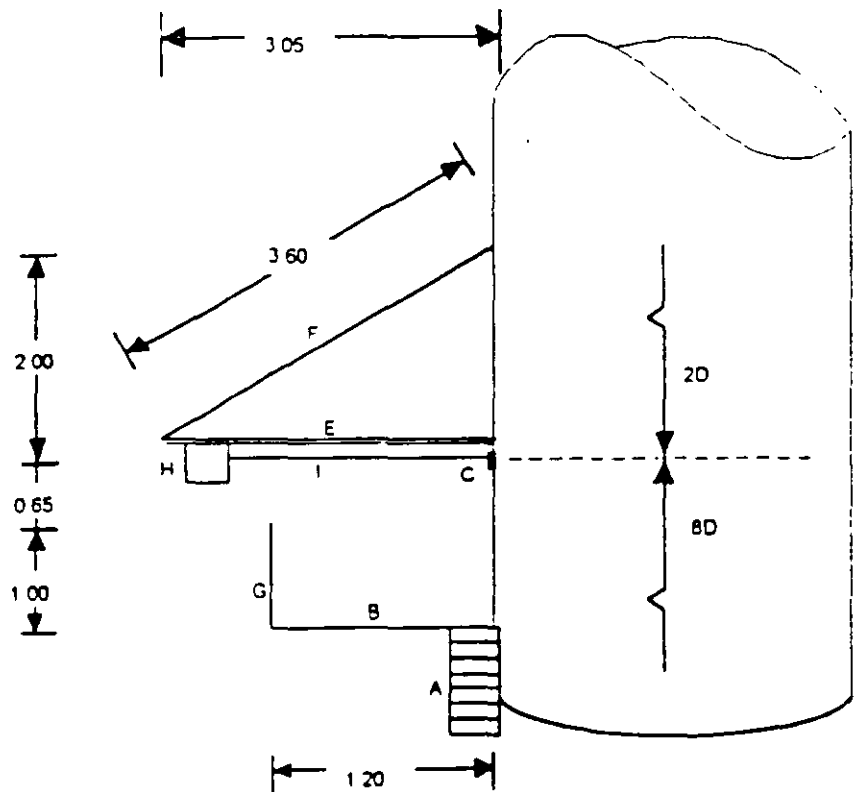
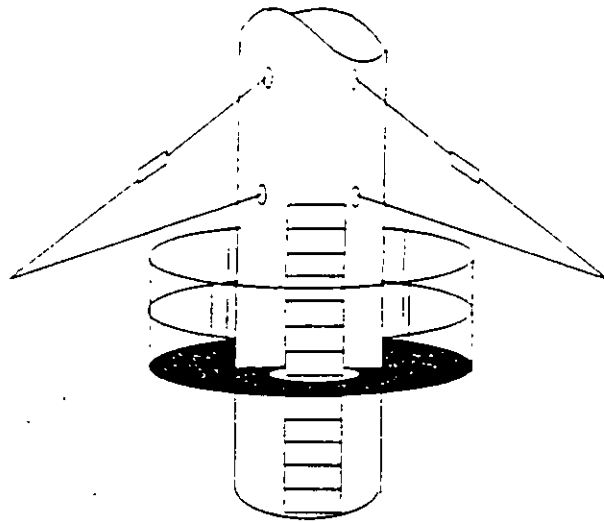


FIG. 3.8: PERFIL DE PUERTOS Y PLATAFORMA PARA MUESTREO



**FIG. 3.9: INSTALACION COMPLETA DE PUERTOS Y PLATAFORMAS DE MUESTREO**



---

### **3.4 CALENTADORES DE AIRE**

Una forma de recuperar el calor sensible de los gases se produce mediante el uso de calentadores de aire, cuya misión es aumentar la temperatura del aire de combustión, por lo tanto son unos elementos que recuperan parte del calor sensible de los gases de combustión y lo añaden al aire requerido para quemar el combustible.

Cuando se utilizan calentadores de aire se producen los siguientes efectos

- 1° Se reducen las pérdidas de calor en los gases de combustión. Aproximadamente, por cada 20°C de reducción en la temperatura de dichos gases se obtiene un 1% de ahorro de combustible.
- 2° Se aumenta la temperatura de la llama en la zona de combustión.
- 3° Se reducen los excesos de aire.

Prácticamente todas las calderas que queman carbón pulverizado necesitan precalentar el aire desde 15°C hasta 315°C para poder secar el combustible

Las calderas con parrilla para carbones bituminosos operan más eficientemente con aire precalentado aproximadamente a 175°C. De hecho no puede calentarse más, ya que los componentes (sobre todo móviles) tienen un límite de diseño a estas temperaturas.

### 3.4.1 TIPOS DE CALENTADORES DE AIRE

Existen diferentes tipos de calentadores de aire, los cuales funcionan a diferentes temperaturas. Por lo tanto, la temperatura es la base de la clasificación. En la Fig. 3.10 se indican los diferentes tipos y a continuación se describe uno a uno.

Cabe hacer notar que en Europa, aparecieron de manera reciente intercambiadores de plástico poco sensibles a la corrosión. Actualmente es demasiado pronto para conocer el porvenir de este tipo de equipo.

FIG. 3.10: TIPOS DE CALENTADORES DE AIRE. RANGOS DE TEMPERATURA DE APLICACION

Tipos	Gases	
	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima para Combustibles con Azufre
A.E.S.S.	500-600	160-180
Acero con superficies extendidas	400-500	160-180
Hierro fundido con aletas	400-500	140-160
Vidrio borosilicato	230-250	100-120

### Calentadores de Tubos Lisos de Acero

Consisten en un conjunto de tubos formando circuito, incluido en una carcasa exterior. En la Fig. 3.11 aparece un precalentador de aire de este tipo utilizado en contracorriente. El aire frío entra por la parte superior y sale caliente por la inferior.

El camino de los gases es inverso, circulando por el interior de los tubos. Puede verse en la Fig. 3.12 que existe un bypass para el aire, de forma que

sólo se introduzca parte de él en el calentador, lo cual garantiza una temperatura de las superficies de intercambio por encima de aquella para la que se puede producir el rocío ácido

En la Fig. 3.12 aparecen algunas de las diversas posibilidades de arreglo de los flujos de aire y gases de combustión en un calentador de aire. La versatilidad de estos equipos permite multitud de disposiciones

---

### De Tubos de Acero con Superficies Extendidas

Al igual que en los economizadores, es posible utilizar tubos con aletas, lo cual aumenta la superficie de transferencia y permite reducir el volumen total del calentador

---

### De Hierro Fundido con Aletas

En este tipo de calentadores de aire se utilizan tubos de sección rectangular con aletas interiores y exteriores. En la Fig. 3.13 aparece uno de los tubos. El conjunto de los tubos se coloca horizontalmente, de forma que el aire fluye en esta dirección por su interior. Externamente fluyen los gases de combustión en flujo cruzado. En la Fig. 3.14 aparece un calentador de aire de este tipo, combinado con tubos de vidrio borosilicato.

---

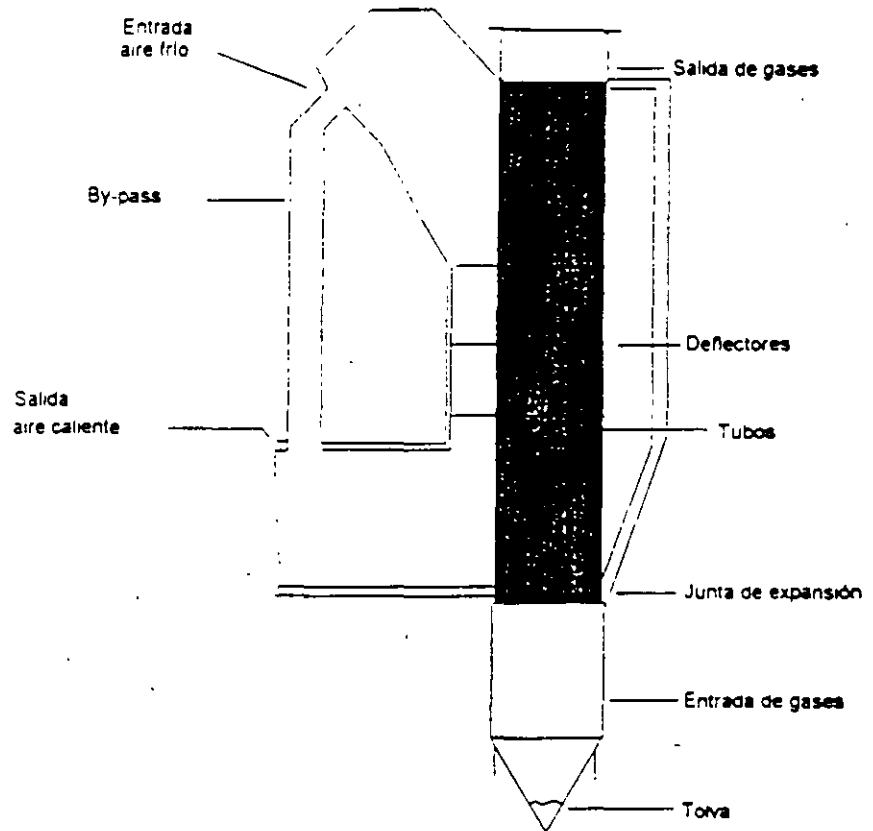
### De Tubos de Vidrio Borosilicato

Para temperaturas bajas de gases, se han desarrollado calentadores de aire de tubos de vidrio borosilicato los cuales, para estas temperaturas, presentan ciertas ventajas con respecto a otros tipos de calentadores.

En este diseño puede circular cualquiera de los dos flujos por el interior de los tubos, aunque habitualmente lo hace el aire.

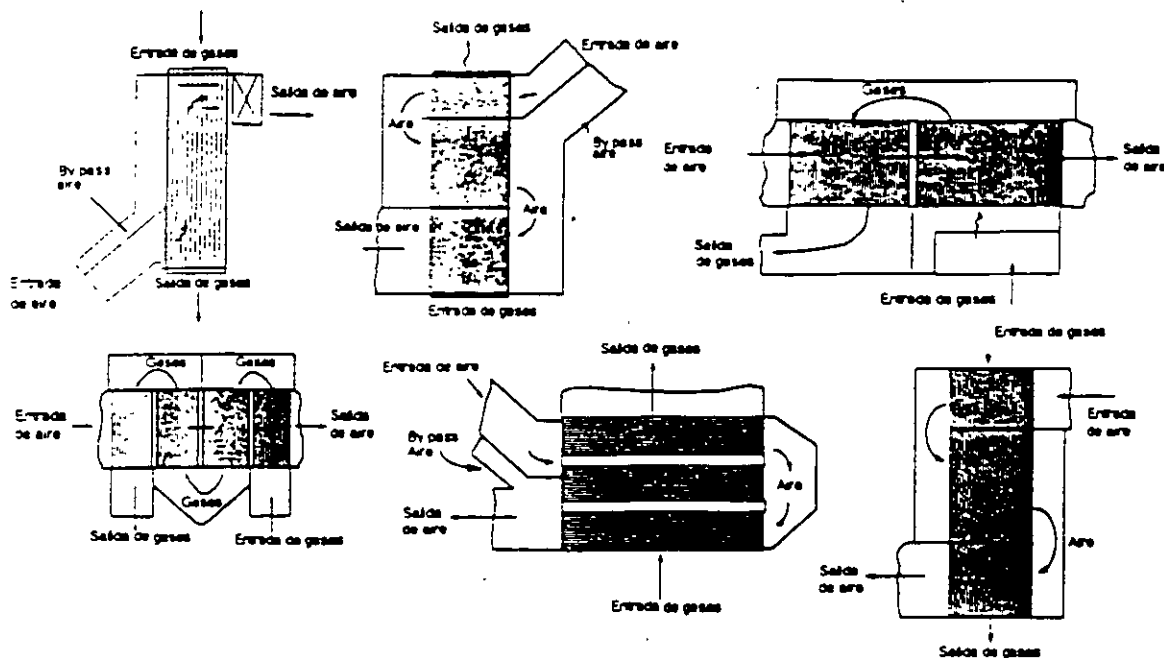
Los calentadores de aire de vidrio borosilicato presentan como ventajas: la alta transferencia de calor, la facilidad de limpieza y la resistencia a la corrosión. Como desventajas principales se tienen las derivadas de la fragilidad del vidrio y de los problemas de dilataciones.

**FIG. 3.11: CALENTADOR DE AIRE TUBULAR PARA CONTRACORRIENTE GASES/AIRE CON BYPASS EN LA ENTRADA DE AIRE**



PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

**FIG. 3.12: ALGUNOS ARREGLOS DE CALENTADORES DE AIRE TUBULARES SEGUN DIRECCION DE LOS FLUJOS DE GASES Y DE AIRE**



En general, no se producen incrustaciones sobre los tubos, ya que su rugosidad es muy baja y los fluidos circulan a gran velocidad. Por lo tanto, la limpieza se puede realizar por inyección de agua con boquillas difusoras situadas en puntos estratégicos del calentador. Como consecuencia de todo lo anterior, con este tipo de calentador se producen economías importantes de energía.

### **3.4.2 DISPOSICIONES MAS FRECUENTES**

La práctica habitual de la instalación de calentadores de aire se resume en los siguientes casos:

---

#### **En Relación a la Posición del Calentador de Aire con Respecto al Flujo de Gases**

Se puede adoptar la disposición bypass o la disposición en serie

Dicha disposición sería similar a la de los economizadores indicados en las Figs. 3.18 y 3.19: en el sistema de disposición en serie el calentador de aire se intercala en el conducto de gases, de forma que estos pasan siempre a través del mismo. En el caso de bypass, puede aislarse el calentador de aire del flujo de gases, de tal forma que por un conjunto de cortatiros se puede conseguir que nada, parte o el total del flujo de gases pase a través del mismo.

Las especificaciones generales a cumplir en el diseño y la instalación de calentadores de aire deberán seguir la línea expuesta para economizadores.

---

#### **En Relación al Circuito de Aire**

Es conveniente que exista un bypass en el circuito de aire, a fin de garantizar que la temperatura de las superficies de intercambio no descienda de la mínima necesaria para evitar los problemas asociados al rocío ácido.

---

#### **Sistemas Bi-transfer**

El sistema bi-transfer ha sido desarrollado como una alternativa a los métodos tradicionales de intercambio de calor entre dos fluidos, y es particularmente útil cuando se trata de intercambiar calor entre dos gases, por ejemplo, para calentar el aire comburente de una caldera de vapor a partir del calor de los gases que salen de la misma.

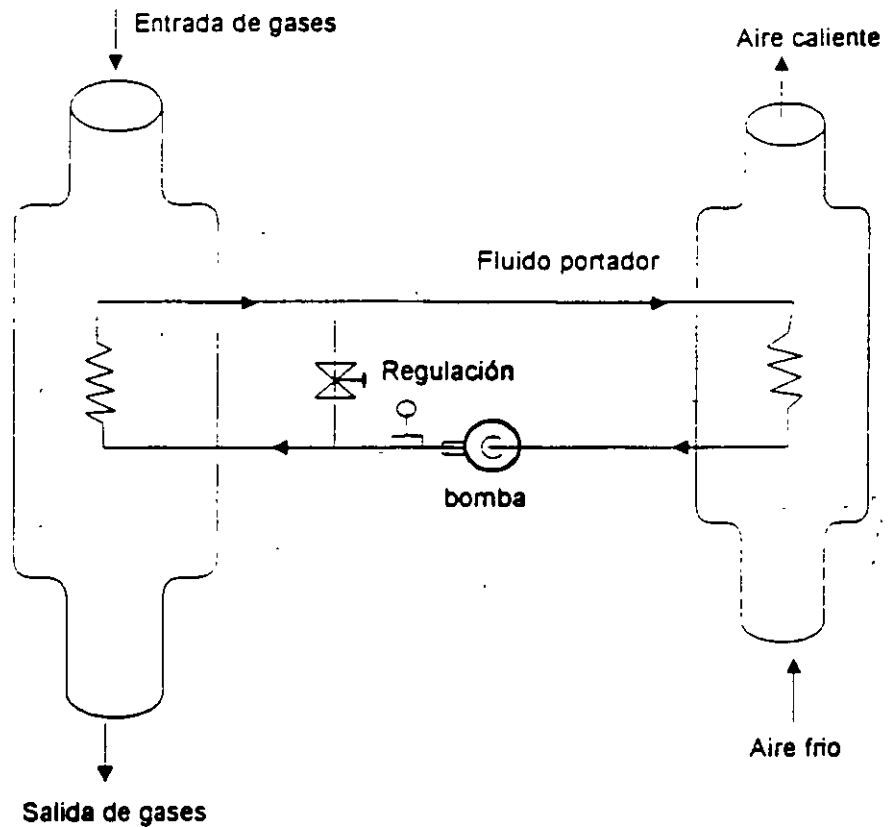


Estos sistemas consisten básicamente en un circuito de fluido térmico y dos intercambiadores de calor:

- Gases - fluido térmico, donde los gases calientan el fluido térmico.
- Fluido térmico - aire, donde se enfría el fluido térmico calentando el aire.

En los sistemas bi-transfer se realizan, por tanto, intercambios de calor gas-liquido, tal como se representa en la Fig. 3.15 y, por ello, puede emplearse ventajosamente la tecnología de las superficies extendidas.

**FIG. 3.15: SISTEMA BI-TRANSFER**



Normalmente se utilizan para su construcción tubos con aletas transversales redondas o cuadradas, siendo las más habituales:

- AF, formados por tubos de a.e.s.s. recubiertos con piezas de fundición con aletas.  
Estos tubos suelen emplearse en el cambiador gases - fluido térmico, cuando el combustible contiene azufre.
- AA, formados por tubos de a.e.s.s. con aletas de acero. Estos tubos se emplean en el cambiador aire-fluido térmico y en el cambiador gases-fluido térmico, cuando lo permiten las características del proyecto. (Combustibles exentos de azufre, o altas temperaturas del fluido térmico).

Habitualmente se emplean dos tipos de fluido térmico: aceites térmicos y agua.

El agua, por sus parámetros termodinámicos, es el mejor fluido térmico que existe, pero su utilización está limitada por las elevadas presiones que impone, de forma que no es práctico emplear agua como fluido térmico por encima de 200°C. Por el contrario, los aceites térmicos tienen tensiones de vapor muy bajas, y pueden utilizarse para transmitir calor a temperaturas altas con presiones ligeramente superiores a la atmosférica.

Para el intercambiador gases - fluido térmico, se puede adoptar la disposición bypass (Fig. 3.18) o en serie (Fig. 3.19).

Para el arreglo en serie, el intercambiador se intercala en la chimenea de tal forma que los gases de combustión pasan siempre a través del mismo. En el caso de bypass puede aislarse el intercambiador del flujo de gases, de modo que, con un conjunto de cortatiros, se puede conseguir que nada, parte o el total del flujo de gases pase a través del equipo. Evidentemente, esto es una ventaja de la disposición bypass con respecto a la serie, ya que ninguna operación de mantenimiento o reparación que hubiera que realizarse en el intercambiador, implicaría la parada de la caldera o del elemento generador de los gases.

---

### 3.4.3 METODOS DE CALCULO EN CALENTADORES TUBULARES

---

#### Condiciones a Considerar en Cada Diseño

El diseño de un calentador de aire debe realizarse a partir de los siguientes datos iniciales:

- Temperatura de gases (°C)
- Temperatura del aire comburente (°C)
- % medio de (CO<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub>) en los gases (%)
- Tipo de combustible
- Configuración de la caldera, horno o secador, para estudiar sus pérdidas

Es conveniente definir varias marchas típicas y conocer los datos anteriores en cada una de ellas. También deberán tomarse en cuenta los siguientes datos del propio calentador:

- Tipo de material a emplear
- Tipo de calentador de aire a emplear
- Incremento permitido en la presión de los gases como consecuencia de las pérdidas de carga debidas a la interposición del calentador de aire

---

#### Transmisión de Calor en Tubo Liso

Para el cálculo del precalentador de aire, que es similar al del economizador, ver las secciones 3.5

---

## 3.5 ECONOMIZADORES

De los generadores de vapor y de las calderas de agua caliente, de agua sobrecalentada y de fluido térmico, por lo regular salen los gases a temperaturas altas desde el punto de vista de su aprovechamiento energético

En la actualidad, el equipo que más se utiliza para realizar esta función es el economizador, el cual es un intercambiador de calor gases-agua, que se instala en una caldera de vapor para elevar la temperatura del agua de alimentación a esa y, de esta forma, obtener un ahorro de combustible. Por extensión en este trabajo, se llamará economizador a todo intercambiador de gases de combustión-agua.

La idea de realizar este aprovechamiento data de mucho tiempo, de manera que a las primeras calderas de vapor ya se les dotaba de un economizador para este fin. A lo largo de su dilatado tiempo de utilización, la tecnología de los economizadores ha recibido multitud de aportaciones.

Antes de la crisis de la energía, es decir, mientras los precios de la energía eran notablemente bajos, el empleo de economizadores presentaba limitaciones económicas. En esta línea, nadie dudaba de su necesidad en las calderas grandes, mientras que en las calderas pequeñas (potencia inferior a 5,000 Mcal/h) no se utilizaban nunca, y en las restantes calderas se instalaban sólo en casos particulares, ya que su rentabilidad era dudosa.

El desarrollo de la tecnología de diseño y construcción de economizadores ha hecho que las inversiones precisadas para su instalación hayan disminuido en valor constante. Por otra parte, al aumentar el costo de los combustibles han aumentado considerablemente los valores de las recuperaciones o ahorros que con estos equipos se obtienen.

---

### 3.5.1 TIPOS DE ECONOMIZADORES

Los economizadores están compuestos, básicamente, por un haz de tubos agrupados convenientemente. Por el interior de los tubos circula el agua a calentar, mientras que los gases de la combustión bañan su superficie exterior.

El desarrollo tecnológico ha ido siempre en la línea de modificar los diseños de los tubos con el fin de aumentar la transmisión de calor en un intento de maximizar la rentabilidad y de resolver, al mismo tiempo, algunos problemas colaterales que el empleo de los economizadores plantea, tales como limpieza, corrosión, etc.

A lo largo del tiempo han sido muchos y muy variados los diseños y realizaciones de economizadores. Sin embargo, en el estado actual de la tecnología se ha llegado a un número limitado de tipos que son los que habitualmente aparecen en la oferta mundial de estos equipos.

Generalmente, los economizadores se clasifican en función de las características de los tubos, existiendo cuatro tipos fundamentales:

---

#### **AESS: Tubos de Acero Estirado sin Aletas**

En algunos economizadores se emplean tubos comerciales de este tipo, siendo su aplicación más importante cuando la temperatura de los gases es muy alta y por lo tanto se tienen saltos térmicos muy altos y gran transferencia de calor.

---

#### **AA: Tubos de Acero Estirado con las Aletas Transversales de Acero**

Normalmente, se dota a los tubos comerciales de acero estirado de aletas transversales de acero. Estas aletas son cuadradas o redondas. La continuidad entre el tubo y las aletas se obtiene por soldadura o por encastre por deformación en frío o en caliente. Este tipo de tubos se emplea en todos los procesos de transferencia de calor, siempre que no haya riesgo de

corrosión de los mismos por el ácido sulfúrico procedente del azufre del combustible.

---

**F: Tubos de Hierro Fundido con Aletas**

Estos tubos se obtienen directamente por fundición con sus aletas redondas o cuadradas. Este tipo, que fue el más empleado en el pasado, ha quedado hoy en día relegado debido a su alto costo y a su deficiente resistencia mecánica.

---

**AF: Tubos de Acero Estirado Recubiertos con Piezas de Hierro Fundido, con Aletas Redondas, Cuadradas o Rectangulares**

Estos tubos son los más empleados en la actualidad, ya que presentan las ventajas de la fundición frente a la corrosión ácida y las ventajas del acero estirado en cuanto a la resistencia mecánica.

Para la fabricación de estos tubos se parte de tubo comercial de acero estirado y de piezas de hierro fundido con aletas. Se introduce el tubo de acero en el interior de las piezas, y, para dar continuidad entre ambos materiales se realiza un apriete fuerte entre ellos, mediante calado en caliente o deformación plástica del acero en frío, por la aplicación de presión interior u otros métodos. En las Figs. 3.16 Y 3.17 se incluyen tres modelos de tubo de los tipos AA y AF.

Otra clasificación típica de los economizadores los divide en vaporizadores y no vaporizadores, atendiendo a que en el interior de los tubos el agua pueda alcanzar o no su temperatura de saturación.

Obviamente, en los economizadores vaporizadores se puede utilizar cualquiera de los tipos de tubos AESS, AA y AF, mientras que la fragilidad de la fundición no aconseja el empleo de los tubos F.

FIG. 3.16: TUBOS CON ALETAS TIPO AA

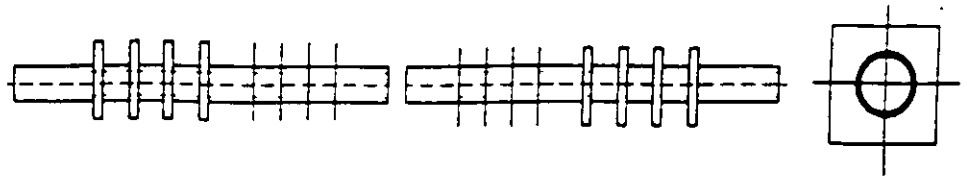
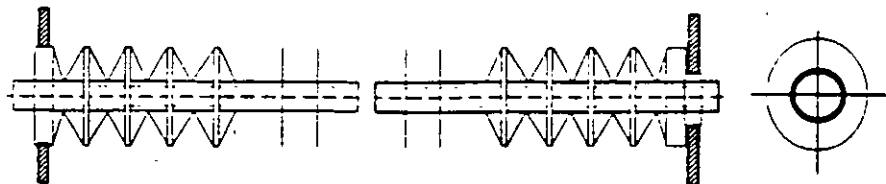


FIG. 3.17: TUBOS CON ALETAS TIPO AF



### 3.5.2 ARREGLOS MAS FRECUENTES

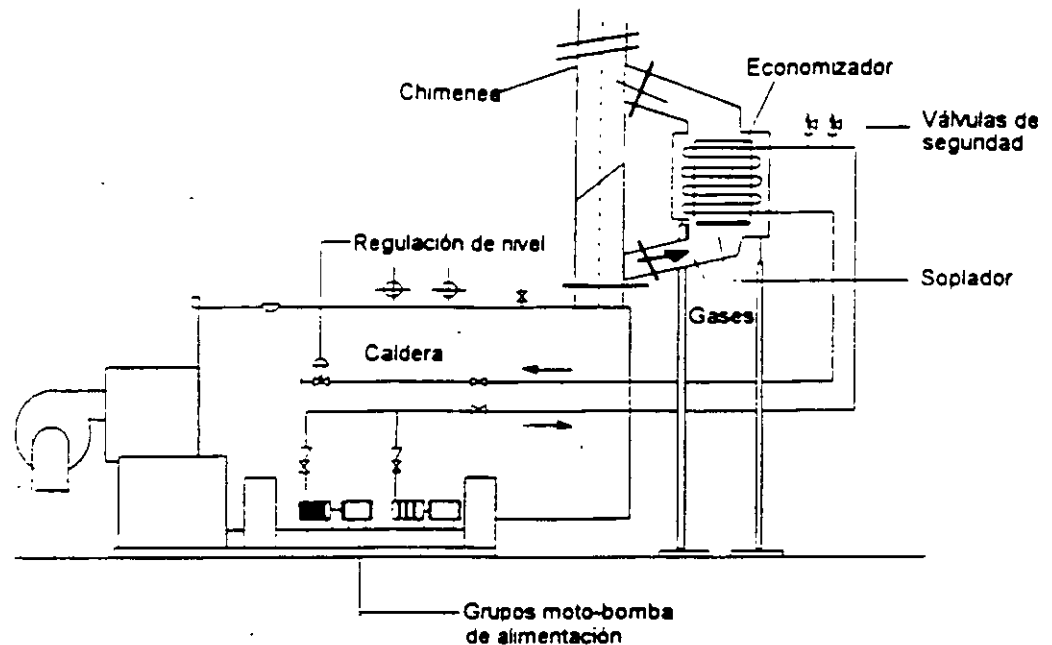
En general, las calderas pequeñas y medianas suelen ser de diseño compacto. La práctica habitual de la instalación de economizadores se resume en los siguientes casos:

#### Posición del Economizador con Respecto al Flujo de Gases

Se puede adoptar la disposición bypass o la disposición en serie. En las Figs. 3.18 y 3.19 se pueden ver ambas disposiciones.

En el sistema de disposición en serie, el economizador se intercala en la chimenea, de tal forma que los gases de combustión pasan siempre a través del mismo. En el caso de bypass, se instala el economizador en paralelo con el flujo de gases, de tal forma que por un conjunto de cortatiros se puede conseguir que nada, parte o el total del flujo de gases pase a través del economizador. Evidentemente, esto es una ventaja de la disposición bypass con respecto a la serie, ya que ninguna operación de reparación que hubiera de realizarse en el economizador implicaría la parada de la caldera.

**FIG. 3.18: INSTALACION DE ECONOMIZADOR EN CALDERA COMPACTA (En Bypass)**

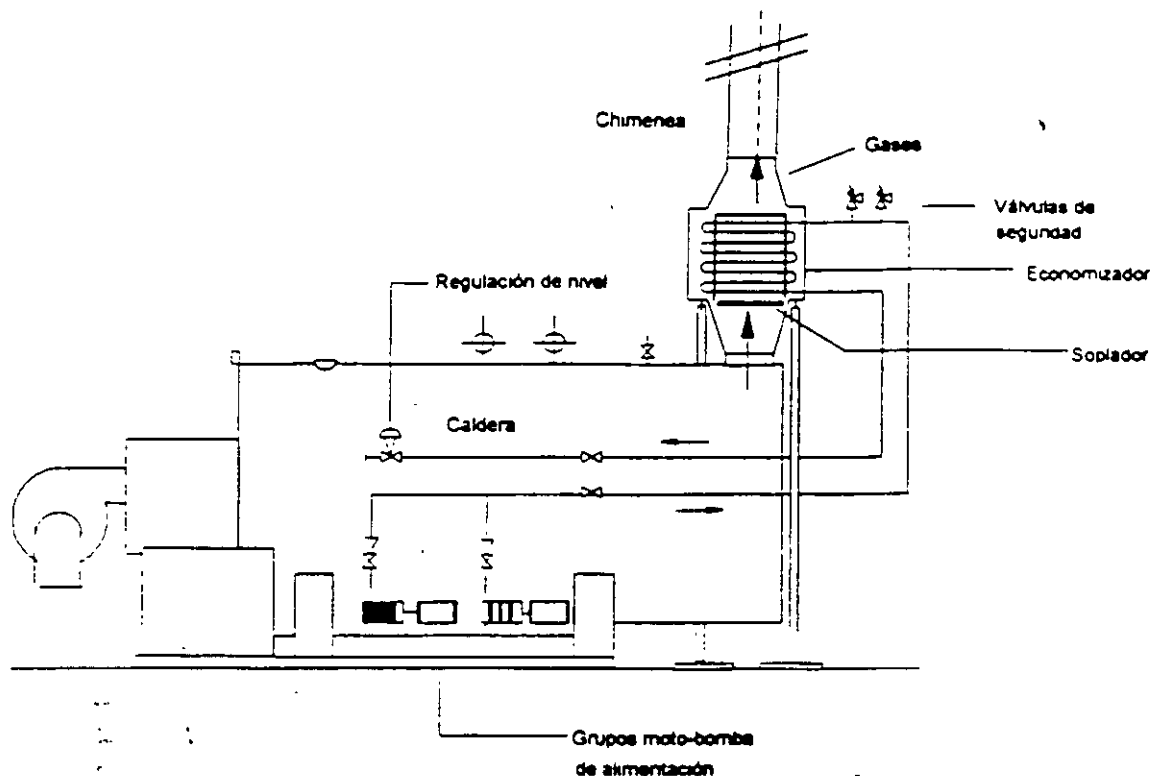


Aunque en los croquis no está indicado, a la hora de realizar la instalación de un economizador se han de satisfacer las siguientes especificaciones generales (en cada caso concreto habrá otra serie de especificaciones particulares que fijará el diseñador).

- Las válvulas para agua deben ser de cuerpo de acero. Es recomendable que sean válvulas de asiento.
- Debe instalarse un equipo de regulación del nivel de agua en la caldera, de forma que la alimentación de agua sea continua y se obtenga el mejor aprovechamiento energético.
- Se instalarán dos válvulas de seguridad, de acuerdo al reglamento vigente de recipientes a presión.
- Los conductos de gases deberán estar dimensionados para el máximo flujo de gases y contruidos de acuerdo a las recomendaciones habituales para evitar pérdidas de carga excesivas. El espesor mínimo será de 4 mm. Las soldaduras de placas se efectuarán con cordón interior y exterior. Las uniones atornilladas llevarán juntas de estanqueidad de amianto.



**FIG. 3.19: INSTALACION DE ECONOMIZADOR EN CALDERA COMPACTA (En serie)**



- Los cortatiros estarán previstos para trabajar con gases calientes y con las holguras suficientes para ser accionados con suavidad.
- Se instalarán las plataformas y escaleras necesarias para un fácil acceso para inspección y mantenimiento.
- Se instalarán en los conductos de gases dos termómetros, antes y después del economizador, de caña lo suficientemente larga para llegar al centro del conducto.
- Se instalarán dos termómetros en las tuberías de entrada y salida de agua al economizador, con vainas de acero inoxidable.
- Se debe dotar al equipo de los sopladores precisos para una fácil limpieza de las superficies de intercambio.
- El equipo deberá ir provisto de cierres metálicos que eviten salidas de gases, y de puertas para acceso a los tubos, atornilladas y con juntas de amianto.

- Deben aislarse, para reducir pérdidas de calor y proteger al personal
  - Tuberías de llegada y salida de agua, en todo su recorrido.
  - Tuberías de vapor de soplado.
  - Conductos de llegada de gases
  - El economizador.
  - Conductos de salida de gases en caso de peligro para el personal o riesgo de formación de rocío ácido.

Es recomendable utilizar aislamiento de fibras de vidrio o lana mineral, forrada con lámina de aluminio u otro similar.

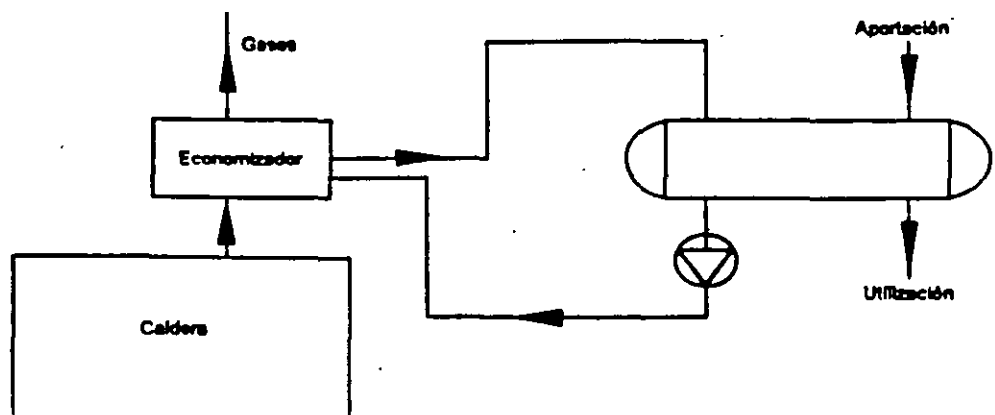
### Circuito del Agua

Básicamente pueden adoptarse dos disposiciones en el circuito de agua.

- Que el agua, una vez calentada en el economizador, pase directamente a la caldera. Este es el caso representado en las Figs. 3 18 y 3 19. Habitualmente se instala un juego de válvulas para aislamiento y bypass del equipo.
- Que el agua caliente del economizador pase a otros circuitos

En la Fig. 3 20 se muestra un ejemplo de esta última disposición, que se emplea frecuentemente para recuperar calor de los gases de las calderas de fluido térmico, por ejemplo.

**FIG. 3.20: RECUPERACION DEL CALOR DE GASES PARA TRANSFERIRLO A OTROS CIRCUITOS**



---

## 3.6 SOBRECALENTADORES

Ninguna caldera puede producir vapor recalentado a menos que se trate de una de tubos de agua provista de un tambor seco

La cantidad de humedad en el vapor presente en el vapor crece con el régimen de evaporación y en grandes capacidades es común el arrastre de humedad.

Cada 1% de humedad en el vapor reduce el rendimiento en un 2%

Por otro lado, el recalentamiento reduce consumo de vapor en las máquinas que lo utilizan, por tanto disminuye el consumo de vapor por unidad de potencia producida.

La experiencia demuestra que para eliminar cada 1% de humedad en la entrada se requieren aproximadamente, como 3.9°C de recalentamiento.

Por otra parte, existen condiciones iniciales de trabajo como en una turbina, que requieren de 425 a 570°C, las cuales son imposible de alcanzar sin recalentamiento, ya que la temperatura de saturación incluso a la presión crítica de 226 kg/cm<sup>2</sup> es sólo de 374°C. El rendimiento en un ciclo Rankine de una turbina en trabajo escalonado con vapor recalentado varía del 80 al 97%, mientras que el del escalón cuyos álabes trabajan con vapor húmedo puede ser tan bajo como 60%. El recalentamiento no sólo reduce las erosiones, sino que, aumenta el rendimiento general.

---

### 3.6.1 METODOS PARA RECALENTAR EL VAPOR

Hay dos métodos, en general, para recalentar el vapor, y ambos utilizan el calor de los humos o gases de combustión para eliminar las últimas trazas de humedad y aumentar la temperatura del vapor; estos son:

1. Recalentamiento por convección.
2. Recalentamiento por radiación.

---

### 3.6.2 RECALENTADORES PARA ALTAS TEMPERATURAS DE VAPOR

La demanda hoy en día se encuentra en temperaturas de vapor de 482 a 566°C, con una temperatura relativamente constante a lo largo de la zona de trabajo elegida, permitiendo variaciones de  $\pm 14^\circ\text{C}$ , y en condiciones normales de  $\pm 5.5^\circ\text{C}$ .

Por su parte, la temperatura de la flama, para obtener que la del vapor sea más elevada, se acerca a la temperatura de fusión de la ceniza en el carbón y existe una tendencia de ésta a depositarse en forma fluida sobre los tubos de los recalentadores, es decir, forma escoria.

Para estos problemas se tienen las siguientes soluciones:

1. Sitúe el recalentador cerca del hogar para obtener la temperatura de vapor requerida.
2. Sitúese un banco de tubos de pantalla en el frente del recalentador, para limitar la acumulación de escorias. La experiencia demuestra que estos tubos deberían hallarse bastante separados (30 a 35 cm).

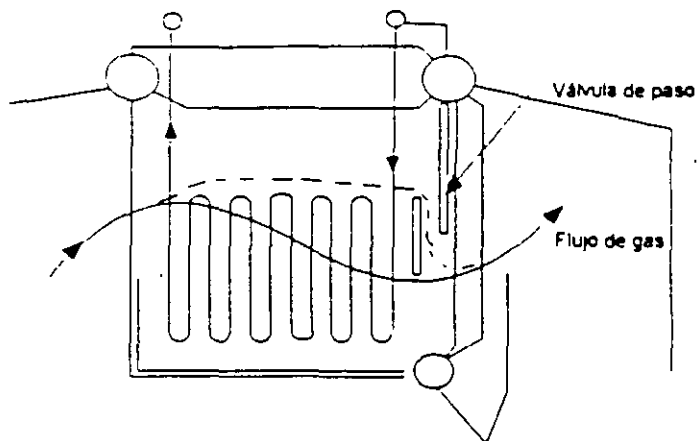
---

### 3.6.3 CONTROL DE TEMPERATURA EN RECALENTADORES DE CONVECCION

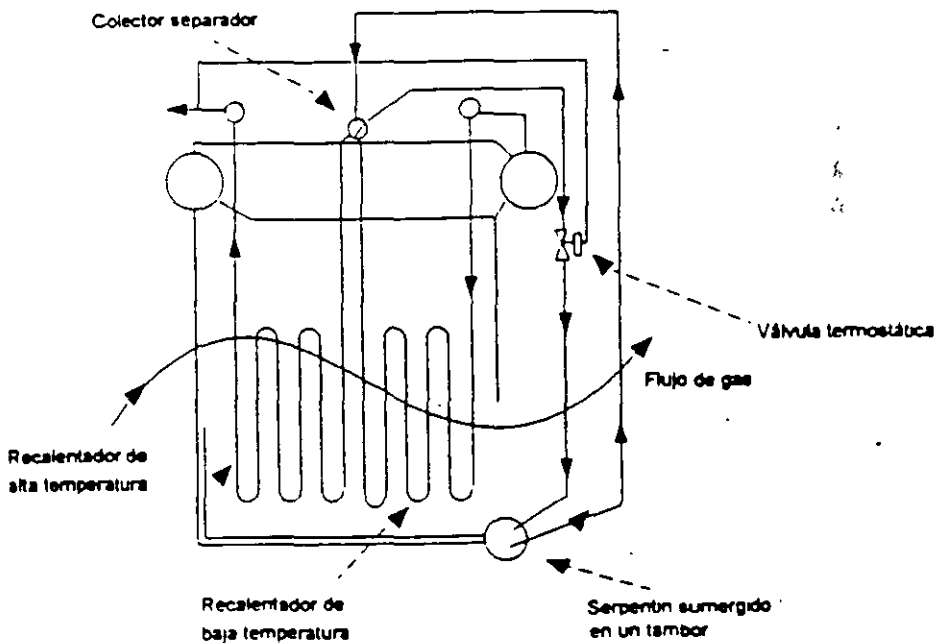
Un método de control de temperatura de vapor, usual hasta hace poco, era el de desviar (bypass) una parte de los gases de la combustión para que no pasen por la superficie del recalentador durante las altas producciones del vapor. En efecto, al aumentar la producción de la caldera, más gases y a mayor temperatura atraviesan el haz de tubos del recalentador, lo cual, al permanecer constante la superficie de transferencia de calor, origina que la temperatura total del vapor aumente más de lo que puede resistir la máquina accionada. Tal como se muestra en la Fig. 3.21, puede disponerse un canal de desviación con un registro. La resistencia disminuida del gas da lugar a un flujo de éste a través del canal de desviación, permitiendo con ello controlar el proceso de recalentamiento. Las dificultades que presenta el empleo de materiales que den resultado satisfactorio en lo referente a resistencia a la

corrosión y a elevadas temperaturas en los canales de gas, ha limitado el empleo del método de control a base de registro.

**FIG. 3.21: CONTROL DE TEMPERATURA DEL VAPOR POR FLUJO DE GAS**

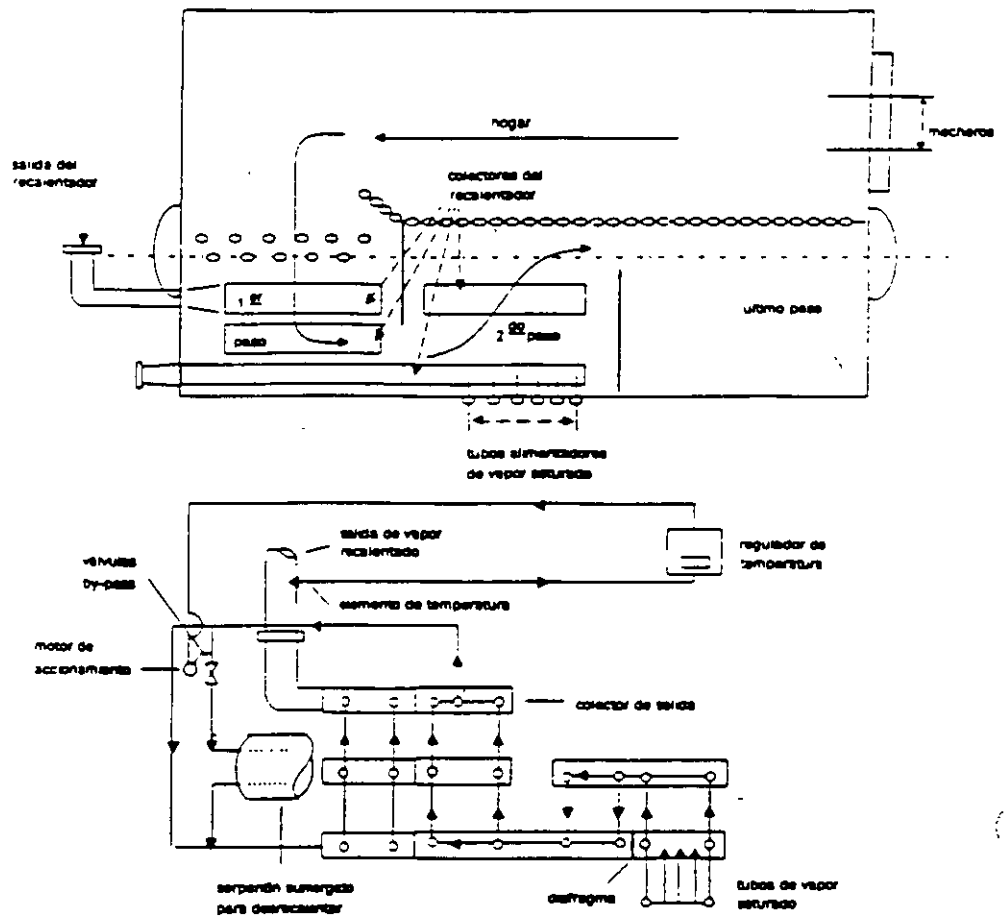


**FIG. 3.22: DESRECALENTADOR DE SERPENTIN SUMERGIDO EN EL TAMBOR**



PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

**FIG. 3.23: ESQUEMA DE LA CIRCULACION DEL VAPOR Y DE LA REGULACION DE TEMPERATURA**



Otro método se muestra gráficamente en la Fig. 3.22. Una parte del vapor de la sección de baja temperatura del recalentador es desviada a un serpentín sumergido en el tambor inferior de la caldera controlado por una válvula de paso; esta última es accionada según la temperatura final del vapor, con lo que el dispositivo resulta automático. El vapor desrecalentado es devuelto y se mezcla con el vapor que no ha sido desrecalentado, en un colector de ambos vapores y por último, el recalentamiento final tiene lugar en el recalentador del segundo escalón. Este dispositivo presenta la ventaja de que no hay mecanismos expuestos a la acción corrosiva de los gases de

PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

## Purga de Columna

Esta purga se realiza, obviamente en equipos que cuenten con una columna de agua que se encargue de mantener el nivel del agua dentro de la caldera

La columna de agua es un depósito donde se acumulan los lodos

La purga se realiza por medio de una válvula localizada en el fondo de la columna.

**Frecuencia.-** La misma que para la purga de fondo

---

## Purga de Instrumentos

Todos los instrumentos conectados a líneas o venas de vapor corren el riesgo de quedar obstruidos por incrustación, por lo que se hace necesario purgar los conductos donde se insertan. Esta purga se realiza por medio de una válvula localizada al final de la línea de instrumentos o aflojando estos lo suficiente para liberar vapor.

**Frecuencia.-** Esta purga se debe realizar cuando la caldera cuente con presión, 1 vez al mes.

---

## Venteo

Esta purga de venteo consiste en liberar el aire atrapado en el domo superior, y conductos de vapor cuando el sistema empieza su operación

La presencia de aire en líneas e incluso en la caldera, producirá golpes, oleajes y ruido, que pueden dañar los equipos instalados.

Esta purga se realiza abriendo las válvulas localizadas convenientemente en la caldera o en las líneas de vapor

**Frecuencia.-** Esta purga se debe realizar cada vez que comience la operación de la caldera, si es que en dicho momento la presión manométrica es cero.

---

## 3.9 VALVULA DE SEGURIDAD

---

### 3.9.1 CLASIFICACION DE LAS VALVULAS DE SEGURIDAD

Una válvula de seguridad tiene como función liberar el excedente de presión o energía del recipiente donde se encuentra instalada, siendo la capacidad de desfogue requerida equivalente a la capacidad de generación del equipo. Las válvulas de seguridad, se clasifican básicamente, en:

- a) Válvula de alivio, la cual abre proporcionalmente en respuesta al incremento de presión que se presente corriente arriba de ella.  
Este tipo de válvula se utiliza para líquidos.
- b) Válvula de seguridad propiamente dicha, caracterizada por abrir completamente en forma rápida.  
Este tipo de válvula se emplean para vapor o aire.

Las válvulas de seguridad se localizan instaladas en la parte superior de la caldera de vapor (domo superior).

Las válvulas de alivio también están colocadas en la parte superior, pero de calderas que producen agua caliente; su descarga puede estar conectada a un tanque de expansión para producir vapor instantáneo aprovechando el cambio de presión.

Se debe tener mucho cuidado en la calibración de cualquiera de los dos tipos de válvula, ya que una presión de ajuste arriba de la necesaria permitiría, en un momento dado, que la caldera trabaje a presión mayor de la debida, con los consiguientes riesgos operacionales, en tanto que, una presión de ajuste inferior a la requerida ocasionaría que las válvulas abrieran con demasiada frecuencia, ocasionando desperdicios de energía.



- 2) Abrir primero la válvula de apertura rápida, después la de cierre lento

**Frecuencia.-** La norma UNE-9075 indica los límites recomendables en las características del agua en el interior de las calderas. La Fig 3.29 indica estos valores tanto en calderas, tubos de agua, así como tubos de humo, en función de la presión.

**FIG. 3.29: NORMAS UNE-9075 SOBRE LÍMITES EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN EL INTERIOR DE LAS CALDERAS**

Tipo de caldera	Presión kg/cm <sup>2</sup>	Salinidad Total en CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Silice en SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Sólidos en suspension (mg/l)	Cloruros en Cl (mg/l)
TUBOS DE AGUA (ACUOTUBULARES)	0-20	3.500	100	300	2.000
	20-30	3.000	75	250	1.500
	30-40	2.500	50	150	1.000
	40-50	2.000	40	100	800
	50-60	1.500	30	60	650
	60-70	1.250	25	40	500
	70-100	1.000	15	20	350
TUBOS DE HUMO (PIROTUBULARES)	0-15	7.000	100	300	3.000
	15-25	4.500	75	300	2.000

Con estos valores y los resultados de los análisis del agua que realice el Ing. Químico de la planta, establecerá la frecuencia de esta purga.

Cuando no se cuenta con estos análisis, lo cual no es deseable, se recomienda hacer la purga cada 8 horas como mínimo, para prevenir problemas en la operación del sistema de vapor.

En calderas de alta presión, cuyo vapor se utiliza fundamentalmente en turbinas, el problema principal no son los sólidos disueltos totales sino el contenido de SiO<sub>2</sub>. El motivo radica en que el silice disuelto en el agua busca

un equilibrio electroquímico con el sílice del vapor, de tal forma que a mayores presiones es mayor el contenido porcentual del sílice en el vapor.

Este elemento se elimina con productos químicos y con las purgas de fondo y superficie.

---

### **Purga de Superficie**

La purga de superficie también llamada "continua", es el mecanismo empleado para eliminar sustancias en suspensión, tales como espumas, grasas o basura presentes en la superficie libre del agua frente a la cámara de vapor.

Para lograr esta purga solo se requiere sumergir de 2 a 3 cm por debajo del nivel libre del agua un tubo enflautado (perforado) con una salida hacia el drenaje o algún sistema de recuperación de calor, controlando esta purga con una válvula medidora que permanece abierta lo suficiente durante todo el tiempo de operación de la caldera.

**Frecuencia.-** Ininterrumpida (constante)

---

### **Purga de Cristal de Nivel**

Por disposición de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, todas las calderas cuentan con una "mirilla" del nivel del agua dentro de la caldera, llamada "cristal de nivel".

Este tubo de cristal se tapa o incrusta con los lodos de la caldera, falseando su nivel, por lo que es necesario purgarlo. Para hacerlo, el fabricante incluye una válvula en su diseño.

**Frecuencia.-** Esta purga se debe realizar cada vez que se arranque el equipo, en cambios de turno y al mismo tiempo que la purga de columna (con asiento en los registros o bitácoras).

### 3.6.5 EJERCICIO

Un recalentador integrado a una caldera funciona con los datos siguientes

Presión	=	36 kg/cm <sup>2</sup> abs
Temperatura de entrada al sobrecalentador, $t_1$	=	243°C
$h_1$	=	675.9 kcal/kg
Temperatura de salida del sobrecalentador, $t_2$	=	525°C
$h_2$	=	834.3 kcal/kg
Temperatura de los humos al sobrecalentador, $T_1$	=	1010°C
Temperatura de los humos a la salida del sobrecalentador, $T_2$	=	605°C
Capacidad nominal de la caldera	=	80 t/h (masa de los humos, 130,000 kg/h)

¿Cuál será la superficie del recalentador?

Solución:

$$A = \frac{80.000(834.3 - 675.9)}{25 \left( \frac{1.010 + 605}{2} - \frac{525 + 243}{2} \right)} = \frac{12'672.000}{\left( \frac{1.615}{2} - \frac{768}{2} \right) 25} = \frac{12'672.000}{29.912.5} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A = 425.41 \text{ m}^2$$

## 3.7 DEAREADORES

La exigencia actual de altas temperaturas, superficies limpias y agua de alimentación pura, hace de la corrosión un serio problema en las calderas y equipos que operan con vapor. La conservación de un alto grado de alcalinidad en el agua de la caldera ha sido utilizada para reducir la corrosión, pero mucho mejor resultado produce la eliminación del oxígeno. En algunas ocasiones se ha mencionado el fenómeno de la disociación del agua en el recalentado, formando oxígeno nascente que reacciona con el metal de los tubos, como causa también de corrosión.

---

## 3.8 PURGAS DE UNA CALDERA

La evaporación continua de agua en una caldera produce inevitablemente, un aumento en la concentración de los sólidos suspendidos en el agua que se encuentra en ella, haciéndose necesario eliminarlos periódicamente o en forma continua.

Una purga se define como la mecánica que se sigue para desalojar lodos, grasas, incrustaciones y el mismo aire de la caldera.

---

### 3.8.1 TIPOS DE PURGAS

Las purgas en una caldera pueden clasificarse como

- a) De fondo
- b) De superficie
- c) De cristal de nivel
- d) De columna
- e) De instrumentos
- f) De venteo

---

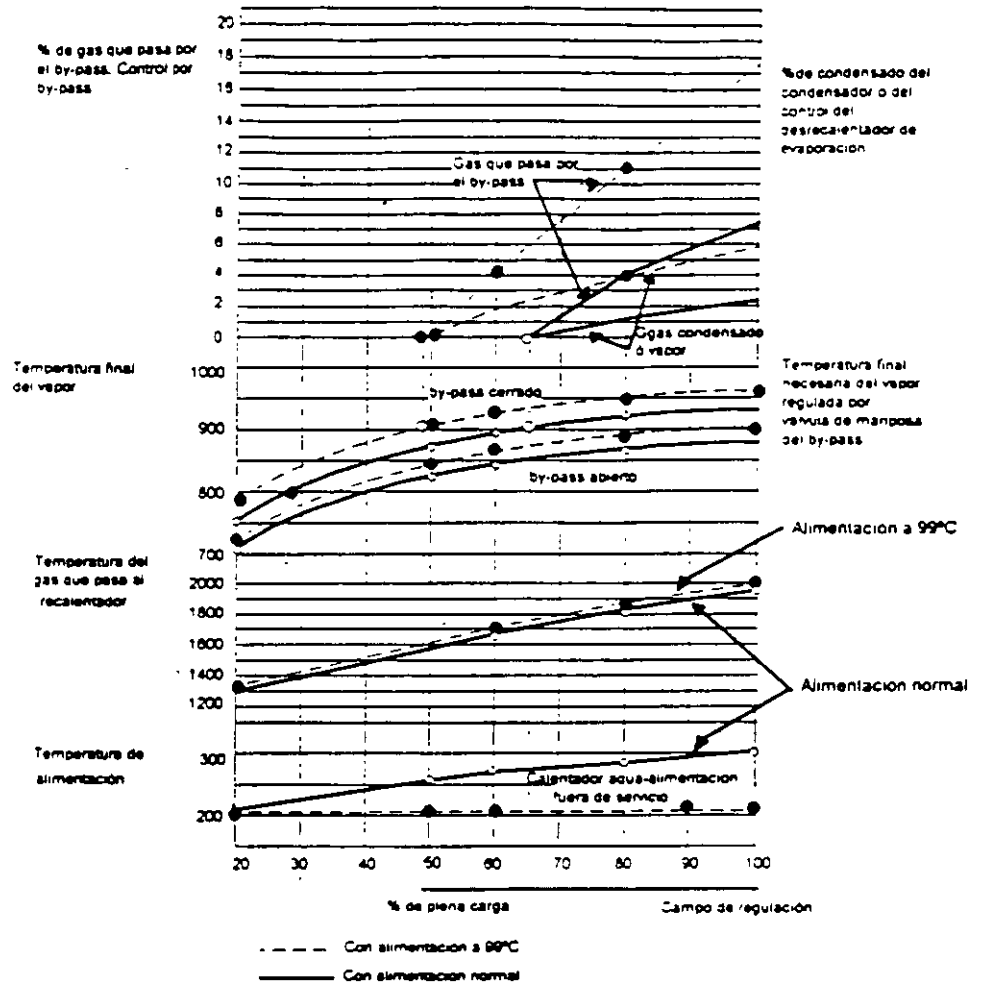
#### Purga de Fondo

Esta purga consiste en desalojar los lodos que se sedimentan en el fondo de la caldera al evaporarse el agua. Esta purga es muy importante, ya que evita el recalentamiento de las partes más bajas de la caldera y permite disminuir la concentración de sólidos en suspensión.

En instalaciones de presión moderada existen dos válvulas que nos permiten realizarla: una válvula de apertura rápida y una de cierre lento. El procedimiento para realizar esta purga es el siguiente:

- 1) Subir el nivel del agua en la caldera a medio cristal.

**FIG. 3.25: COMPARACION DE CARACTERISTICAS Y SISTEMAS DE CONTROL DE DESRECALENTADOR POR VALVULAS DE BY-PASS, CONDENSADOR Y EVAPORADOR**



El mismo control de temperatura de vapor podría obtenerse desviando un 28% del agua de alimentación, utilizando un condensador desrecalentador con agua de alimentación normal. También el desviar un 6% del agua de alimentación mantendrá constante la temperatura del vapor con agua de alimentación a 99°C.

### 3.6.4 SUPERFICIE DE CALEFACCION EN UN SOBRECALENTADOR

Al calcular la superficie necesaria en un recalentador de convección, se suele conocer la cantidad de vapor a recalentar y las temperaturas inicial y final. Se pueden deducir las temperaturas de entrada y salida de los humos tras un cuidadoso estudio del tipo de caldera que nos ocupe con ayuda, además, de datos empíricos sobre la absorción de calor en las distintas partes de la caldera. La temperatura inicial naturalmente, depende de la posición del recalentador y del régimen de la caldera. La siguiente fórmula que es una expresión de la transmisión térmica basado en la media aritmética de la diferencia de temperaturas, da un camino para enfrentarse con el problema:

$$A = \frac{Q(h_2 - h_1)}{\left( \frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2} \right) U} \quad (3.15)$$

Donde:

- A = superficie de calefacción, en m<sup>2</sup>,
- Q = producción de vapor, en kg/hora,
- T<sub>1</sub> = temperatura de los humos al entrar al recalentador, en °C
- T<sub>2</sub> = temperatura de los humos al salir del recalentador, en °C
- t<sub>1</sub> = temperatura del vapor al entrar en el recalentador, en °C
- h<sub>1</sub> = entalpia del vapor que llega al recalentador
- h<sub>2</sub> = entalpia del vapor que sale del recalentador
- t<sub>2</sub> = temperatura del vapor al salir del recalentador, en °C
- U = coeficiente de transmisión, Kcal/h-m<sup>2</sup>-°C.

Para recalentadores por convección, pueden emplearse valores de U desde 25 a 60, según sea lenta o veloz la corriente de humos.

combustión. Por consiguiente no existe un sobrecalentamiento del metal a altas temperaturas.

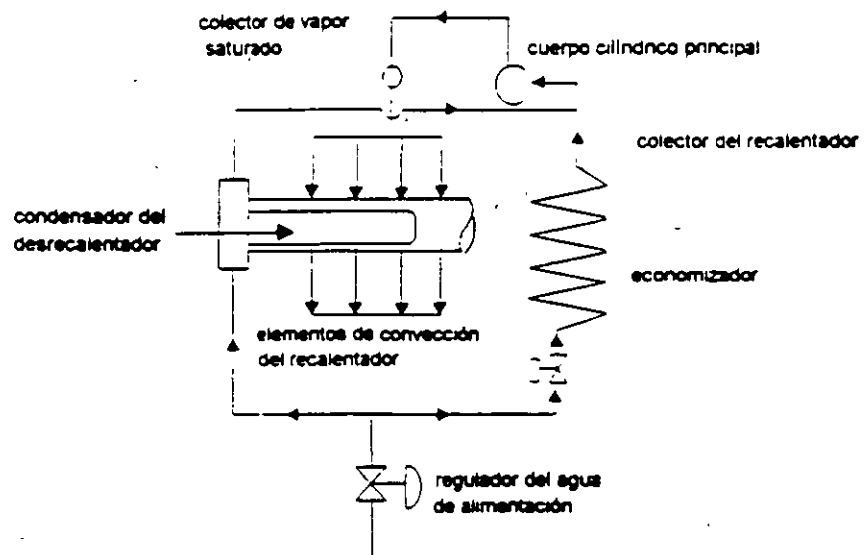
La Babcock & Wilcox Company ha utilizado este sistema durante años. Una instalación de estos últimos tiempos se muestra en esquema en la figura 3.23 aplicada a un generador de vapor normalizador de tipo F. Los gases fluyen horizontalmente a la parte posterior del hogar penetrando por el primer paso y pasando a continuación de éste al segundo y último paso, desplazándose verticalmente al equipo de recuperación de calor. Tal como muestra el diagrama, el vapor saturado del cuerpo cilíndrico superior penetra en la sección del segundo paso de un recalentador y después al colector opuesto, es decir, también en el segundo paso, y retrocede al colector primitivo. Un diafragma divide las dos secciones del colector del recalentador; entonces el vapor pasa a través de tubos a una sección del colector de salida. En este punto, todo el vapor sale de la caldera y una parte de vapor parcialmente recalentado se desrecalienta, uniéndose después las dos corrientes de vapor que pasan a través de la sección final del recalentador de alta temperatura. Un control automático de temperatura mantiene una regulación precisa.

Otro método de control se muestra en el esquema de la Fig. 3.24. Este esquema controla el flujo de agua a la caldera de acuerdo con la temperatura de vapor requerida. Una parte del agua de alimentación de la caldera, después de desviarse del regulador de agua, pasa a un desrecalentador-condensador situado en la admisión del colector del recalentador. El vapor procedente del cuerpo cilíndrico penetra en el colector del recalentador y se humidifica por la superficie de calefacción situada en el colector. Un control automático regula la cantidad de agua de alimentación que se desvía.

El comparativo de los resultados obtenidos al desviar el gas por un bypass con relación al desrecalentamiento, se indican en la Fig. 3.25. Esta caldera suministra vapor a una máquina con tres calentadores de agua de alimentación. La temperatura del agua de alimentación, con todos los calentadores en funcionamiento, varía desde 99°C al 20% de producción de la caldera hasta 149°C al 100%. Si el calentador de alta presión está fuera de servicio, la temperatura del agua de alimentación es constante debido a un desaerador a presión constante, y el recalentador de vapor funcionará de forma que proporcione un vapor a temperatura constante. La temperatura del agua de alimentación se indica en la parte inferior de la figura. El efecto

de la temperatura del gas sobre el recalentador se indica más arriba. Siguen a continuación las curvas características de temperatura de vapor y convección del recalentador. Una disminución de la temperatura de alimentación aumenta el flujo de gas y eleva la temperatura del vapor. El desviar por by-pass el gas de combustión rebaja la temperatura de vapor. Con agua de alimentación normal se alcanza la temperatura de vapor deseada con una carga de 85% y con agua de alimentación a 99°C para un 48% de carga, es decir 482°C. Desviando por by-pass hasta un 7% del flujo de gases de combustión con temperaturas de alimentación normal, mantiene constante la temperatura de vapor para una carga de 100%. En la misma forma, el desviar por bypass hasta un 17% de los gases de combustión, mantiene constante la temperatura del vapor (agua de alimentación) hasta un 100% de la carga de la caldera.

**FIG. 3.24: CONTROL DE TEMPERATURA DEL VAPOR EN EL CONDENSADOR FOSTER-WHEELER DE DESRECALENTAMIENTO**



PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR



- \* La circulación, es independiente del desarrollo de la combustión, y por lo tanto, se asegura también durante los arranques y los paros de la caldera.

Entre las desventajas de la circulación controlada, que es necesario considerar, están las siguientes:

- \* Un trabajo más preciso en la fabricación de los tubos, en función del menor espesor.
- \* La inclusión de la bomba, representa no sólo un aumento en el costo inicial, sino también un mayor costo de operación, debido al consumo de energía eléctrica.
- \* Mayor indisponibilidad parcial o total de la caldera, en caso de trabajos o mantenimiento de la bomba.

En un generador de vapor, el proceso de combustión radia calor en forma no uniforme a las paredes de los tubos del hogar, por lo que algunas áreas reciben más calor que otras creando regiones que tienen puntos desviados del patrón de flujos de calor. Condiciones temporales variables de operación debidas a rápidos cambios de carga crean variaciones en la transferencia de calor y en los requerimientos de circulación de agua.

En las calderas de circulación natural, si la variación de los puntos de flujo de calor excede la habilidad del agua en los tubos del hogar de absorber calor, entonces aparece una condición que causa el despegue de la Ebullición nucleada (DEN); bajo esta condición se forma una película de vapor contra la pared del tubo que evita que el agua alcance la superficie del tubo y lo enfríe, incrementando pronunciadamente la temperatura del metal del tubo que provocará que eventualmente falle el tubo, según la figura siguiente.

El DEN es una función compleja de la presión, la unidad del vapor y la de velocidad de masa.

Para resolver el problema anterior, existen dos tecnologías utilizadas por los principales fabricantes de calderas:

- \* Utilización de bombas de circulación en la caldera para incrementar la relación de circulación y lograr el enfriamiento de los tubos.
- \* Empleo de tubos helicoidalmente en la pared interior para generar un flujo centrífugo en el interior del tubo; esta acción centrífuga fuerza al agua contra la superficie del tubo para evitar la formación de la película de vapor y el DEN resultante.
- \* Estos tubos estriados, mantienen la ebullición nucleada a calidades de vapor más altas y a menores velocidades de masa que los tubos lisos.

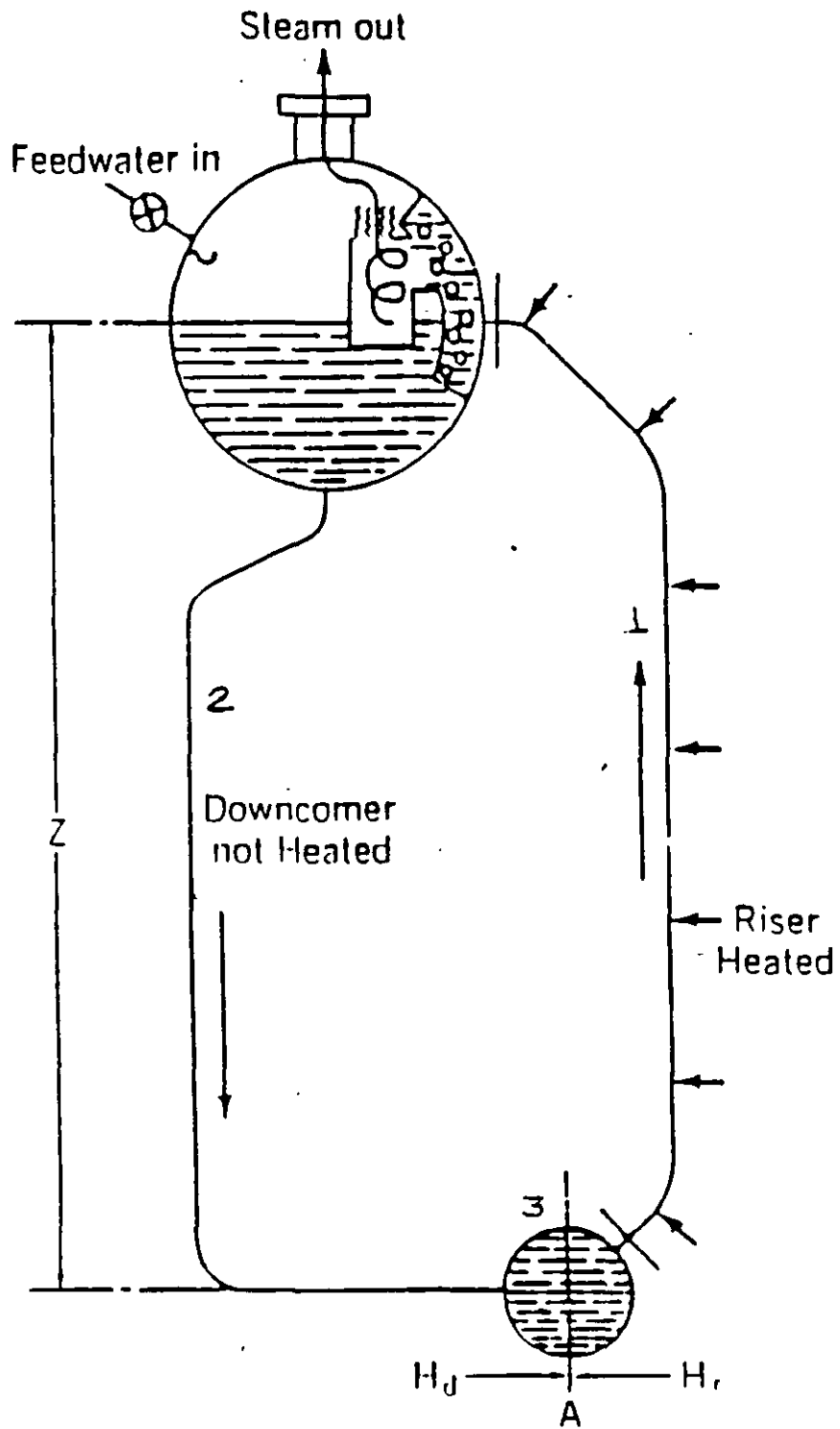


Fig. 1 Simple natural-circulation circuit (diagrammatic) including primary steam separator in drum.

la caída de presión dinámica debida a la circulación cuando sea igual a la diferencia de presión estática más arriba.

## TIPOS DE CIRCUITOS AGUA-VAPOR

Los diferentes tipos de circuitos de agua-vapor, que se han desarrollado en las calderas, tienen el objetivo de asegurar una circulación eficiente de la mezcla agua-vapor, en los tubos evaporadores siendo éste, un problema de importancia fundamental en el diseño de los generadores de vapor; la circulación insuficiente en un tubo, crea un estancamiento o paralización de las burbujas de vapor sobre la superficie interna con el consecuente aumento de la temperatura de metal. Esto, además provoca el depósito en esa zona, de los óxidos que inevitablemente se transportan a la caldera.

Los óxidos, tienden a depositarse en la zona de estancamiento del vapor y en las zonas de mayor evaporación, dando inicio al fenómeno de corrosión e incrustación y por tanto, en breve tiempo el sobrecalentamiento del metal y a continuación la rotura del tubo.

Si la circulación es particularmente ineficiente, se tiene el riesgo de una fuerte disminución del coeficiente de transferencia de calor en la superficie interna del tubo y agua, con relación al de diseño y como el tubo está expuesto a la flama, se alcanzan temperaturas prohibitivas para la misma vida del tubo.

El análisis de todos los factores que influyen la circulación es complejo y las soluciones adoptadas para su perfeccionamiento en el diseño de calderas son sustancialmente diferentes y pueden agruparse en cuatro tipos principales:

- \* Circulación natural.
- \* Circulación controlada.
- \* Circulación forzada.
- \* Circulación combinada.

Enseguida, se hace una breve discusión de estos cuatro tipos de circulación.

### CIRCULACIÓN NATURAL

Este tipo de circulación, es el que ha sido descrito en la sección anterior.

### CIRCULACIÓN CONTROLADA

En las calderas que funcionan a presión elevada (más de 150 kg/cm<sup>2</sup>), es muy difícil realizar la circulación natural, puesto que a esas presiones se reduce la diferencia de peso específico entre el agua y el vapor que constituye el "motor" de la circulación, aumentando el peligro de que alguna parte de la caldera no tenga circulación, con las consecuencias de sobrecalentamiento y rotura de tubos.

Aunque en teoría, se puede obtener circulación natural hasta unos 200 kg/cm<sup>2</sup> de presión, con tubos de bajas pérdidas de carga por fricción, únicamente se podría obtener una relación de circulación (flujo de agua, flujo de vapor producido) de 6, contra una relación mínima de 8 requerida por seguridad, en virtud de que existen muchas condiciones de funcionamiento real, que se apartan de las condiciones ideales de diseño.

Para resolver el problema anterior, se refuerza el mecanismo de circulación, instalando una o más bombas en el circuito de vaporización, y de esta forma se asegura que se le imprime al agua, la presión necesaria para vencer la resistencia del sistema de tuberías, asegurando la circulación constante del fluido y evitando el peligro de sobrecalentamiento. A la bomba se le denomina bomba de circulación de la caldera (BCC) y al sistema de circulación, "circulación controlada".

La instalación de la bomba se efectúa en los tubos de bajada (down corners) del domo superior, que van a los colectores de alimentación del esquema de vaporización, mediante un cabezal de succión de las bombas.

El refuerzo requerido de la bomba, es solamente el necesario para sustituir el de la circulación natural y vencer la resistencia del circuito, es decir, se trata de valores del orden de 2.5 a 3.5 atmósferas, siendo suficiente un solo impulsor de bomba centrífuga.

La fabricación de esta bomba, debe ser muy precisa, para garantizar una alta disponibilidad en las condiciones del medio de alta presión y temperatura; el motor eléctrico está sumergido en el agua a la misma presión de la bomba, únicamente aislado (de la bomba) por medio de un manguito largo sobre el eje. El motor eléctrico tiene un circuito de enfriamiento, para evitar daños al aislamiento que soporta como máximo unos 80°C; en la flecha tiene un impulsor auxiliar para la circulación del agua de enfriamiento hacia el motor y a un cambiador de calor de superficie externo.

Las ventajas de la circulación controlada, son principalmente las siguientes:

- \* Al poder admitir en el circuito de vaporización una caída de presión, puede reducirse el diámetro de la tubería, que a igualdad de condiciones de operación, representa un espesor menor; la reducción de materiales significa una notable reducción de costos de fabricación.
- \* Se puede obtener una protección sin riesgo con una relación de circulación de 4; se puede disponer mediante orificios calibrados del gasto óptimo a cada tubo, con relación al calor que absorbe y al trayecto que sigue.
- \* La circulación activa, asegura una buena uniformidad en las temperaturas de los tubos, siendo posible la construcción de paredes de tubos soldados sin el peligro de tensiones anormales debidas a excesiva diferencia de temperatura en tubos adyacentes.

## OTRAS PARTES Y ACCESORIOS

Además de los equipos y componentes mencionados anteriormente, la caldera requiere de otras partes y accesorios para poder hacerla funcional; entre estas partes y accesorios, se encuentran las siguientes:

- A. Mirillas de observación y registros de inspección.
- B. Cristales de nivel que muestran el nivel del agua en el domo.
- C. Grifos de prueba que sirven para probar los niveles de agua.
- D. Válvulas de diversos tipos requeridos para purgas, venteos, paro, aislamiento, control, etc.
- E. Instrumentos de diversos tipos para medición, control y regulación de diversos factores, así como protección de la caldera y sus diversos componentes.
- F. Tomas para muestreo e instrumentos.
- G. Cámara de TV para observación de los fuegos en el hogar.
- H. Purgas y venteos.- A lo largo de la tubería y colectores de las calderas se proveen válvulas de purgas o drenajes y venteos.

Las válvulas de purgas en las calderas se usan para los siguientes propósitos:

- \* Drenaje de la caldera.
- \* Bajar el nivel de agua.
- \* Remover el exceso de químicos y lodos precipitados del agua de la caldera.
- \* Eliminar el agua que se condensa en las zonas que en funcionamiento normal son recorridas por vapor.
- \* Asegurar la circulación del fluido refrigerante (vapor) en sobrecalentadores durante los arranques en que todavía no se establece el suministro normal de vapor.

Las válvulas de venteo se instalan en donde se provee a la formación de bolsas de aire en el circuito agua-vapor y que tienen los siguientes inconvenientes (las bolsas de aire):

- \* Reducción en la capacidad de cambio de calor en las zonas de utilización.
- \* Ruidos en el circuito.
- \* Disturbios en la circulación regular del agua.

Las purgas y venteos en un generador de vapor se proveen con una válvula en un generador de vapor se proveen con una válvula interceptora en la raíz y de una válvula de maniobra. La forma de la válvula, la naturaleza del material, los elementos internos y de maniobra se estudian en relación al tipo de fluido, a la presión, a la temperatura y al sistema.

## CIRCULACIÓN DEL AGUA EN LA CALDERA

### 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para la producción continua de vapor en el sistema hervidor, es necesario una circulación constante en las paredes, pantallas, bancos, cabezales y tubos para que el vapor formado en las paredes de tubos y elementos hervidores sea reemplazado con nuevas cantidades de agua que a su vez se evaporará.

La circulación de agua puede ser natural o forzada. En todos los casos la cifra que caracteriza la circulación es un coeficiente de recirculación "n" definido para cada tubo o ensamble de tubos con la relación entre flujo de agua introducido  $W$  y el flujo de vapor producido  $W_v$  en la siguiente forma:

$$n = \frac{W}{W_v}$$

En los casos de calderas de circulación forzada o de un paso, el agua introducida en la caldera es integralmente vaporizada en tal forma que el coeficiente de recirculación es  $n = 1(Y/1)$  constituye evidentemente el valor más pequeño que puede tener este coeficiente.

En el caso de calderas de circulación controlada, una bomba de recirculación asegura el flujo de agua en el circuito en el sistema hervidor-domo separador con un coeficiente de recirculación a la carga nominal "n" que varía de 4 a 12, pero con valores más usuales de 8 a 10.

El problema más complicado es cuando la circulación de la caldera se provee en forma natural, es decir, con circulación natural; en este caso el flujo de agua introducida en cada tubo no está asegurada por medio de una bomba, sino que se hace por diferencia de presión que se origina a causa del calentamiento más fuerte de una rama del circuito y en consecuencia el coeficiente de circulación es desconocido. Cuando éste no se verifica por un cálculo adecuado hidrodinámico puede ocurrir que en algunos tubos aparezca falta de circulación y que se produzca sobrecalentamiento local de vapor seguido por una degradación térmica del material de los tubos. El coeficiente de recirculación normal en las calderas de circulación natural es de 10 a 40 y en algunos casos en calderas pequeñas puede alcanzar cifras de 100 a 400. El sistema más simple de circulación natural es el formado por dos tubos unidos a un tambor en la parte superior como el mostrado en la Fig. 1. Al tubo descendente llega un flujo de calor menor que al tubo elevador (en el caso de que el domo se coloque fuera del paso de los gases no va a llegar flujo de calor al tubo descendente); debido a la mezcla de agua de vapor formado en la columna (1) el peso específico  $P_1$  del fluido en esta columna va a ser menor que el peso específico  $P_2$  del fluido de la columna (2) y en consecuencia en el punto de unión (3) la columna (1) va ejercer una presión estática menor que la ejercida por la columna (2). La diferencia entre las dos presiones estáticas es el elemento que propicia la circulación y la velocidad de circulación se va a establecer con los valores de

---

## Artículo 46° Capacidad

La capacidad máxima de descarga de una válvula de seguridad deberá determinarse a una presión de tres por ciento mayor a la que tenga de ajuste, con una diferencia entre presiones de apertura y de cierre no mayor de cuatro por ciento de la de ajuste, no debiendo ser esa diferencia, en ningún caso, menor de ciento cuarenta y un gramos por centímetro cuadrado

El diámetro de la válvula o válvulas de seguridad se calculará de acuerdo con la fórmula señalada en el artículo 108.

---

## Artículo 47° Instalación

La instalación de las válvulas de seguridad en los generadores deberá llenar los requisitos siguientes.

1. Todo generador deberá tener conexiones apropiadas para la válvula o válvulas de seguridad requeridas, independientemente de cualquiera otra conexión de vapor, debiendo ser el área del orificio igual al área o la suma de las áreas de la válvula o válvulas que de él dependan
2. Las válvulas de seguridad deberán colocarse lo más cerca posible del generador y, en ningún caso, se permitirá que haya válvulas de cierre entre ambos, ni tampoco en el tubo de descarga de las mismas a la atmósfera.
3. Cuando se usen tubos de descarga, éstos deberán tener un área no menor que la de la válvula y estarán equipados con dispositivos de desagüe para evitar que el agua se acumule en la parte superior de la válvula
4. Cuando se coloque un codo en el tubo de descarga de la válvula se pondrá cerca de ésta, debiendo estar el tubo fijamente sostenido.
5. Si se usa un silenciador en la válvula, el área de salida deberá ser lo suficientemente amplia para evitar que la contrapresión entorpezca la operación o disminuya la capacidad de descarga. Además estará

construido de manera de evitar que se obstruya la salida del vapor, depósitos o desprendimientos de sus partes constitutivas.

6. La descarga de la válvula o válvulas de seguridad deberá hacerse siempre fuera de las plataformas o andamios de trabajo de los generadores.

---

### Artículo 48° Válvulas de Seguridad de Recalentadores

Dentro de la capacidad de descarga de la válvula o válvulas de seguridad de todo recalentador, unido a su generador, deberá estar incluida la de las válvulas de seguridad del generador, siempre que no haya válvulas intermedias entre la de seguridad del recalentador y la del generador, y siempre también que la capacidad de descarga de la válvula o válvulas de seguridad del generador sea por lo menos de setenta y cinco por ciento de la capacidad total requerida.

---

### Artículo 108° Diámetro de las Válvulas de Seguridad

El diámetro de las válvulas de seguridad se determina por la siguiente ecuación:

$$D = 26 \sqrt{\frac{H}{0.59 + P}} \quad (3.16)$$

Donde:

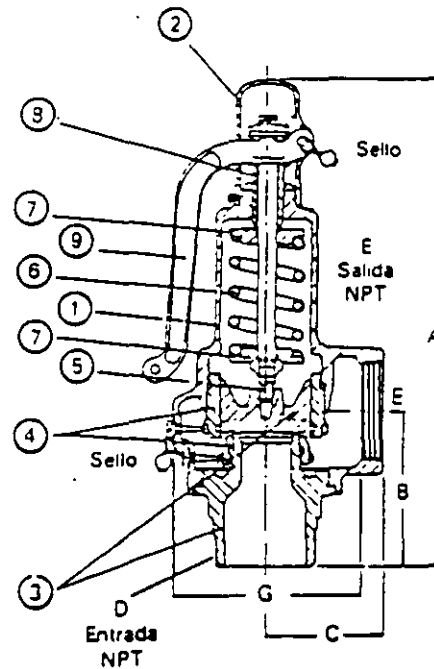
H	Superficie de calefacción en m <sup>2</sup>
P	Presión de máxima del trabajo, kg/cm <sup>2</sup>
0.59 y 26	Constantes de ajuste de unidades
D	Diámetro, mm

**Nota:** El diámetro calculado por esta fórmula puede ser sustituido por más de una válvula, siempre y cuando la suma de las AREAS de estas sea igual a la del diámetro calculado."



FIG. 3.33: VALVULA DE SEGURIDAD

PARTE	MATERIAL
1 Bonete	Bronce
2 Casquillo	Bronce
3 Base y disco	Bronce
4 Anillos de ajuste	Bronce
5 Vástago	Acero al carbon
6 Resorte	Acero al carbon
7 Roldanas	Laton
8 Tornillos de compresión	Latón
9 Palanca	Bronce



PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

---

### **3.9.2 *NORMATIVIDAD PARA INSTALACION DE VALVULAS DE SEGURIDAD***

La instalación de las válvulas de seguridad y alivio, así como su selección y cálculo, están normadas en los artículos 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 108, del Reglamento para Inspección de Generadores de Vapor y Recipientes Sujetos a Presión, de la Secretaría del Trabajo, mismos que se transcriben a continuación:

---

#### **Artículo 43° Válvulas de Seguridad**

Todo generador, cuya superficie de calefacción sea menor de cincuenta metros cuadrados, o que su capacidad evaporativa sea hasta de mil kilogramos de agua por hora, tendrá una válvula de seguridad.

Cuando su superficie de calefacción o capacidad evaporativa sea mayor que los valores indicados anteriormente, tendrá dos o más válvulas de seguridad.

Todo recipiente sujeto a presión deberá tener las válvulas necesarias para su seguridad, debidamente calculadas.

---

#### **Artículo 44° Tipo de Válvulas de Seguridad Permitido**

Sólo se permitirá el empleo de válvulas de seguridad del tipo "Resorte" de carga directa. Queda prohibido el empleo de válvulas de seguridad llamadas de "palanca" y "Peso directo".

---

#### **Artículo 45° Ajuste**

Una o más válvulas de seguridad del generador se ajustarán a la presión máxima de trabajo permitida, pudiéndose ajustar el resto de ellas dentro de un tres por ciento en exceso, para cada una sin que la suma de por cientos de exceso en el ajuste de todas ellas exceda del diez por ciento de la presión máxima de trabajo permitida.

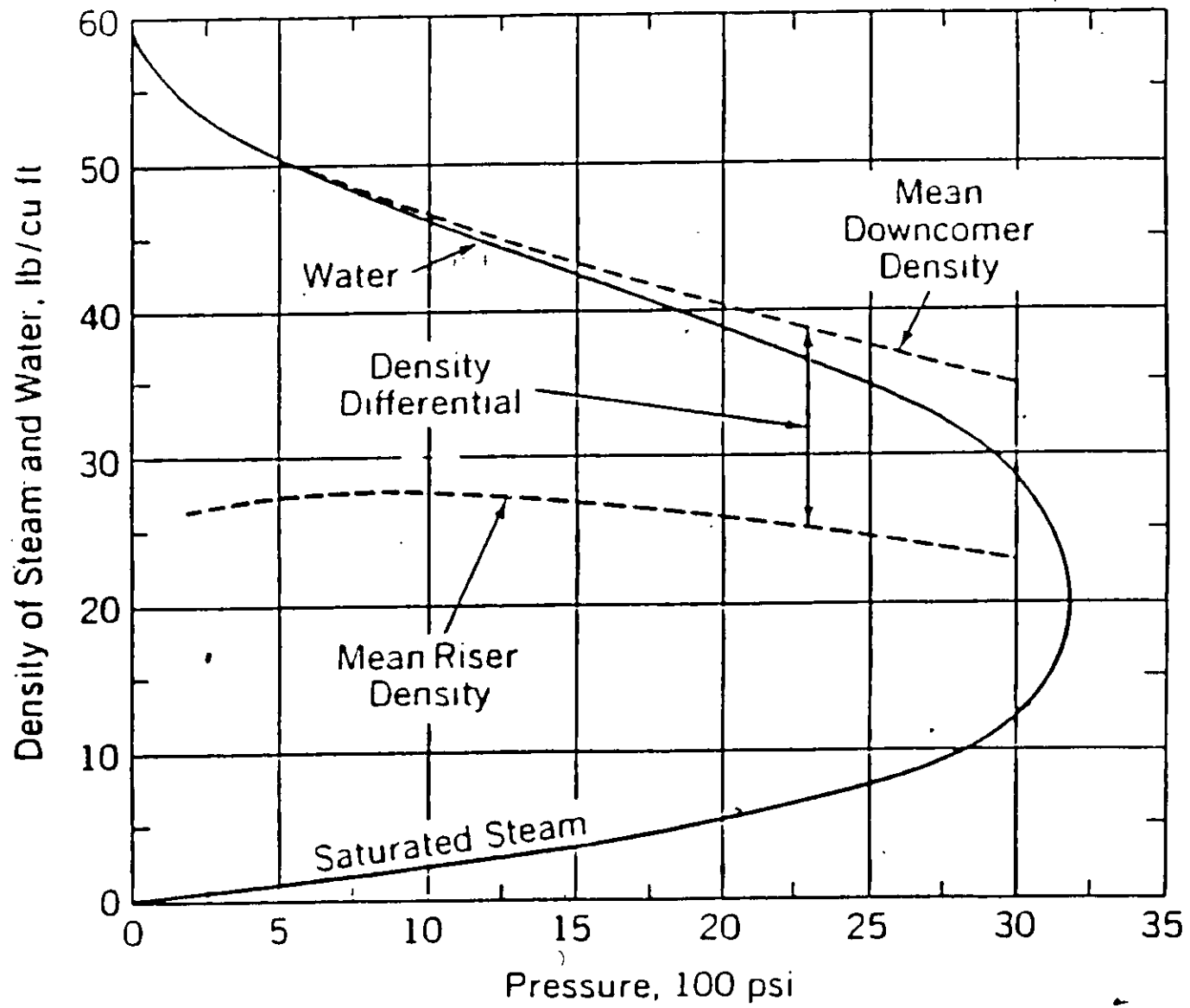


Fig. 2. Effect of pressure on density in downcomers and risers

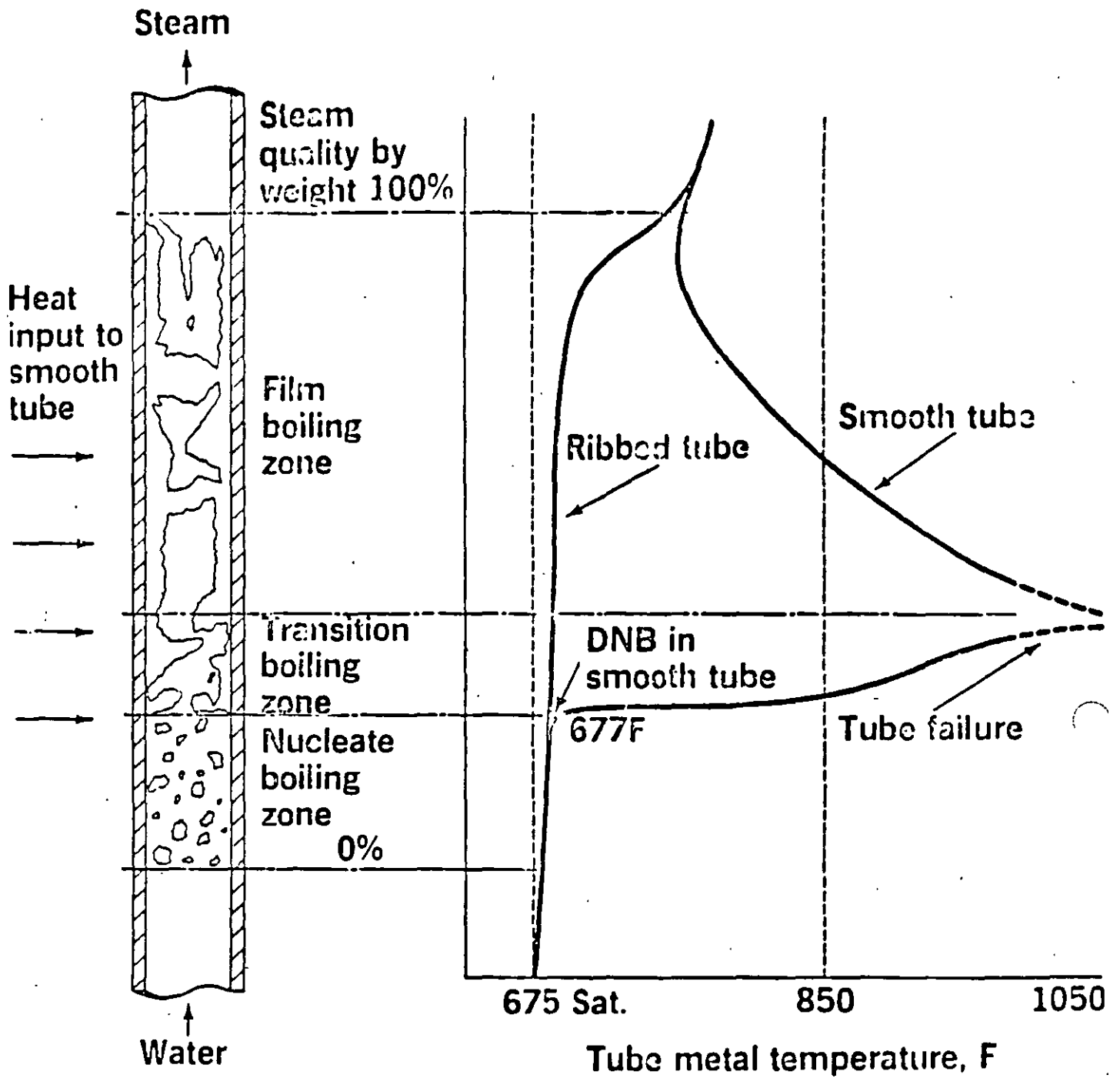
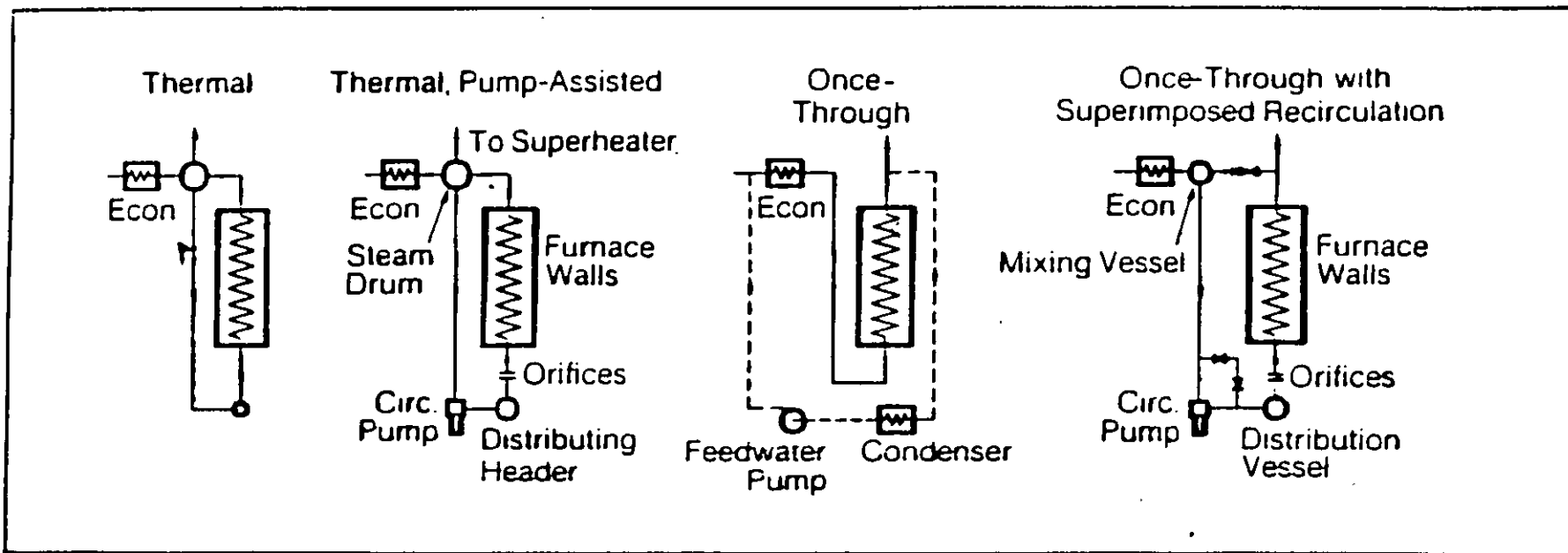


FIG. 3. Furnace smooth tube failure related to DNB

TABLA No 1  
TIPOS BASICOS DE ESPECIFICACION

	ESPECIFICACION DE DISEÑO DETALLADO	ESPECIFICACION DE COMPORTAMIENTO
ALCANCE	Se le indica al fabricante o vendedor que hacer y como hacerlo	Se le indica al fabricante o vendedor que características o atributos se requieren del producto final, dejándolo en libertad de seleccionar los detalles.
RESPONSABILIDAD DEL RESULTADO	Normalmente recae sobre el solicitante	Completa sobre el Fabricante o vendedor
CALIFICACION Y CUALIDADES DEL FABRICANTE	Se aceptan fabricantes poco experimentados, pero se necesitan ingenieros solicitantes expertos	Se canaliza a fabricantes con un buen historial de experiencia y comportamiento
COSTOS	Generalmente resulta mas costoso, pero pueden ser analizadas y separadas muchas partidas de producción, de línea	Es mas difícil separar partidas y se limita la capacidad de analizar los costos parciales del fabricante.
VIGILANCIA Y SUPERVISION DE PROGRAMAS Y DE SUBCONTRATISTAS	Relativamente fácil de vigilar	Se dificulta y frecuentemente se detecta un problema cuando es tarde para tomar acciones correctivas
INTERACCIONES	Se requiere una extensa coordinación es el mejor camino cuando las interacciones son significativas.	Es el mejor camino si las interacciones están limitadas o no son determinantes.



**Fig. 4 Steam-generator circulation systems**

# CAPITULO 5

## CONSUMO DE ENERGIA TERMICA

---

### 5.1 SISTEMAS DE VAPOR

Al examinar cualquier sistema de vapor a detalle, es necesario definir las partes principales que lo forman, con lo cual se puede estimar la eficiencia total del mismo y comprender la importancia de elevarla.

Un sistema de vapor incluye las siguientes partes:

- **Caldera o generador de vapor.** Equipo que produce vapor, saturado o sobrecalentado, quemando algún o varios tipos de combustibles.
- **Tuberías de distribución.** Conductos que permiten transportar el vapor producido en la caldera o generador, hasta los puntos en los que será utilizado. Dependiendo del servicio que se desea suministrar con el vapor, las tuberías de distribución requieren para su operación, tales como: válvulas de control, separadores de humedad, acondicionadores de vapor, sistemas de drenado para la eliminación de condensados formado en las tuberías, instrumentos de medición y control y aislamiento térmico para evitar las pérdidas de calor.
- **Sistemas de retorno de condensados.** Estos sistemas comprenden las tuberías de drenado desde los equipos consumidores de vapor, hasta las tuberías de recolección que los conducen al tanque de

---

almacenamiento, así como los equipos de tratamiento adecuados para hacer que los condensados recuperados puedan ser usados nuevamente en la producción de vapor. Un sistema típico está compuesto de trampas de vapor, válvulas de control, sistemas de bombeo, instrumentación, tanques de almacenamiento y aislamiento térmico.

- **Equipos consumidores de vapor** Son los equipos en donde el vapor es utilizado como medio de calentamiento, como agente químico, para producir trabajo o para generar indirectamente electricidad.

---

### 5.1.1 EFICIENCIA DE LA CALDERA O GENERADOR

El cálculo de la eficiencia en la generación de vapor se puede realizar por métodos directos o indirectos.

El método directo se basa en la definición de eficiencia, "energía utilizada para generar vapor, o sea, la diferencia de entalpías entre el agua de alimentación y el vapor producido multiplicada por la cantidad producida, dividida entre el poder calorífico de combustible multiplicado por el consumo.

El método indirecto evalúa la eficiencia mediante el análisis de las pérdidas de energía que se presentan en la caldera. Estas son debidas al calor de los gases de escape, pérdidas por radiación y convección desde las paredes del equipo hacia la atmósfera, pérdidas por purgas y pérdidas por combustión fuera de los niveles óptimos. Para obtener la eficiencia, cada una de estas pérdidas deben ser evaluadas utilizando equipo e instrumentación adecuado.

$$\eta = 100\% - \sum (\text{pérdidas}) \quad (5.1)$$



### 5.1.2 EFICIENCIA DE LAS TUBERIAS DE DISTRIBUCION

Similarmente, puede evaluarse la eficiencia de esta parte del sistema directa o indirectamente.

El método directo consiste en medir la energía que llega hasta los usuarios dividida entre la energía de entrada al sistema de distribución.

$$\eta_{\text{dist}} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i h_i}{w_v h_v} \quad (5.2)$$

Donde:

- i = Es el punto de llegada a cada usuario de vapor
- v = El punto de entrada del cabezal principal de vapor
- w = F flujo, kg/h
- h = Entalpía del vapor, kcal/kg

El método indirecto consiste en medir, de manera análoga, las pérdidas de energía por fugas y mal aislamiento.

### 5.1.3 EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADOS

La eficiencia del sistema de retorno de condensado está en función de la cantidad de condensado que se recupere y se calcula de acuerdo a la energía disponible, dividida entre la energía total del sistema de vapor.

La energía disponible es la suma del calor latente, o entalpía de vaporización, más la entalpía del condensado multiplicado por el porcentaje de condensado que se recupere, por un factor de eficiencia de recolección.

$$\eta_{\text{cond}} = \frac{h_g - h_f(1 - f_c \times f_r)}{h_g} \quad (5.3)$$

Donde:

$h_f$	=	entalpia del fluido, kcal/kg
$h_g$	=	entalpia del vapor, kcal/h
$f_c$	=	condensado recuperado, fracción
$f_f$	=	eficiencia de recolección, factor

#### 5.1.4 EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS CONSUMIDORES

Para medir la eficiencia, el único método utilizado es el de restar al 100% cada una de las pérdidas evaluadas, como pueden ser fugas y pérdidas

#### 5.1.5 EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA

La eficiencia total de un sistema se define como la relación de energía aprovechada entre la energía proporcionada por el combustible al sistema.

Tanto en las calderas como en las tuberías de distribución, existen pérdidas térmicas que reducen la cantidad de energía útil disponible que disminuyen la eficiencia total del sistema.

La Fig. 5.1 muestra en forma esquemática el balance general de energía para un sistema de vapor.

#### Ejemplo 1

Supóngase un sistema de vapor saturado que opera a presión absoluta de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>. A continuación se muestran algunos valores típicos de pérdidas encontradas en los sistemas de vapor, los que permiten calcular el valor de la eficiencia global del sistema.

##### Eficiencia de la caldera

Pérdidas por chimenea:	16%
Pérdidas por radiación/convección:	3%
Pérdidas en la purga:	2%
total:	21%
Eficiencia de la caldera = 100 - 21 .	79%

CONSUMO DE ENERGIA TERMICA

**Eficiencia de las tuberías de distribución**

Fugas + pérdidas de calor en las tuberías: 8%

Eficiencia de las tuberías =  $100 - 8$  92%**Eficiencia del usuario**

La eficiencia del usuario representa el porcentaje de la energía del vapor que está disponible. Suponiendo que el condensado es obtenido a la temperatura de saturación, pero éste no se recupera se tendrá:

De tablas de vapor:

entalpía de vapor saturado a  $10.2 \text{ kg/cm}^2 = 663.23 \text{ kcal/kg}$ entalpía de condensado a  $10.2 \text{ kg/cm}^2 = 182.04 \text{ kcal/kg}$ entalpía de vaporización =  $663.23 - 182.04 = 481.18 \text{ kcal/kg}$ 

Porcentaje de energía disponible:

$$\frac{481.18 \text{ kcal/kg}}{663.23 \text{ kcal/kg}} \times 100 = 72.5\%$$

**Pérdidas de calor de equipos de proceso**

Suponiendo que las pérdidas de calor en los equipos de proceso son de aproximadamente 3%, la eficiencia de este grupo será de 97%

**Eficiencia total del sistema sin recuperación de condensados**

La eficiencia global del sistema es, tomando en cuenta los valores anteriores:

$$(0.79 \times 0.92 \times 0.725 \times 0.97) \times 100 = 51\%$$

Lo que significa que casi la mitad de la energía que proporciona el combustible quemado en la caldera se pierde, y que la otra mitad es la que se aprovecha realmente. Esto es típico de la mayoría de las instalaciones.

## 5.2 ACCIONES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA DE VAPOR

Haciendo pequeñas acciones encaminadas a mejorar la eficiencia en cada punto del sistema, se puede lograr un aumento significativo en la eficiencia global del sistema. Si por ejemplo, al sistema anteriormente descrito se le aplica un sistema de control de operación, se evitan fugas de vapor, se mejora el aislamiento y se recupera energía de condensados, se tendría como resultado:

### Eficiencia de la caldera

Pérdidas por chimenea:	14%
Pérdidas por radiación/convección:	2%
Pérdidas en la purga:	1%
	total. 17%
Eficiencia de la caldera = 100 - 17	83%

### Eficiencia de las tuberías de distribución

Fugas + pérdidas de calor en las tuberías:	5%
Eficiencia de las tuberías = 100 - 5	95%

### Eficiencia del retorno de condensados

Considerando el porcentaje de la energía del vapor disponible como la mitad de la energía del condensado recuperado para volver a producir vapor, se tendrá:

De tablas de vapor:

$$\text{entalpía de vapor saturado a } 10.2 \text{ kg/cm}^2 = 663.23 \text{ kcal/kg}$$

Suponiendo que la mitad de la energía del condensado es recuperada ( $f_c=0.5$ ), la entalpía del condensado recuperable será:

$$\text{entalpía de condensado a } 10.2 \text{ kg/cm}^2 = 182.04 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{entalpía condensado recuperado} = 182.04 \times 0.5 = 91.02 \text{ kcal/kg}$$

Considerando un factor de recuperación de 0.9, se tiene.

$$\text{energía neta recuperada} = 91.02 \times 0.9 = 81.92 \text{ kcal/kg}$$

La disponibilidad será:

$$\frac{663.23 - 81.92}{663.23} \times 100 = 87\%$$

Pérdidas de calor en los equipos

Si éstas son reducidas de 3 a 2%, la eficiencia sera de 98%

**Eficiencia total del sistema con recuperación de condensados**

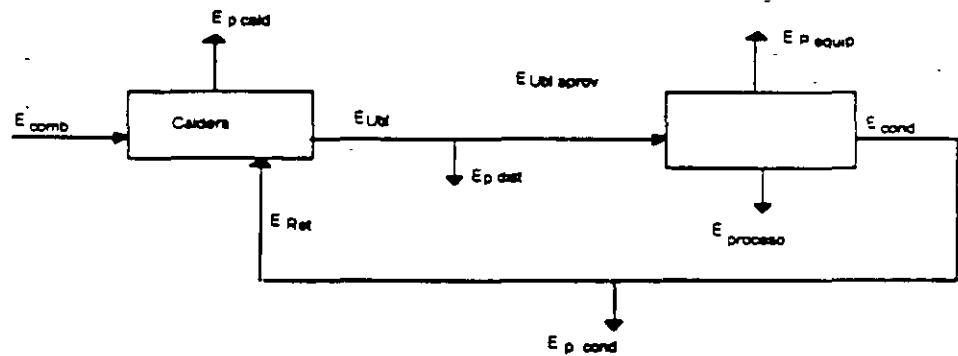
La eficiencia global del sistema es, tomando en cuenta los valores anteriores:

$$(0.83 \times 0.95 \times 0.87 \times 0.98) \times 100 = 67\%$$

El ahorro de combustible que resulta de la combinación de las acciones de ahorros de energía descritas será:

$$\left[ 1 - \frac{0.51}{0.67} \right] \times 100 = 24\%$$

**FIG. 5.1: BALANCE GENERAL DE ENERGIA. SISTEMA DE VAPOR**



$$\begin{aligned} E_{comb} + E_{Ret} &= E_{Util} + E_{p.cald} \\ E_{Util} &= E_{Aprov.} + E_{p.Dist} \\ E_{Aprov.} &= E_{proceso} + E_{p.equip} + E_{cond} \\ E_{cond} &= E_{Ret} + E_{p.cond} \end{aligned}$$

## 5.3 COSTO DEL VAPOR

Los conceptos anteriores demostraron que las pérdidas del sistema aumentan el costo de generación de una tonelada de vapor. El costo también depende de la temperatura y presión del vapor generado, así como de la temperatura del agua de alimentación. En este caso, el costo unitario de vapor se determina de manera sencilla utilizando la siguiente ecuación

$$C_v = \frac{(h_g - h_a) \times C_c}{PCI \times \eta} \quad (5.4)$$

Donde:

$C_v$	= costo unitario del vapor en N\$/kg de vapor
$h_g$	= entalpía del vapor en kcal/kg
$h_a$	= entalpía del agua de alimentación en kcal/kg
PCI	= poder calorífico inferior del combustible
$\eta$	= eficiencia de la caldera en % (basado en el PCI)
$C_c$	= costo unitario del combustible en N\$/kg de combustible

### Ejemplo 2

Se genera vapor saturado a 10.2 kg/cm<sup>2</sup> quemando combustóleo. La temperatura del agua de alimentación es de 85°C y la eficiencia de la caldera es de 75%. El poder calorífico del combustible es de 10,162 kcal/kg y tiene un precio de N\$ 0.24/kg. ¿Cuál es el costo de una tonelada de vapor?

De tablas de vapor:

entalpía de vapor saturado a 10.2 kg/cm<sup>2</sup> = 663.23 kcal/kg  
 entalpía del agua de alimentación a 85°C = 85.03 kcal/kg  
 base de producción 1 ton = 1000 kg  
 poder calorífico: 10,162 kcal/kg  
 eficiencia de la caldera: 75%  
 costo del combustible: N\$ 0.24/kg

sustituyendo en la fórmula

## OPERACIÓN DE CÓDIGO

### SECCIÓN I.- PANORAMA GENERAL

Para familiarizarse con la Sección I, se recomienda empezar por el principio para saber que es lo que contiene. La primera parte abarca un bosquejo de todo el "Código para calderas y recipientes a presión", una introducción, el establecimiento de políticas, las listas de comités y sus miembros, una tabla de contenido y un preámbulo. Después de este último están las reglas del Código divididas en varias partes y al final se encuentra un apéndice, muestras de forma y guías de reporte, factores de conversión al Sistema Internacional de Unidades y finalmente un índice". Aun cuando no es necesario conocer todo el contenido del Código para diseñar y construir calderas, sí es conveniente saber cómo opera el Comité al preparar y mantener actualizado el Código, incluyendo todas sus secciones. Se sugiere leer la información que se encuentra al principio de la Sección I hasta el Preámbulo para obtener una visión más amplia de la que podemos cubrir en estas pláticas. Sin embargo, mostraremos cierta información relacionada directamente con la preparación y uso del "Código para calderas de potencia".

### COMENTARIOS GENERALES

Antes de empezar a analizar las reglas específicas de la Sección I, es conveniente considerar algunos factores significativos relacionados con el Código de calderas de potencia.

Dado que la Sección I cubre todas las calderas que operan a más de 1 Bar (15 PSI), se puede observar que cubre muy diferentes tamaños y tipos. En ellas se incluyen las calderas paquete igneotubulares más pequeñas, las paquete de tubos de agua; las industriales montadas en campo, y las más grandes para Plantas y Centrales generadoras de energía eléctrica tanto las tipo domo y las de un solo paso (monotubulares o "ONCETHROUGH"). Estas últimas pudiendo operar a presiones mayores 350 kg/cm<sup>2</sup> (5000 psi) con temperaturas de vapor del orden de 650°C (1200°F). A fin de cubrir calderas tan diferentes en tamaños y tipos, y que operan en un rango de presiones tan amplio, es necesario que las reglas sean generales.

El Código dicta reglas y requisitos mínimos para el diseño y fabricación de calderas, pero siempre en función de seguridad; por lo tanto, no es un código que permita diseñar en base a él exclusivamente, una caldera. De ahí, que el diseñador y el fabricante tengan la responsabilidad de proporcionar una caldera que suministre la cantidad de vapor a las condiciones de presión y temperatura deseadas, con un mínimo de problemas de operación o mantenimiento y con la certeza de que es totalmente segura. Debido a esto, el fabricante debe cumplir con las reglas y tanto el inspector autorizado, como el propio fabricante, deben certificarlo para poder estamparla con sello autorizado por el Código.

- El uso de materiales con propiedades conocidas.
- El empleo de fórmulas y reglas de diseño para establecer un espesor adecuado con un factor de seguridad mínima.
- Uso de métodos de construcción con integridad conocida.
- Uso de accesorios apropiados y válvulas de seguridad.
- Inspección y pruebas durante la fabricación y al completar el ensamble.
- La aplicación de un estampado al completar la caldera para mostrar que se cumplieron las reglas del código.

Conforme se vaya revisando la Sección I se verá que estos elementos básicos, los cuales se han refinado de acuerdo al avance en el diseño de calderas y la tecnología de materiales, siguen siendo requisitos fundamentales del Código.

Como el comité del código amplió su alcance y el interés y el apoyo recibidos aumentaron, se vio la necesidad de abarcar otras secciones. En la actualidad se tienen 22 volúmenes que incluyen la mayor expansión desde 1963, en la que se incluyeron, en el alcance del código los componentes para plantas termonucleares.

En nuestra discusión veremos la Sección I y otras secciones del Código a las que se hace referencia, como las Secciones II, V y IX, así como las Secciones ANSI-B-16 para conexiones, bridas y válvulas y ANSI B31.1 para Sistemas de Tuberías de Potencia del Código para tuberías a presión.



se permitían en otra. Esta situación representó un obstáculo tanto para el usuario que quería llevar una caldera de una planta a otra en diferentes áreas, como para el fabricante que quería producir calderas de reserva para después venderlas en diferentes localidades. La inspección para el uso de una caldera fuera del estado o ciudad de fabricación presentó serias dificultades.

Debido a estos problemas, la "Asociación Americana de Fabricantes de Calderas", (American Boiler Manufacture's Association) intentó, sin éxito, elaborar reglas que pudieran usar los fabricantes de todos los estados. Sin embargo, el Coronel E. D. Meir, líder de este esfuerzo, fue elegido Presidente de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) y en 1911 logró convencer al consejo directivo sobre la necesidad de un comité que formulara especificaciones estándar para la construcción de calderas de vapor y otros recipientes a presión y para el cuidado en la operación de los mismos.

Este comité estuvo integrado por siete miembros con las siguientes especialidades:

- Un ingeniero consultor.
- Dos profesores de ingeniería.
- Dos ingenieros empleados por fabricantes de calderas.
- Un ingeniero empleado por un fabricante de materiales.
- Un ingeniero empleado por una compañía aseguradora de calderas.

La conveniencia de una representación más amplia se hizo notar, dando por resultado el nombramiento de un "Comité de Consejo" con representantes de fabricantes de calderas y recipientes a presión, usuarios, diseñadores, fabricantes de materiales y accesorios y compañías aseguradoras. Esta junta pasó más tarde a formar el primer "Comité de Calderas de Código".

El primer "Código de Calderas ASME" se imprimió en 1914, en el que, en la Parte I, la Sección I cubría las calderas de potencia, la Sección II calderas de calentamiento; y la Parte II trataba las instalaciones existentes. El Código ganó rápidamente la aceptación de estados y municipios, esto contribuyó a que las explosiones se redujeran de manera considerable.

Los participantes en la preparación de primer código fueron aquellos representantes de la industria, expertos en los campos de diseño y fabricación de calderas, fabricación de materiales, operación de calderas y el aseguramiento de éstas. El propósito de tener una representación extensa en los comités del código se sigue todavía, y se procura mantener un balance de los intereses afectados, evitando que algún interés personal domine este comité.

Los elementos que proporcionaban la seguridad en el primer código, podrían enumerarse como sigue:

## CÓDIGO ASME - SECCIÓN I

### CALDERAS DE POTENCIA

#### INTRODUCCIÓN

En el año de 1914, tuvo su origen la Sección del Código ASME para calderas y recipientes a presión al elaborarse y editarse la primera impresión del Código de Calderas de Potencia por la ASME. A partir de entonces la tecnología de calderas ha tenido avances trascendentales y los generadores de vapor tienen hoy sólo pequeñas semejanzas con aquellos de principios de 1900. Sin embargo, muchos de los conceptos fundamentales y básicos que se usaron en el código original son totalmente válidos en la actualidad. En este curso corto, consideramos brevemente algunos de los hechos históricos del desarrollo del primer código, más adelante revisaremos la Sección I actual para Calderas de Potencia con el fin de conocerla más a fondo y poderla utilizar adecuadamente, para contar así con calderas seguras y confiables.

#### HECHOS HISTÓRICOS

Las explosiones en calderas se presentaban con bastante frecuencia hacia fines de 1880 y principios de 1900 y en los Estados Unidos, durante el período de 1889 a 1903 murieron cerca de 1200 personas como consecuencia de 1600 explosiones de calderas. En 1905 sucedió una explosión catastrófica en una fábrica de zapatos de Wrocton, Mass, y 58 personas perecieron, resultaron heridas y el monto de los daños en propiedades fue de un cuarto de millón de dólares (de entonces).

Esta desgracia junto con otro accidente de mayor cuantía dieron por resultado que en 1907, la Commonwealth de Massachusetts promulgara el primer código legal de reglas para la construcción de calderas.

En un principio, este primer código tuvo solamente tres páginas, pero a intervalos frecuentes se efectuaron revisiones y adiciones, de manera que para fines de 1908 ya se habían impreso seis ediciones.

Otros estados y un número de ciudades donde ocurrieron explosiones de calderas, reconocieron que éstas se podían prevenir por medio de un diseño, construcción, instalación e inspección y seguros apropiados. Como resultado, estos estados y ciudades formularon reglamentos de seguridad para calderas.

En ciertos casos, algunas reglas se contraponían a las de otros estados o ciudades. Durante el año de 1911, New York y Ohio promulgaron leyes similares a las de Massachusetts; siguiendo New Jersey en 1913, Indiana en 1915, Delaware en 1916, Pennsylvania, California, Michigan y Arkansas en 1917, Oklahoma en 1919 y Oregon en 1920.

La carencia de uniformidad en las leyes, trajo como consecuencia una situación caótica, ya que algunos materiales y métodos de construcción que se consideraban seguros en una jurisdicción no

# CALDERAS DE POTENCIA

## CONTENIDO

Un contenido Detallado Precede a Cada Parte, al Apéndice y a las Formas.

Introducción .....	vii	
Declaraciones de Política .....	ix	
Personal .....	xi	
Personal Comité Calderas AMIME .....	xxi	
Preámbulo .....	xxiii	
Parte PG	Requisitos Generales para todos los Métodos de Construcción .....	1
Parte PW	Requisitos para Calderas Fabricadas mediante Soldadura .....	77
Parte PR	Requisitos para Calderas Fabricadas mediante Remachado .....	113
Parte PWT	Requisitos para Calderas Acuotubulares .....	115
Parte PFT	Requisitos para Calderas de Tubos de Humo .....	121
Parte PFII	Requisitos Opcionales para el Calentador de Agua de Alimentación (Cuando se localice Dentro del Alcance de las Reglas de la Sección I) .....	147
Parte PMB	Requisitos para Calderas Miniatura .....	149
Parte PEB	Requisitos para Calderas Eléctricas .....	155
Parte PVO	Requisitos para Generadores Vaporizantes de Fluidos Orgánicos .....	161
Apéndice I	Obligatorio - Preparación de Solicitudes Técnicas para el Comité de Calderas y Recipientes a Presión .....	167
Apéndice	Explicación del Código con Aspectos No Obligatorios a Menos que las Reglas del Código se Refieran Específicamente a ellos .....	169
Formas y Gulas para Reportes de Datos .....	263	
Unidades SI .....	301	
Índice .....	305	

conexiones del recalentador y la turbina u otra fuente motriz, no está dentro del alcance del Código.

Un recipiente a presión en el cual se genera vapor mediante la aplicación del calor que resulta de la combustión de un combustible (sólido, líquido o gaseoso) deberá ser clasificado como caldera de vapor expuesta a fuego.

Los recipientes a presión no expuestos a fuego, en los cuales se genera vapor de agua deberán ser clasificados como calderas de vapor no expuestas a fuego, con las siguientes excepciones:

(a) Los recipientes conocidos como evaporadores o cambiadores de calor.

(b) Los recipientes en los cuales el vapor es generado mediante el uso del calor resultante de la operación de un sistema de proceso que contenga varios recipientes a presión,

tales como los empleados en la industria química y petrolera.

Las calderas de vapor no expuestas a fuego deberán ser construidas bajo las especificaciones de la Sección I o la Sección VIII.

Los tanques de expansión que se requieren en relación con calderas para agua de alta temperatura deberán construirse de acuerdo a los requisitos de la Sección I o Sección VIII.

Un recipiente a presión en el cual un fluido orgánico se vaporiza mediante la aplicación del calor resultante de la combustión de combustible (sólido, líquido o gaseoso) deberá construirse bajo las especificaciones de la Sección I. Los recipientes en los cuales el vapor es generado como consecuencia de la operación de un sistema de proceso que contenga varios recipientes a presión, tales como los empleados en la industria química y petrolera, quedan fuera de las reglas de la Sección I.

## PREAMBULO

Este código cubre las reglas para la construcción de calderas de potencia,<sup>1</sup> calderas eléctricas,<sup>2</sup> calderas miniatura,<sup>3</sup> y calderas para agua de alta temperatura,<sup>4</sup> para usarse en servicio estacionario e incluye aquellas calderas de potencia usadas en servicio locomóvil, portátil y de tracción. La referencia a un párrafo incluye todos los subpárrafos y subdivisiones dentro de ese Párrafo.

El Código no contiene reglas que abarquen la totalidad de detalles de diseño y construcción. Donde no se especifiquen detalles completos se entiende que el fabricante, sujeto a la aceptación del Inspector Autorizado, deberá suministrar detalles de diseño y construcción, los cuales deberán estar, en lo que a seguridad se refiere, a la altura de lo previsto por las reglas del Código.

El alcance de la jurisdicción de la Sección I se aplica a la caldera propiamente dicha y a la tubería externa de la caldera.

Los sobrecalentadores, economizadores y otras partes a presión conectadas directamente a la caldera sin la intervención de válvulas, deberán considerarse como partes de la caldera propiamente dicha, y su construcción deberá sujetarse a las reglas de la Sección I.

La tubería externa de la caldera deberá considerarse como aquella tubería que empieza donde la caldera propiamente dicha termina, esto es en:

a) La primera junta circunferencial para conexiones soldables; o

b) La carta de la primera brida en conexiones bridadas atornilladas; o

c) La primera junta roscada en ese tipo de conexión; y la cual se extiende hasta e incluyendo la válvula o válvulas requeridas por este Código.

La certificación de Código ASME (incluyendo Formas para Datos y Estampado de Símbolos del Código) y/o inspección por el Inspector Autorizado, cuando se requiera por este Código, es requerida para la caldera propiamente dicha y tubería externa de la misma.

Las reglas de construcción para materiales, diseño, fabricación, instalación y prueba de tubería externa de la caldera están contenidas en ANSI B31.1, Tubería a Presión. La tubería después de la válvula o válvulas requeridas por esta Sección I, no está dentro del alcance de esta Sección I, y no es la intención que el Símbolo del Sello del Código se aplique a esta tubería o a cualquier otra.

El material para calderas de circulación forzada, calderas sin línea fija entre vapor y agua, y calderas para agua de alta temperatura, deberá cumplir con los requisitos del Código. También deberán cumplirse todos los demás requisitos, excepto en los casos que se relacionan con características especiales de construcción necesarias en calderas de estos tipos, y con los accesorios que manifiestamente no son necesarios o usados en conexión con tales calderas, como indicadores de nivel de agua, columnas de agua, y grifos.

Los recalentadores que reciben vapor que ha pasado a través de una parte de una turbina o de otra fuente motriz y sobrecalentadores de vapor de fuego separado que no sean parte integral de la caldera, son considerados recipientes a presión expuestos a fuego, y su construcción deberá cumplir con los requisitos del Código para sobrecalentadores, incluyendo dispositivos de seguridad. La tubería entre las

<sup>1</sup> *Caldera de potencia.* una caldera en la cual se genera vapor de agua u otro vapor a una presión de más de 15 lb/pulg<sup>2</sup>. (100 kPa) para uso externo de la misma.

<sup>2</sup> *Caldera eléctrica.* una caldera de potencia o una caldera para agua de alta temperatura en la cual la fuente de calor es la electricidad.

<sup>3</sup> *Caldera miniatura.* una caldera de potencia o una caldera para agua de alta temperatura en la cual no se exceden los límites especificados en PMB-2.

<sup>4</sup> *Caldera para agua de alta temperatura.* una caldera para agua destinada para operar a presiones que exceden de 160 lb/pulg<sup>2</sup> (1100 kPa) y/o temperaturas en exceso de 250°F (121°C).

presiones máximas de diseño y de operación, considera materiales, construcción, métodos de fabricación, inspección y dispositivos de seguridad. Se puede conceder permiso a cuerpos y organizaciones reguladores que publiquen normas de seguridad, para usar como referencia una Sección completa del Código. Si el uso de una Sección, tal como la Sección IX, incluye excepciones, omisiones o cambios de estipulaciones, la intención del Código podría no cumplirse.

Cuando un Estado u otro cuerpo de regulación efectúa adiciones u omisiones en la impresión de cualquier Sección del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión, se recomienda que tales cambios se indiquen claramente.

El Consejo Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión (National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors) está constituido por inspectores en jefe, de Estados y municipalidades en los Estados Unidos y de provincias en el Dominio de Canadá que han adoptado el Código para Calderas y Recipientes a Presión. Esta institución, desde su organización en 1919, ha funcionado para administrar y hacer cumplir uniformemente las reglas del Código para Calderas y Recipientes a Presión. La cooperación de esta organización con el Comité de Calderas y Recipientes a Presión, ha sido extremadamente útil.

Deberá señalarse que el Estado o municipalidad en donde se ha hecho efectivo el Código para Calderas y Recipientes a Presión tiene jurisdicción definida sobre cualquier instalación particular. Las consultas que tratan problemas de carácter local deberán dirigirse a la propia autoridad de tal Estado o municipalidad. Si hay alguna duda o pregunta en cuanto a la interpretación apropiada, los Estados, provincias, municipalidades u otros cuerpos de reglamentación pueden referir la pregunta al Comité de Calderas y Recipientes a Presión.

Las especificaciones para materiales base dadas en la Sección II, Partes A y B, son idénticas a, o similares a las de La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales [The American Society for Testing and Materials]. Cuando en una Especificación de Materiales de ASME se hace referencia a una Especificación ASTM para la cual existe una Especificación ASME acompañante, la referencia deberá interpretarse como aplicable a la Especificación de Materiales ASME. Las Especificaciones para materiales de soldar

dados en la Sección II, Parte C, son idénticas a, o similares a las de la Sociedad Americana de Soldadura [American Welding Society]. No todos los materiales incluidos en las Especificaciones de Materiales ASME de la Sección II se han adoptado para uso del Código. El uso se limita a los materiales y grados adoptados por al menos una de las otras Secciones del Código para aplicación bajo las reglas de esa Sección. Todos los materiales que se permiten por estas diversas Secciones y usados para construcción dentro del alcance de sus reglas deberán ser suministrados de acuerdo a la Especificación de Materiales ASME contenidas en la Sección II, excepto en donde se estipule de otro modo en los Casos del Código o en la Sección del Código que sea aplicable. Los materiales cubiertos por estas Especificaciones son aceptables para uso en partidas cubiertas por Secciones del Código solamente hasta el grado indicado en la Sección aplicable. Los materiales para uso de Código deberán ser, de preferencia, pedidos, producidos y documentados sobre esta base; sin embargo, el material producido bajo una Especificación ASTM se puede usar en lugar de la correspondiente Especificación ASME, con la condición de que los requisitos de la Especificación ASTM sean idénticos (excluyendo las diferencias editoriales) o más estrictos que la Especificación ASME para el Grado, Clase y Tipo producido y siempre y cuando se confirme que el material cumple con la Especificación ASTM. El material producido para una Especificación ASTM con requisitos diferentes a los requisitos de la Especificación ASME correspondiente se pueden usar, de acuerdo con lo anterior, con la condición de que el fabricante del material o el fabricante del recipiente certifique, con evidencia aceptable, al Inspector Autorizado, que se han satisfecho los requisitos de la Especificación ASME correspondiente. El material producido para una Especificación de Materiales ASME o ASTM no está limitado como para el país de origen.

Cuando se requiera por el contexto en esta Sección, el singular deberá interpretarse como el plural y viceversa; y el género masculino, femenino, o neutro se tratará como tal otro género como sea apropiado.

La publicación de la Edición SI (Métrica) del Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión se descontinuó con la Edición 1986. Efectivo en el 1o. de Octubre de 1986, la Edición SI se retiró como documento del Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión.

## INTRODUCCION

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers) estableció un comité en 1911 con el propósito de formular reglas tipo para la construcción de calderas de vapor y otros recipientes a presión. Este se conoce actualmente como Comité de Calderas y Recipientes a Presión.

La función del Comité es establecer reglas de seguridad que normen el diseño, la fabricación, y la inspección durante la construcción de calderas y recipientes a presión, e interpretar estas reglas cuando surjan dudas relativas a su significado. Al formular estas reglas, el Comité considera las necesidades de usuarios, fabricantes e inspectores de recipientes a presión. El objeto de las reglas es proporcionar una protección razonable de vidas y propiedades así como proveer un margen de deterioro en servicio, con objeto de dar un período de utilización razonablemente largo y seguro. Se han reconocido el progreso en el diseño y materiales, y la evidencia de la experiencia.

El Comité de Calderas y Recipientes a Presión (Boiler and Pressure Vessel Committee) se ocupa del cuidado e inspección de calderas y recipientes a presión en servicio únicamente hasta el punto de proveer reglas sugeridas de buenas prácticas como una ayuda a los usuarios y a sus inspectores.

Las reglas establecidas por el Comité no deben interpretarse como aprobación, recomendación, o garantía para algún diseño específico o patentado, o como limitación en alguna forma a la libertad del fabricante para elegir cualquier método de diseño o forma de construcción que satisfaga a las reglas del Código.

El Comité de Calderas y Recipientes a Presión se reúne regularmente para considerar revisiones de las reglas, nuevas reglas que dicta el desarrollo tecnológico, Casos del Código y solicitudes para interpretaciones. Las solicitudes para interpretación pueden dirigirse al Secretario por escrito y deben dar referencias completas para recibir consideración y una interpretación por escrito (véase el Apéndice Obligatorio que cubre la preparación de solicitudes técnicas). Las revisiones propuestas se presentarán al Comité Principal para la acción apropiada. La acción del Comité Principal llega a ser efectiva sólo después de confirmación

por balota de cartas del Comité y la aprobación por la ASME.

Las revisiones propuestas al Código aprobadas por el Comité se dejan a la decisión del Instituto Nacional de Normas [American National Standards Institute] y se publican en "Mechanical Engineering" para invitar a los comentarios de todas las personas interesadas. Después del tiempo asignado para la revista pública y aprobación final por ASME, se publican anualmente los Suplementos (Addenda) al Código.

Los Casos del Código pueden usarse en la construcción de componentes que van a ser estampados con el símbolo del Código ASME, a partir de la fecha de su aprobación por ASME.

Después de que las revisiones al Código son aprobadas por ASME, estas pueden usarse a partir de la fecha de su publicación que aparece en el Suplemento. Las revisiones de hacen obligatorias, como un requisito mínimo, seis meses después de la fecha de su publicación, excepto para el caso de calderas o recipientes a presión contratados en fechas anteriores al cumplimiento del período de seis meses.

Se previene a fabricantes y usuarios de componentes contra el uso de revisiones y Casos que son menos restrictivos que requerimientos anteriores sin tener la seguridad de que hayan sido aceptados por las autoridades apropiadas en la jurisdicción en la cual el recipiente va a ser instalado.

Se invita a cada Estado o Municipalidad en los Estados Unidos y cada provincia en el Dominio de Canadá que adopta o acepta una o más Secciones del Código de Calderas y Recipientes a Presión, a nombrar un representante para que actúe en el Comité de Conferencias para el Comité de Calderas y Recipientes a Presión. Toda vez que los miembros están en contacto activo con la administración y hacer cumplir las reglas, los requisitos para inspección en este Código corresponden con aquellos en vigor en sus respectivas jurisdicciones. Las calificaciones requeridas para un Inspector Autorizado bajo estas reglas pueden obtenerse de la autoridad administrativa de cada Estado, municipalidad o provincia que haya adoptado estas reglas.

El Comité de Calderas y Recipientes a Presión, en la formulación de sus reglas y en el establecimiento de las

al día esa Sección. Se emitirán dos veces al año (julio y diciembre) hasta la publicación del Código 1992. Las interpretaciones de Sección III, Divisiones 1 y 2, con el servicio de poner al día para la Subsección NCA. Las Interpretaciones no son parte del Código o de la Adenda.

### **CASOS DEL CODIGO**

El Comité de Calderas y Recipientes a Presión se reúne en forma regular para considerar adiciones propuestas y revisiones al Código y para formular Casos para aclarar el intento de requisitos existentes o proveer, cuando la necesidad es urgente, reglas para materiales o construcciones no cubiertas por las reglas existentes del Código. Los Casos que se han aceptado aparecerán en el libro apropiado de Casos del Código 1989:(1) Calderas y Recipientes a Presión y (2) Componentes Nucleares. Se enviarán suplementos automáticamente a los compradores de los libros "Casos de Código" hasta la publicación del Código 1992.



# CODIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION 1989

## SECCIONES

- I Calderas de Potencia
- II Especificaciones de Materiales
  - Parte A - Materiales Ferrosos
  - Parte B - Materiales No Ferrosos
  - Parte C - Varillas para Soldar, Electrodo y Metales de Aportación
- III Subsección NCA - Requisitos Generales para División 1 y División 2
- III División 1
  - Subsección NB - Componentes Clase 1
  - Subsección NC - Componentes Clase 2
  - Subsección ND - Componentes Clase 3
  - Subsección NE - Componentes Clase MC
  - Subsección NF - Soportes para Componentes
  - Subsección NG - Estructuras de Soporte del Núcleo
  - Apéndices
- III División 2 - Código para Reactores y Contenedores de Concreto
- IV Calderas para Calefacción
- V Pruebas No Destructivas
- VI Reglas Recomendadas para el Cuidado y Operación de Calderas para Calefacción
- VII Guías Recomendadas para el Cuidado de Calderas de Potencia
- VIII Recipientes a Presión
  - División 1
  - División 2 - Reglas Alternativas
- IX Calificaciones de Soldadura
- X Recipientes a Presión de Plásticos Reforzados con Fibra de Vidrio
- XI Reglas para Inspección en Servicio de Componentes para Plantas Nucleares

## ADENDA

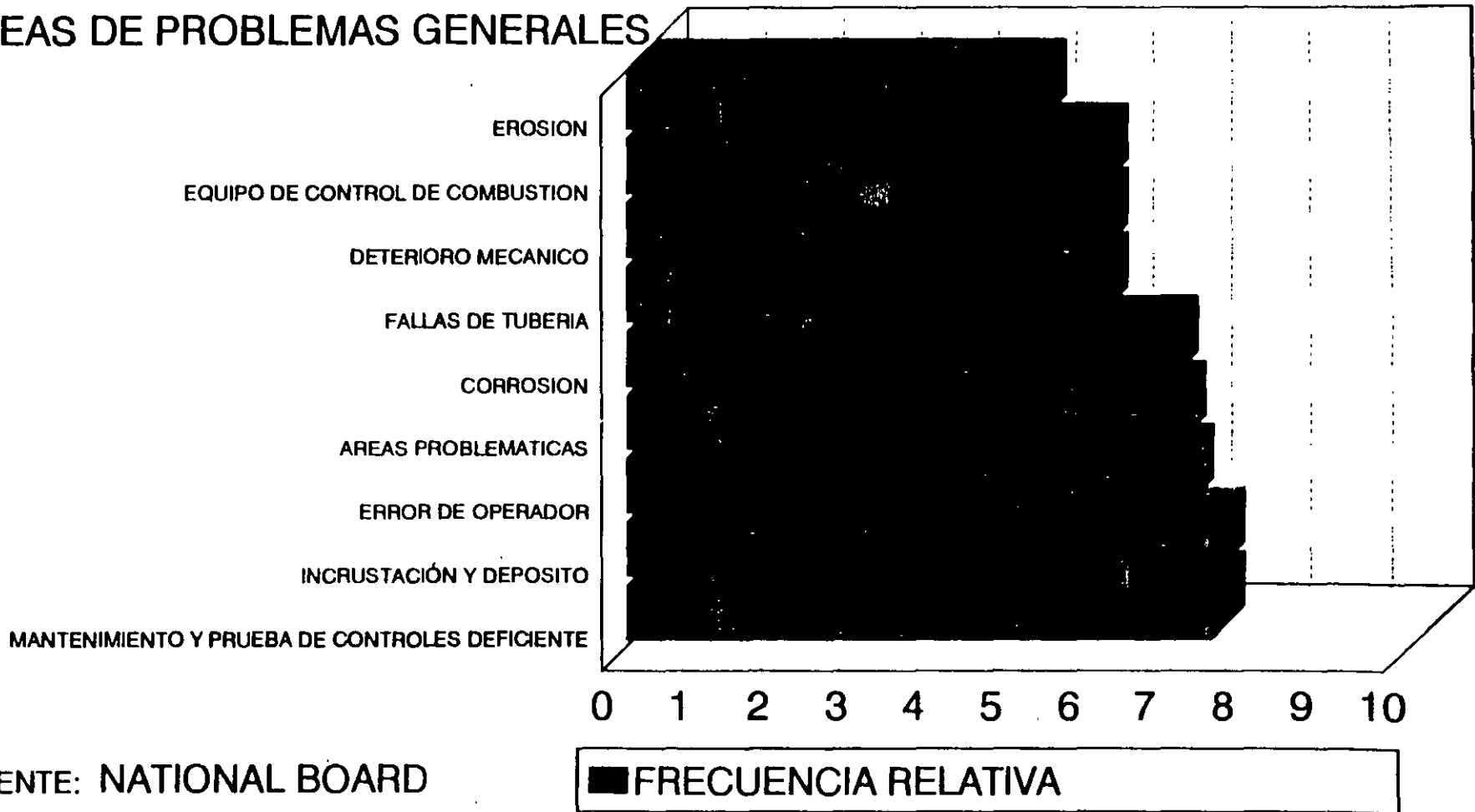
La "Adenda" en hojas de color, que incluyen las adiciones y revisiones a las secciones individuales del Código, se publican anualmente y se enviarán automáticamente a los compradores de las Secciones aplicables hasta la publicación del Código 1992. El Código 1989 está disponible sólo en formato de hojas sueltas; en consecuencia serán emitidas las Adendas en el formato de hojas sueltas, para reemplazo de página.

## INTERPRETACIONES

AMIME emite réplicas por escrito a las solicitudes que atañen interpretación de aspectos técnicos del Código. Las interpretaciones de cada Sección individual se publicarán separadamente y se incluyen como parte del servicio de po.

# OPERACION Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS

## AREAS DE PROBLEMAS GENERALES



(1,2) MUY RARA VEZ; (3,4) RARA VEZ; (5,6) OCASIONALMENTE; (7,8) FRECUENTEMENTE; (9,10) CON MUCHA FRECUENCIA

## CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UNA CALDERA

1. La caldera seleccionada debe tener una construcción robusta y compensadora de las dilataciones térmicas.
2. Suficiente capacidad tanto del agua como de vapor, de forma que pueda absorber fluctuaciones en la demanda de vapor.
3. La relación entre la superficie de calefacción y la capacidad de vaporización adecuada, para evitar la formación de espuma.
4. Juntas de dilatación protegidas de la acción del fuego.
5. Cámara de combustión con dimensiones adecuadas para que la combustión se realice totalmente, antes de que los gases pasen a los recuperadores.
6. Debe contar con un tambor para extraer las impurezas del agua (fangos), para evitar que estos fangos queden sujetos a la acción del fuego.
7. Disposición de la superficie de transferencia con respecto al flujo de gases tal que se obtengan buenos coeficientes de convección.
8. Facilidad para limpiar las superficies de intercambio, para aumentar la seguridad y la economía.
9. Debe mostrar flexibilidad en su funcionamiento.
10. Debe estar provista de los equipos auxiliares necesarios para garantizar la medición, el control y la seguridad.

FUENTE :

CONAE

## Evaluación y Especificación de Calderas

### **Propósito de Códigos y Normas.**

- ▶ Seguridad
- ▶ Calidad
- ▶ Comportamiento
- ▶ Medición
- ▶ Pruebas
- ▶ Cuidado del Ambiente
- ▶ Conservación de Energía
- ▶ Comercial

# FILOSOFIA DE DISEÑO

## . CARGA

- RANGO DE GENERACION
- PLANTA BASE
- VARIACIONES MINIMAS

## . FRECUENCIA DE OPERACIONES DE ARRANQUE Y PARO

- OPERACION LOCAL
- OPERACIONES A CONTROL REMOTO

## . CRITERIO DE AUTOMATIZACION

- CONTROL LOCAL
- CONTROL REMOTO
- SUPERVISION REMOTA

## . OPERACION CALDERA CENTRAL

- CALDERA EN SEGUIMIENTO
- CENTRAL EN SEGUIMIENTO

## . CRITERIOS DE SUMINISTRO DE VAPOR

- RESPALDO
- REPOSICION

## **Especificación y Evaluación de Calderas**

### **Características fundamentales de especificación**

- **Claridad**
- **Precisión**
- **Factibilidad económica**
- **Factibilidad técnica**
- **Congruencia con recursos y facilidades disponibles**

## **Especificación y Evaluación de Calderas**

### **Algunos atributos deseables**

- ▶ Seguridad de operación
- ▶ Confiabilidad
- ▶ Redundancia en reserva
- ▶ Redundancia de operación en paralelo
- ▶ Facilidad de mantenimiento

## Especificación y evaluación de Calderas

### **Algunos problemas**

- ▶ Limitaciones técnicas y económicas
- ▶ Equipo caro y complicado
- ▶ Falta de capacidad
- ▶ Equipo fuera de servicio
- ▶ Responsabilidades indebidas a operación - mantenimiento - fabricación
- ▶ Refacciones y componentes importados
- ▶ Falta de adecuación de equipo
- ▶ Discrepancia de condiciones y necesidades de servicio

### **Algunas soluciones**

- Conocimiento de condiciones de servicio específicas
- Particularidades del propietario tomadas en cuenta
- Adecuación a personal y preparación disponibles
- Comprobación de diseños por especialistas
- Consultoría especializada en el proceso especificación - aceptación
- Establecimiento y ejecución de pruebas de comportamiento y aceptación con la formalidad requerida



comportamiento esperado de la unidad y la satisfacción de todos los valores que se consideren garantizados.

Es muy importante la estimación oportuna de las capacidades propias del comprador o usuario y oportunamente determinar la necesidades de asistencia externa cuando éste sea el caso. Figura 7.

Esta es una exposición muy breve, probablemente incompetente, puesto que el tema y los elementos de discusión y análisis son muy amplios y se tratará con el material de apoyo, de ampliar su cobertura y aclarar los conceptos mencionados en el desarrollo del tema.

**Morelia, Michoacán**  
**Mayo de 1995**

atención hacia algunas de las características que debe cumplir la elaboración de una especificación de compra y reducir la problemática actual.

En primer lugar una especificación debe ser clara, debe ser de preferencia autosuficiente, debe ser realista en sus exigencias. Figura 4.

Si es demasiado abierta dará problemas en la evaluación, abrirá las puertas a fabricantes o proveedores sin experiencia o desleas, y se recibirán proposiciones con interpretaciones propias y diferentes de cada ofertante.

Si por otra parte es demasiado estricta o demasiado cerrada limitará la participación fabricantes y la aplicación de su habilidad o experiencia para ofrecer lo que mejor convenga comercialmente con la aplicación de sus tecnologías o atributos particulares cumpliendo de cualquier manera con los requerimientos de la especificación. Una especificación demasiado cerrada o más todavía con demasiadas particularidades puede llevar a la condición de que se trate de diseñar por parte del comprador y se diluya la responsabilidad por este concepto de parte del fabricante. Figura 5.

Una especificación debe incluir los criterios sobre los que se evaluará tanto para créditos como en penalizaciones, deberá dar la misma oportunidad de participación a cuantos se inviten, en el caso de un concurso o licitación, o bien si hay la justificación suficiente deberá ser con todo el detalle y precisión orientados a un fabricante. Esto último requiere desde luego una muy amplia experiencia y una actitud honesta de parte del comprador o bien del consultor que haga esta recomendación.

#### Algunas soluciones para mejorar una especificación.

En la experiencia del expositor el volumen de una especificación no es reflejo de la calidad del documento, la mención, muy frecuente, "de acuerdo con tal norma, última revisión" tampoco es una buena recomendación amén que quien lo establece esté completamente actualizado con normalizaciones y reglamentaciones vigentes y que haya comprobado que efectivamente las revisiones recientes afectan el servicio requerido de la caldera. De otra manera solamente encarecerán las proposiciones. Figura 6.

El análisis a que se sujetará las proposiciones que se reciban deberá considerar los aspectos ambiental, energético, de seguridad, de operación, de cumplimiento a códigos, de fabricación, de inspección en fábrica, de inspección en sitio, y de pruebas de comportamiento y aceptación, y todo esto debe quedar claramente establecido en el documento de especificación así como otros conceptos que hagan posible la verificación del cumplimiento de estas exigencias.

Lo anterior requiere de la consideración de las capacidades disponibles del personal de operación, de mantenimiento, de evaluación, de elementos de medición y del personal encargado de comprobar mediante pruebas, con todo el protocolo requerido, el

ofrece, o bien en casos fortuitos lo que realmente se requiere, sin embargo esto último se consigue únicamente cuando hay la participación adecuada de toda las entidades con interes en el proyecto, desde luego con la oportunidad y coordinación necesarias. Figura 2.

### ¿Quién debe intervenir?

Los generadores de vapor son por lo general equipos de alto costo inicial, de alta intensidad energética, de alto potencial de ahorro energético, de alta posibilidad de contaminación de alto riesgo si no son bien operados y conservados, de largo tiempo de entrega y en general indispensables en la operación de las instalaciones de producción o de servicio para las que se adquieren.

Es muy importante tomar en cuenta que la participación del usuario final, del ingeniero o proyectista, de los responsables de procuración, del fabricante, de los departamentos de costos y finanzas, del departamento de proceso, de la gente de análisis de resultados, de las entidades a cargo de la seguridad y capacitación, entre otros son fundamentales a fin de que la decisión que se tome en una adquisición importante haya considerado los diferentes puntos de vista de condiciones de servicio, capacidades, prácticas operativas, capacitación de personal, factibilidad económica, disponibilidad comercial, etc. y que el resultado sea de conveniencia integral para la empresa.

### Características básicas de una especificación.

Existen una serie de vicios y deficiencias en la elaboración de la documentación que para especificar una caldera se prepara, entre otros están la abundancia de referencias de códigos, estándares, especificaciones y reglamentaciones a cumplir que en la mayoría de los casos son desconocidas por quienes las enumeran y que tambien en muchos de ellos se incurre en contradicciones entre unos y otros documentos normativos y en dificultad para comprobar su cumplimiento. Figura 3.

Otros problemas que se enfrentan tienen su origen en tomar amplios márgenes en los parámetros de operación con respecto a los requerimientos de los servicios que deben satisfacerse, y en la capacidad de evaporación.

En ocasiones no se elabora especificación y los documentos de origen para adquisición fueron las proposiciones de fabricantes.

Existen también muchas situaciones en las que el documento de especificación es transcripción de otras especificaciones preparadas para otras necesidades, para otros propósitos, para otra magnitud y complejidad de equipos y en algunos casos para necesidades de otras localidades e inclusive de otros países.

La lista de estos casos, que finalmente se manifiestan como deficiencias de un documento de especificación que debe reflejar fielmente las necesidades precisas del servicio que cumplirá la caldera, puede ser interminable. Aquí sólo deseamos orientar la

## **DIPLOMADO**

### **ESPECIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CALDERAS**

**Alberto Plauchú Lima**  
**Ingeniero consultor**

#### **Introducción**

Se identifican una infinidad de problemas en los generadores de vapor y equipo accesorio y auxiliar relacionado, tanto en su comportamiento, como en el diseño, habilidad para cumplir el servicio para el que fueron adquiridos, uso eficiente de la energía y los efectos de impacto al ambiente que genera su operación, o mejor dicho su deficiente operación.

Una parte importante de esta problemática tiene origen en la forma en que estos equipos fueron especificados para su adquisición. Lo anterior no es exclusivo de los generadores de vapor, desafortunadamente, y el conocimiento y experiencia requeridos para especificar con suficientes fundamentos, claridad y precisión es una necesidad aplicable prácticamente a todo tipo de adquisición, ya sea de equipo u otros suministros o bien de servicios, y se hace manifiesta en las situaciones de conflicto que al terminar una obra o al poner en servicio y probar un equipo se enfrentan sin solución satisfactoria por las razones expuestas antes.

#### **Algunos problemas con las calderas en servicio.**

La falta de capacidad para satisfacer la demanda requerida, el sobredimensionamiento de los generadores de vapor, la falta de capacidad en los equipos auxiliares, el deterioro prematuro en condiciones de servicio críticas, las emisiones excesivas que dañan el ambiente, las condiciones de trabajo, la habilidad para mantener dentro de límites convenientes los parámetros de operación, las pérdidas excesivas de energía por problemas de construcción o de diseño, etc. son algunos de los problemas que se tienen en calderas que no fueron especificadas adecuadamente o en las que no se dió la importancia o prioridad necesarias a los diferentes aspectos que participan en una adecuada toma de decisiones. Figura 1.

#### **Algunas causas de especificación deficiente**

Los propietarios de instalaciones de generación de vapor recurren para la adquisición de los equipos de generación y los elementos que integran el sistema de distribución, a sus propios recursos técnicos, a la asistencia técnica especializada externa, empresas o consultores de ingeniería, o bien a los fabricantes del equipo de acuerdo con las características, capacidades políticas o posibilidades de la empresa.

La participación de una sola de estas opciones en la especificación y decisión de adquisición de estos equipos no es suficiente y puede llevar a situaciones extremas de adquirir lo que está disponible en el mercado, lo que un vendedor hábil

## 5.5 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El consumo puntual de combustible viene dado por

$$F = \frac{W_V \times (h_V - h_a)}{PCI \times \eta} \quad (5.10)$$

Donde:

- $W_V$  = Flujo de vapor, kg/h
- $h_V$  = entalpia de vapor, kcal/kg
- $h_a$  = entalpia del agua de alimentación, kcal/kg
- PCI = poder calorifico inferior del combustible, kcal/kg
- $\eta$  = rendimiento de la caldera, en fracción

## 5.6 PRODUCCION DE VAPOR POR UNIDAD DE COMBUSTIBLE

La producción de vapor por unidad de combustible depende de numerosas variables, tales como el tipo de combustible, la entalpia final del vapor, temperatura del agua de alimentación y los rendimientos de los generadores de vapor. Por lo consiguiente, se presenta a continuación una ecuación general:

$$a = \eta \times \frac{PCI}{h_V - h_a} \quad (5.11)$$

Las pérdidas para combustibles líquidos o gaseosos son las siguientes.

- pérdidas por humedad en el combustible
- pérdidas por humedad en el aire
- pérdidas por combustible no quemado
- pérdidas por radiación y convección en las superficies
- pérdidas por atomización (si aplica)

De los cuadros anteriores se deduce que:

$$F \times PCI + W_{ai} \times Cp_{ai} + W_a \times h_a = W_v \times h_v + W_g \times Cp_g \times t_g + (W_a - W_v) \times h_p + P \quad (5.5)$$

de donde resulta:

$$F \times PCI = W_v(h_v - h_p) + W_a(h_p - h_a) + W_g \times Cp_g \times t_g - W_g \times Cp_{ai} \times t_{ai} + P \quad (5.6)$$

Si las purgas son muy pequeñas, entonces  $W_a = W_v$  y como los gases están formados prácticamente por el flujo de aire, entonces también  $W_{ai} = W_g$

$$F \times PCI = W_v(h_v - h_a) + W_v(h_p - h_a) = W_g \times Cp_g \times t_g - W_g \times Cp_{ai} \times t_{ai} + P \quad (5.7)$$

La diferencia entre el calor específico de los gases de combustión y la del aire, no llega a ser más del 10%, por lo que una aproximación aceptable en la mayoría de los casos es que.

$$Cp_{ai} = Cp_g$$

entonces.

$$F \times PCI = W_v(h_v - h_a) + W_g \times Cp_g \times (t_g - t_a) + P \quad (5.8)$$

Para cálculos más precisos, se puede determinar el  $C_p$  de los gases utilizando la siguiente relación:

$$Cp_g = \sum Cp_i \times Y_i \quad (5.9)$$

Donde:

$Cp_i$  = calor específico del  $i$ ésimo componente

$Y_i$  = fracción volumétrica del  $i$ ésimo componente

Siendo:

$W_a$	Flujo de agua de alimentación (kg/h)
$h_a$	Entalpia de agua de alimentación (kcal/kg)
$W_v$	Flujo de vapor útil (kg/h)
$h_v$	Entalpia de vapor útil (kcal/kg)
$W_p$	Flujo de purgas (kg/h)
$h_p$	Entalpia de agua de purgas (kcal/kg)
$F$	Flujo de combustible (kg/h)
$PCI$	Poder calorífica inferior del combustible (kcal/kg)
$W_{ai}$	Flujo de aire de combustión (kg/h)
$t_{ai}$	Temperatura de aire de combustión (°C)
$C_{pai}$	Calor específico del aire (kcal/kg °C)
$W_g$	Flujo de gases de combustión (kg/h)
$t_g$	Temperatura de gases de combustión (°C)
$C_{pg}$	Calor específico de los gases (kcal/kg °C)
$P$	Pérdidas (kcal/h)

Como se observa, las entradas son el combustible, el aire (a temperatura ambiente o caliente) y el agua de alimentación. Por lo tanto, se puede preparar el siguiente cuadro:

<u>Entradas</u>	<u>Flujo másico</u>	<u>Energía entrante</u>
Combustible	$F$	$F \times PCI$
Aire	$W_{ai}$	$W_{ai} \times C_{pai} \times t_{ai}$
Agua	$W_a$	$W_a \times h_a$

Las salidas serían el flujo de vapor, saturado o sobrecalentado, al proceso, los gases de escape, purgas y pérdidas. El cuadro estaría compuesto por:

<u>Entradas</u>	<u>Flujo másico</u>	<u>Energía saliente</u>
Vapor	$W_v$	$W_v \times h_v$
Gases	$W_g$	$W_g \times C_{pg} \times t_g$
Purgas	$W_p$	$(W_a - W_v) \times h_p$
Pérdidas	---	$P$

$$C_V = \frac{1000 \text{ kg } (663.23 - 85.03) \text{ kcal/kg}}{10,162 \text{ kcal/kg} \times 0.75} \times \text{NS}0.24 / \text{kg} = 16.13$$

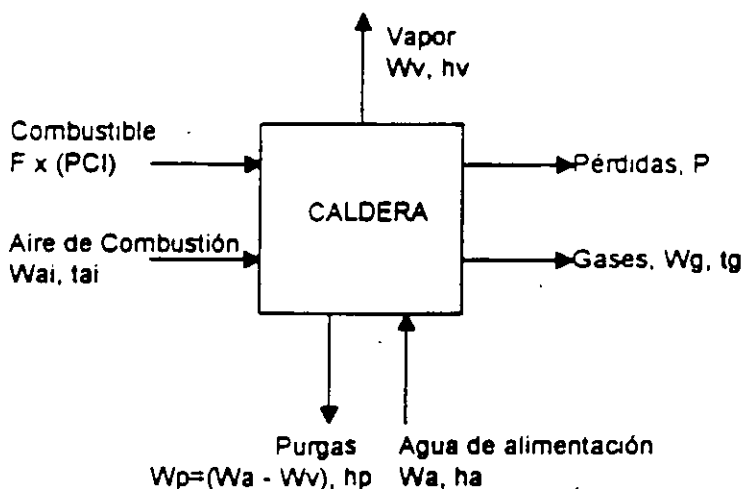
$$C_V = \text{NS } 16.14 / \text{tonelada de vapor}$$

## 5.4 BALANCE DE MASA Y ENERGIA

Para la obtención del rendimiento, considerando éste como la relación de calor útil entre calor suministrado, a veces es necesario realizar balances de masa y energía que incluyan el calor aportado, las pérdidas y el calor útil recuperado.

En la Fig. 5.2 se pueden observar esquemáticamente los componentes que intervienen en el balance de masa y energía en una caldera. Como se observa, las entradas son el combustible, el aire (a temperatura ambiente o precalentado) y el agua de alimentación. Por lo tanto, se puede establecer el siguiente cuadro:

FIG. 5.2: BALANCE DE MASA Y ENERGIA EN LAS CALDERAS





## CERTIFICACIÓN Y POLÍTICAS

Una de las principales razones por las que el Código ASME ha obtenido un excelente "Record" de seguridad y la aceptación en el mundo entero, es su sistema de certificación, que es el medio por el cual ASME evalúa y establece la calificación de un fabricante, tanto de calderas como de materiales, en cuanto al cumplimiento del Código. VER ÍNDICE.

El aspirante al SELLO ASME de calderas debe cumplir con lo siguiente:

- \* Mantener en vigor un contrato con una agencia de inspección autorizada para contribuir con la inspección de un tercero.
- \* Controlar las operaciones de diseño, fabricación y pruebas e inspección, a través de un sistema de calidad descrito en un manual y en vigor en su organización.
- \* Una revisión por parte de un grupo de evaluación designado por ASME, para verificar que el manual anterior está de acuerdo con los requisitos del Código y que se esté aplicando con efectividad y vigilancia.
- \* La aprobación del Comité del Sello ASME una vez que se haya revisado el reporte del grupo designado.

Cuando se hayan completado los requisitos anteriores, el aspirante recibirá un Certificado de Autorización para usar el Sello cuya aplicación al equipo descrito en dicha autorización queda abajo.

Su total responsabilidad quedando sujeto el fabricante a refrendar la vigencia de la autorización y a acatar las disposiciones del COMITE DEL SELLO si se reportan desviaciones importantes en su buen uso.

## INTRODUCCIÓN

La introducción nos proporciona la información referente al modo de operar del Comité de Calderas y Recipientes a Presión. Ahí se esbozan algunos de los aspectos administrativos más importantes de la preparación, revisión e impresión de los casos del Código y la Enmiendas, así como las fechas en que se hacen efectivas estas últimas.

El Comité principal y los Subcomités se reúnen seis veces al año a intervalos aproximados de dos meses. Las revisiones y adiciones se emiten tres veces al año como Enmiendas, y entran en vigor como parte del Código, seis meses después de su edición. Los casos de Código pueden editarse para suministrar reglas permisivas, si es que las existentes no cubren adecuadamente una situación determinada, tales como un material nuevo o un avance en la tecnología.

La introducción también habla sobre ciertos aspectos relacionados con el uso del Código por estados, municipios, provincias u otras jurisdicciones legales que adoptan o hacen referencia a éste en sus leyes. Es importante hacer notar, que el Código no tiene carácter legal mientras no sea requerido por alguna jurisdicción legal. El "Consejo Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión", (NATIONAL BOARD OF BOILER AND PRESSURE VESSEL INSPECTORS) se compone de los Inspectores y Jefes de inspección estatales de los Estados Unidos y Canadá que han adoptado el Código ASME. En la introducción se menciona la importante función que desarrolla este Consejo Nacional de inspectores para lograr una administración y cumplimiento uniformes de las reglas del Código.

Una frase de la introducción que cabe citar es la siguiente: "En la formulación de las reglas y el establecimiento de las presiones de diseño y máxima operación, el "Comité de Calderas y Recipientes a Presión" debe considerar los materiales, construcción, método de fabricación, inspección y dispositivos de seguridad". Nótese la similitud con el primer Código editado en 1914.

La introducción señala que "Las especificaciones para materiales base incluidos en la Sección II, Partes A y B son idénticas o similares a aquellas que establece la "Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM)". También determina, que "Las especificaciones para soldaduras de materiales dados en la Sección II, Parte C son idénticas o similares a las de la "Sociedad Americana de Soldadura (AWS)". ASME reconoce que los expertos en la preparación y edición de especificaciones para materiales base están con ASTM, así como los de soldadura están con AWS. Mediante la revisión y adopción de estas especificaciones, se elimina la duplicidad de esfuerzo y se puede seguir la práctica comercial normal en la fabricación de materiales.

#### **ESTABLECIMIENTO DE POLÍTICA**

El establecimiento de políticas se relaciona con el uso de los símbolos del Código y las marcas de ASME para publicidad. Esto es lo suficientemente claro y por lo tanto no se necesita discutir.

#### **PERSONAL**

La lista del personal que participa en las actividades del Código es bastante larga y se presenta para información. Esta lista es impresionante si se considera que todos son colaboradores voluntarios que representan muy variados intereses. Un requisito de procedimiento de ASME es tener Comités balanceados con representación de los intereses afectados, tales como el Comité Principal y los Subcomités de Recipientes de I, III, IV, VIII y X. Esto va de acuerdo con el criterio para consensos estándares según lo establece el Instituto Nacional Americano de Estándares.

El Subcomité de Calderas de Potencia tiene representantes de fabricantes, usuarios, Instituciones de Reglamentación, Agencias de inspección y seguros, publicaciones técnicas, ingenieros

consultores e ingenieros proyectistas. Entre los representantes que tiene México en este Subcomité se cuentan los Ingenieros A. Plauchú, R. Sánchez P., L. Sánchez G., J. Aguilar, J. R. Vázquez y H. Colter.

## CONTENIDO DE LA SECCIÓN I

En la Tabla de Contenido de la Sección I, se puede notar que está dividida en varias partes, cada una representada por iniciales. La razón por la que se usa este sistema, es para identificar con la primera letra la sección ("P" para potencia), y con la segunda, la parte ("W" para soldadura) y evitar así cualquier confusión con las otras secciones del Código.

La Tabla de Contenido identifica que es lo que cubre cada parte y anota especialmente, que la parte PG se aplica a todos los métodos de construcción.

## PREÁMBULO

El preámbulo a la Sección I identifica de manera más específica los usos que incluye esta sección, los cuales se muestran en la Tabla I. El empleo de la Sección I del "Código para Calderas y Recipientes a Presión" puede dictarlo, ya sea la autoridad Jurisdiccional o el comprador en su especificación. El uso que se planea dar a esta sección se explica en el preámbulo, y es aplicable exclusivamente a calderas expuestas a fuego y generadores de vapor orgánicos. En adición, se incluyen también varios componentes que normalmente son parte de calderas de potencia. Esto incluye sobrecalentadores, recalentadores, economizadores y, bajo algunas circunstancias, calentadores de agua de alimentación. La Sección I contiene reglas específicas para calderas de potencia, eléctrica, miniatura y calderas de tubos de agua de alta temperatura.

Cuando un generador de vapor no sea expuesto a fuego, se puede aplicar la Sección I o la VIII. El preámbulo lista aquellos casos en que la Sección I no se utiliza, tales como recipientes a presión no sujetos a fuego directo los cuales pertenecen exclusivamente a la Sección VIII, y las unidades donde se genera vapor orgánico para procesos de manufactura químicos o de petróleo, los cuales están cubiertos por los estándares tipo industrial.

**TABLA I**

**USO QUE CUBRE**

SECCIÓN I	SECCIÓN VIII Y I	SECCIÓN VIII
1. Calderas sujetas a fuego. 2. Generadores de vapor orgánicos a fuego.	Calderas no sujetas a fuego.	Recipientes a presión no sujetos a fuego.
INCLUYENDO	INCLUYENDO	INCLUYENDO
* Sobrecalentadores integrales y separados. * Recalentadores. * Calentadores de agua de alimentación PFI-I.	* Tanques de expansión en calderas de alta temperatura.	* Evaporadores. * Recipientes de intercambio de calor. * Recipientes de sistemas de procesos químicos y de petróleo.

**OTRAS SECCIONES**

Generadores de vapor orgánicos para procesos de manufactura químicos o de petróleo.

En muchos casos es fácil decidir cuándo se debe utilizar la Sección I, sin embargo, en ocasiones surgen dudas sobre la aplicación de las diferentes secciones del Código en equipo nuevo o especializado. Un ejemplo de esto es la caldera solar a la cual se le aplicó la Sección I, ya que la caldera se calienta por reflexión a través de espejos y éste puede estimarse como un método de fuego indirecto. Además de esta consideración básica, la caldera solar tiene componentes estándar que solamente cubre la Sección I. En ocasiones se han presentado a los Comités del Código algunos dispositivos que generan vapor y que son mucho más difíciles de clasificar a este respecto.

La Sección I también tiene ciertos límites de servicio. Por ejemplo, para calderas que operan a menos de 1 BAR (15 psig) y aquellas acuatubulares de alta temperatura menores de 11 kg/cm<sup>2</sup> (160 psig), se recomienda que el diseñador use la Sección IV, aunque puede usar la Sección I si así lo prefiere.

## REQUISITOS GENERALES PARA TODOS LOS MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN PARTE PG

Esta parte abarca los requisitos generales para todos los métodos de construcción que cubre la Sección I. La Tabla de Contenido nos muestra un panorama de los diversos aspectos comprendidos. En la revisión de esta sección, se tratará de profundizar en los párrafos más significativos, con el objeto de entender mejor el Código. En ella se hace referencia a otros párrafos del mismo Código y a otros estándares tales como el ASTM y el ANSI B-16.

PG-1 y 2 proporcionan información más específica que la del preámbulo, sobre el alcance y limitaciones de servicio.

PG-5 a PG-13 establecen las reglas sobre los materiales que pueden usarse en la construcción de calderas, los cuales se identifican por un número de especificación. Las especificaciones completas se incluyen en la Sección II del Código. Se debe recordar que las especificaciones ASTM se revisaron y aprobaron para usarlas en el Código por lo que éstas son idénticas o con ligeras modificaciones, normalmente requisitos adicionales, a las de ASTM. Cuando el Comité del Código las adopta, se mantiene la designación de ASTM, pero con la letra "S" en el prefijo. Por ejemplo: El ASTM A-515 pasa a ser ASME SA-515, los materiales se listan por forma de producto.

En PG-9 se encuentran los tubos y partes que contienen presión, así como las partes de las calderas y las de los sobrecalentadores. La razón para hacer esta separación, es que ciertas aleaciones de materiales austeníticos que pueden usarse en partes de sobrecalentadores que operan a esfuerzos y temperaturas elevados, pueden estar sujetas a esfuerzos por corrosión de cloruros si se usan como parte de caldera y, por lo tanto, no se permite su empleo en este último caso.

En PG-5 se hace referencia a las tablas de esfuerzos PG-23.1 y PG-23.2 que se encuentran en el Apéndice, donde se listan los materiales aprobados en la Sección I y sus esfuerzos permisibles. Aún cuando más adelante se hablará de estas tablas, es importante hacer notar, que los materiales que no se encuentren en ellas se pueden usar para construcción de acuerdo a la Sección I, siempre que satisfagan o excedan los requisitos de estos párrafos, "Las especificaciones son requisitos mínimos".

PG-10 da las reglas para determinar las propiedades químicas y físicas por medio de pruebas, con el fin de establecer, si un material que no está totalmente identificado, cumple con los requisitos de una especificación aceptable. Si las pruebas confirman que se encuentra dentro del rango de la especificación y el inspector acepta los resultados, el material se podrá marcar como se indica en PG-10.3 y se podrá usar para construcción según el Código.

PG-1, llamado Partes a Presión Misceláneas, establece las reglas para prefabricar o preformar partes a presión, cuando éstas las suministra un fabricante de calderas diferentes. Los materiales para estas partes deben cumplir con los listados en la Sección I

o en el Código ANSI en sus partes aplicadas. De manera similar, las partes hechas con los estándares del fabricante o las partes formadas que se suministran como materiales, deben cumplir con la Sección I.

Las provisiones que cubre PG-11 y sus subpárrafos 11.1, 11.2 y 11.3 son muy importantes para establecer la aceptación por la Sección I de las partes preformadas. Si están fundidas, forjadas, roladas, formadas o soldadas, pueden usarse si el material es aceptable y el producto está identificado conforme a un estándar; ya sea de ANSI o del fabricante. Los requisitos de identificación y certificación se dan como requisitos de inspección para partes soldadas.

## **DISEÑO**

Los requisitos de diseño se dan en los párrafos PG-16 a PG-25. Esta subparte de PG se debe comprender lo mejor posible, ya que cubre las reglas para construir diferentes tipos de calderas. Por lo tanto, veremos los aspectos más significativos de los requisitos de diseño.

### **PG-16 GENERAL**

En PG-16 se establece que las reglas de diseño de esta parte deben aplicarse en adición a las reglas de diseño específicas de otras partes. Estas son: PWT para fabricación de calderas de tubos de agua, PFT para calderas de tubos de humo, PMB para calderas miniatura, PEB para calderas eléctricas y PVG para generadores de vapor orgánicos.

PG-16.2 exige un diagrama especial para identificar la localización de las diferentes partes a presión cubiertas en la Sección I, cuando se diseñen generadores de vapor de circulación forzada, donde no existe una línea entre el vapor y el agua, y cuando se diseñe para diferentes niveles de presión como lo permite PG-21.2.

Otros párrafos de PG-16 proporcionan los requisitos especiales para espesores mínimos de placas y tolerancias para placas y tubos.

PG-18 de las provisiones para efectuar un aprueba hidrostática de deformación en una parte cualquiera, cuando las reglas de diseño no son aplicables a una parte específica. Las reglas para esta prueba se establecen en el Apéndice A-22.

### **PG-21 PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA PERMISIBLE (MAWP)**

Este es quizá, uno de los aspectos más significativos de diseño del Código, ya que es la base para establecer el espesor de las partes a presión y el ajuste de las válvulas de seguridad. Para los fabricantes de calderas, es la presión de diseño a usar en la caldera, o en el caso de calderas de circulación forzada, es la presión de diseño para los diversos componentes de partes presión diseñados para diferentes presiones. Aquí se establece que la presión de trabajo máxima permitida se determina aplicando

los valores de esfuerzos (PG-23 a PG-38, PG-52 y PG-53), y las definiciones (Diámetro, Espesor y Geometría) designadas en la Sección I.

#### PG-23 VALORES DE ESFUERZOS PARA FORMULAS DE CALCULO

Este párrafo establece que las tablas de esfuerzos PG-23.1 y PG-23.2 que aparecen en los Apéndices A-24 y A-25, y las referencias A-150, dan las bases para seleccionar los esfuerzos permisibles. Estos son los esfuerzos que se usan en las formulas de diseño de PG-27 y de otros párrafos que tienen una fórmula con una "S". Debido a que la base para establecer los esfuerzos permisibles es una de las partes más significativas de la Filosofía de diseño de la Sección I, veremos que está directamente relacionada con:

- 1.- La filosofía criterio de diseño.
- 2.- El tipo de fabricación permitido.
- 3.- El grado de análisis que se requiere.
- 4.- La cantidad necesaria de exámenes no destructivos.

En la Sección I, el espesor requerido y la presión de trabajo máxima permitida por medio de los esfuerzos permisibles, que esencialmente son los esfuerzos de la membrana. Los dobleces secundarios o las concentraciones de esfuerzos no se calculan. La fórmula empleada, las construcciones permitidas y los esfuerzos permisibles incluyen suficiente margen para limitar a un nivel seguro, los dobleces o los esfuerzos pico. En la Sección I, generalmente se usan factores de 4 en el esfuerzo a la tensión de 1.6 con base en el punto de cedencia. Hace varios años la Sección I y el "Comité Principal" aprobaron el uso del factor 1.5 para el punto de cedencia y apareció como revisión en la enmienda de invierno de Enero de 1980.

El Apéndice A-150 da el criterio completo para establecer los esfuerzos de la Sección I, y el primer párrafo es muy significativo ya que relaciona el uso de las experiencias exitosas para determinar los valores de los esfuerzos. Este párrafo se cita:

"En la determinación de los valores de esfuerzos permisibles para partes a presión, el Comité se guía por experiencias exitosas en servicio, siempre que se disponga de una evidente operación satisfactoria. Tal evidencia se considera equivalente a datos de pruebas donde las condiciones de operación se conocen con razonable certeza. En la evaluación de nuevos materiales, es necesario guiarse hasta cierto punto, por comparación de información de pruebas con datos similares sobre aplicaciones exitosas de materiales similares".

Esta afirmación es importante, ya que le da al Comité la oportunidad de emitir un juicio, al determinar si los valores de esfuerzos podrían o no cambiar, cuando se tienen nuevos datos de materiales con una historia de aplicaciones exitosas en las construcciones del Código, lo cual indica que un cambio en los valores de esfuerzos daría por resultado la aplicación de los factores de los datos evaluados en materiales con un buen

registro de servicio. También permite al Comité emitir un juicio al establecer los esfuerzos para las variaciones de materiales existentes o de materiales nuevos que son similares a los existentes.

A temperaturas menores del rango plástico, el esfuerzo máximo permisible no debe ser mayor de:

- 1.-  $1/4$  del esfuerzo mínimo a la tensión especificado a la temperatura ambiente.
- 2.-  $1/4$  del esfuerzo a la tensión a la temperatura.
- 3.- a).  $5/8$  del esfuerzo mínimo de cedencia especificado a la temperatura para materiales ferrosos.  
b).  $2/3$  del esfuerzo mínimo de cedencia especificado a la temperatura para materiales no ferrosos.
- 4.- a).  $5/8$  del esfuerzo de cedencia a la temperatura para materiales ferrosos.  
b).  $2/3$  del esfuerzo de cedencia a la temperatura para materiales no ferrosos.

A temperaturas en el rango plástico, el esfuerzo máximo permisible no excede el mínimo de lo siguiente:

- 1.- 100% del esfuerzo promedio para producir un rango del 0.01% cada 1000 h.
- 2.- 67% del esfuerzo promedio para producir una ruptura después de 10,000 h.
- 3.- 80% del esfuerzo mínimo para ruptura después de 1000 h.

En el rango de temperatura donde el esfuerzo a la tensión o de cedencia gobierna la determinación de los esfuerzos, los esfuerzos mayores se pueden justificar para algunos materiales no ferrosos y austeníticos cuando una ligera determinación mayor no es, en sí misma, objetable. Los esfuerzos alternativos para tales materiales y usos se proporcionan e identifican por medio de una nota de pie de página en las tablas. Al establecer estos esfuerzos, los valores pueden exceder  $5/8$ , pero no 0.90 del esfuerzo de cedencia a la temperatura. Estos esfuerzos mayores son satisfactorios para tubos, pero no se recomiendan para el diseño de bridas u otras aplicaciones sensibles a la deformación.

En la Tabla PG-23.1 del "Código de Criterios de Diseño en los U. S.- Evaluación de las propiedades de los esfuerzos" se presenta una discusión detallada de cómo se obtienen los valores de esfuerzos permisibles para estos materiales a partir de los datos de prueba.



## PG-25 FACTORES DE CALIDAD PARA LAS FUNDICIONES DE ACERO.

Este párrafo y los subpárrafos 25.1 y 25.2 proporcionan los factores de calidad que se aplican a los esfuerzos dados en PG-23.1. Un factor del 80% se puede usar a menos que los requisitos especiales de examen y reparación de PG-23.2 se cumplan, en cuyo caso se puede utilizar un factor del 100%.

A continuación se hablará de los diversos requisitos y fórmulas de diseño para establecer el espesor de las partes a presión.

## PG-27 COMPONENTES CILÍNDRICOS BAJO PRESIÓN INTERNA.

Este párrafo y sus subpárrafos abarcan componentes como tubos, domos y cabezales. En estos párrafos encontrará un uso extensivo de notas. En el párrafo 27.4 estas notas son muy importantes, por ser tanto explicativas como complementarias a las fórmulas.

En el 27.2.1, la fórmula se da para determinar el espesor de la tubería hasta e incluyendo 127 mm (5 pulg.) de diámetro exterior. Las notas (2), (4), (8) y (10) son aplicables.

En el 27.2, se indica la fórmula para tuberías, domos y cabezas y las notas (1), (3), (5), (6 a 10) son aplicables.

El párrafo 27.2.3., se aplica cuando es espesor de la parte a presión es mayor que la mitad del radio interno, y requiere que se usen las fórmulas de A-125.

Los símbolos que se utilizan para estas fórmulas se dan en el párrafo 27.3. Una vez más, se enfatiza la importancia de las notas del párrafo PG-27.4 al aplicar las fórmulas.

Uno de los aspectos más significativos en el uso de las fórmulas es la selección de los esfuerzos permisibles, "S", de las tablas de esfuerzos en el párrafo PG-23. El esfuerzo se selecciona para el material a la temperatura de operación del metal. Esto lo debe determinar el diseñador, excepto bajo las condiciones descritas en la nota (2), que da una temperatura mínima de 700°F para tubos que reciben calor.

Para calderas de tubos de agua tipo domo y para calderas de tubos de humo, los tubos que forman el hogar y los bancos de tubos, los cuales están esencialmente a temperatura de saturación, el esfuerzo permisible se selecciona para el valor de 370°C (700°F), aunque la temperatura de saturación esté considerablemente abajo de esa temperatura. Esta es una medida de seguridad que ha tenido el Código por muchos años y que da un buen margen de diseño, reconociendo que pueden depositarse ciertas incrustaciones en los tubos elevándose así la temperatura del metal arriba de la de saturación.

Para los tubos del sobrecalentador y recalentador, el metal del tubo se enfría con vapor y los cálculos de los fabricantes para determinar la temperatura máxima de metal para diseño son más complejos. Se debe considerar un margen suficiente sobre las condiciones promedio para cubrir las variaciones, tales como

combustión desbalanceada y condiciones de operación desfavorables que pueden elevar la temperatura por arriba de la normal. Las dos variables más importantes que afectan la temperatura de metal del tubo son el rango de flujo de vapor, el cual afecta la conductancia de la película de vapor, y el rango de absorción de calor, que afecta el gradiente de temperatura a través de la pared del tubo y de la película de vapor. Un ejemplo esquemático del significado de estos efectos se muestra en la Fig.

Nótese que la temperatura de la pared exterior del tubo en "B" se incrementa  $20^{\circ}\text{C}$  ( $35^{\circ}\text{F}$ ) cuando se reduce el flujo de vapor en 50% de "A". En "C" la temperatura de la pared exterior del tubo bajó  $35^{\circ}\text{C}$  ( $63^{\circ}\text{F}$ ) cuando se redujo el rango de absorción de calor a 50% de "B". El ejemplo en "D" muestra el efecto de la incrustación en el lado de vapor, y el aumento de  $15^{\circ}\text{C}$  ( $26^{\circ}\text{F}$ ) en la temperatura del metal sobre las condiciones de "A" debido a la incrustación.

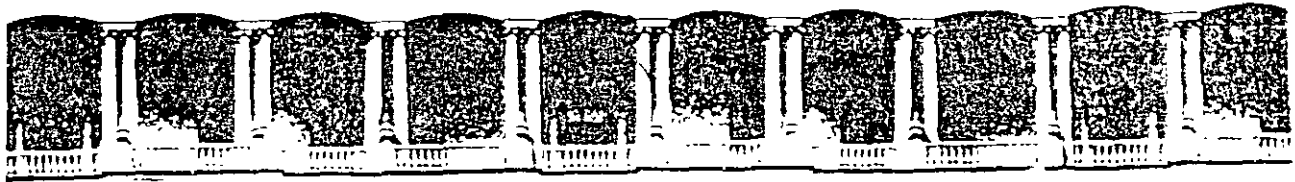
El conocimiento seguro de la temperatura del metal del tubo es muy importante, cuando los tubos operan en el rango de temperatura donde los esfuerzos están calculados en función del punto de ruptura plástico del metal, en lugar de las propiedades a la tensión o a la cedencia. Un tubo de sobrecalentador que opera continuamente a una temperatura de  $50^{\circ}\text{F}$  abajo de la de diseño usada para seleccionar los valores de esfuerzo, en el Código, puede reducir su vida al ser afectada por un factor de 10 o más.

Otro de los símbolos con una nota importante de referencia es "E", eficiencia. Este aparece en las fórmulas para tubería, domos y cabezales, según se vio en una de las figuras anteriores, y en diversas fórmulas que aún no hemos discutido. Como se define en el primer renglón del párrafo de la Nota 1, la "E" representa la eficiencia de juntas soldadas longitudinales o de ligamentos entre aberturas, el que sea menor.

La segunda y tercera líneas describen cuando el factor 1.00 se puede usar, y la cuarta, cuando el factor 0.90 se debe utilizar. Estos factores se relacionan con la fabricación soldada o sin costura.

La quinta línea se relaciona con la eficiencia de los ligamentos que abarcan los párrafos PG-52 y PG-53. Esto tiene como fin proporcionar un factor para compensar la pérdida de metal disponible para contener la presión debida a las aberturas de tubos o boquillas en el domo o cabezal.

Aunque ni las notas que se aplican a las fórmulas o al símbolo "E" hacen referencia a las reglas para aberturas y compensaciones, se deben tomar en consideración los requisitos de PG-32 al PG-39 para llevar a cabo los cálculos que requiera la eficiencia de los ligamentos. Hay una relación que se debe establecer para ciertas configuraciones de conexiones de tubos o boquillas de domos para definir que el diseño se base ya sea en requisitos de refuerzo o en requisitos de eficiencia de ligamento, o posiblemente en ambos. Esta relación da al



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

**MÓDULO II: MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS  
DE POTENCIA**

**TEMA:**

**LOS PROCESOS DE SOLDADURA**

**M. EN C. JOSÉ GUADALUPE TORRES ORTEGA  
PALACIO DE MINERÍA  
ENERO – FEBRERO 2000**

## **LOS PROCESOS DE SOLDADURA**

En la industria metal-mecánica, especialmente en la dedicada a la pailería de fabricación de Recipientes y Presión y Calderas, la necesidad de productos confiables aunado a la necesidad de conservar los recursos y preservar la seguridad de los trabajadores y de los activos de las Empresas ha hecho que la calidad de las soldaduras sea cada vez de mayor importancia

La fabricación de productos metálicos confiables, específicamente los recipientes a presión y calderas, requiere de talleres con una infraestructura y organización mínimas para garantizar la calidad que a su vez se reflejará en seguridad, por lo que debe comprender

- ◆ Diseños documentados
- ◆ Buenas Practicas de Manufactura
- ◆ Un Sistema de Control de Calidad
- ◆ Calificación de los Procedimientos de Soldadura
- ◆ Calificación de los soldadores

### **Diseños documentados**

La documentación de los diseños se consigna, básicamente, en la **Memoria de Diseño y Cálculo** de cada Equipo y de ahí trasladarlas a los Dibujos de Fabricación y en las Listas de Especificaciones, de Verificación y de Control de los materiales empleados

### **Buenas Prácticas de Manufactura**

Las Buenas Practicas de Manufactura se obtienen

- ◆ Apegandose a los ordenamientos del Código que se este aplicando
- ◆ Respetando las Especificaciones emanadas de los Cálculos
- ◆ Usando maquinaria en buen estado
- ◆ Empleando solo personal calificado

### **Sistema de Control de Calidad**

Un Sistema de Fabricación de recipientes a presión o calderas confiable requiere que en los talleres se establezcan Sistemas de Calidad que contemplen, como mínimo

- ◆ El establecimiento de un Manual del Sistema de Calidad
- ◆ El establecimiento de un Manual de Procedimientos de Operación
- ◆ Un Control de Calidad Sistematizado y documentado
- ◆ El establecimiento de Instrucciones de Trabajo
- ◆ La existencia y aplicación de Formatos de Control de las distintas operaciones del proceso

### **Calificación de los Procedimientos de Soldadura**

La Calificación del Procedimiento de Soldadura es la forma legal de documentar y donde se consignan las variables reales empleadas, las pruebas efectuadas y los resultados obtenidos, en un establecimiento en particular, para cada procedimiento de soldadura específico

## Calificación de los soldadores

Este proceso sirve para calificar la habilidad de un soldador, o de un operador de máquina de soldar, tal que éste demuestre ante terceros que es capaz de efectuar depósitos de soldadura con la calidad establecida en las especificaciones del diseño, aplicando procesos específicos, con distintas soldaduras y/o procesos y en distintas posiciones.

## Los procesos de soldadura

La calificación de los procedimientos de soldadura, aunadas a un control estricto de los procesos, son únicas las herramientas de que disponen los talleres de pailería capaces para demostrar que la construcción soldada tendrá las propiedades mecánicas consideradas en los cálculos de diseño.

## Definiciones importantes

### SOLDADURA

Es la coalescencia localizada de dos o más metales producida por el calentamiento de los mismos a temperaturas convenientes, con y sin el uso de materiales de aporte con o sin la aplicación de presión, o por la sola aplicación de presión.

### SOLDABILIDAD

Es la capacidad de un material para ser unido a otro mediante soldadura, bajo condiciones y procesos específicos y tener un desempeño satisfactorio en un conjunto estructural predefinido.

## Procesos de Soldadura más usuales

### ➤ SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Es un proceso de soldadura el cual produce la coalescencia por el calentamiento de los metales mediante un arco eléctrico entre un electrodo de metal recubierto y el metal base. El aporte se obtiene del electrodo y la cubierta protectora de la descomposición del revestimiento del mismo.

### ➤ SAW (Submerged Arc Welding)

Es un proceso de soldadura el cual produce la coalescencia por el calentamiento de los metales mediante un arco o arcos eléctricos formados entre un electrodo de metal desnudo y el metal base.

El aporte se obtiene del electrodo y la cubierta protectora de una capa de material fundible aplicada al arco y al metal fundido.

### ➤ GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)[tig]

Es un proceso de soldadura el cual produce la coalescencia por el calentamiento de los metales mediante un arco eléctrico formado entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el metal base.

Puede o no usarse material de aporte y la cubierta protectora se obtiene mediante la aplicación de un gas o mezcla de gases.

#### ➤ GMAW (Gas Metal Arc Welding)[mig]

Es un proceso de soldadura el cual produce la coalescencia por el calentamiento de los metales mediante un arco eléctrico formado entre un electrodo metálico (consumible) y el metal base.

El aporte se obtiene del electrodo y la cubierta protectora se obtiene mediante la aplicación de un gas o mezcla de gases y un fúndente.

#### ➤ FCAW (Flux Cored Arc Welding)

Es un proceso de soldadura el cual produce la coalescencia por el calentamiento de los metales mediante un arco eléctrico formado entre un electrodo metálico continuo (consumible) y el metal base.

La cubierta protectora se obtiene de un fúndente contenido dentro del electrodo tubular y, opcionalmente, mediante la aplicación externa de un gas o mezcla de gases

### **Especificación de Procedimiento de Soldadura EPS (WPS)**

Es muy importante documentar las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura ya que son el proceso vital para garantizar la eficiencia y seguridad de los recipientes a presión y de las calderas

Así también es una de las mejores herramientas de las que dispone un Ingeniero al analizar las posibles causas de una falla de tal manera que se evite su repetición

Un taller confiable se conoce porque normalmente, tiene perfectamente documentados sus Especificaciones de Procedimiento de Soldadura.

*Preparación de una Especificación de Procedimiento de Soldadura conforme a la Sección IX del Código ASME (Ver el formato W-482 el cual es el formato sugerido para elaborar una (EPS) Especificación de Procedimiento de Soldadura)*

Partes que componen una Especificación de Procedimiento de Soldadura

- ♦ Identificación de la Compañía y del Procedimiento
- ♦ Identificación del Responsable del Procedimiento
- ♦ Identificación del documento
- ♦ QW-402 JUNTAS
- ♦ QW-403 METALES BASE
- ♦ QW-404 METALES DE APORTE
- ♦ QW-405 POSICION
- ♦ QW-406 PRECALENTAMIENTO
- ♦ QW-407 TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR
- ♦ QW-408 GAS
- ♦ QW-409 CARACTERISTICAS ELECTRICAS
- ♦ QW-410 TECNICA
- ♦ RESUMEN DE PARAMETROS DEL PROCEDIMIENTO

## **Registro de calificación de procedimiento de soldadura RCP (WPQ)**

Es muy importante documentar las Calificaciones de los Procedimientos de Soldadura ya que esto permite a los talleres garantizar la eficiencia y seguridad de los recipientes a presión y de las calderas que fabriquen.

Es también, es una de las mejores herramientas de las que dispone un Ingeniero de Producción para garantizar la continuidad y control de los procesos que se apliquen en el taller y para analizar las posibles causas de una falla de tal manera que se pueda evitar su repetición

Un taller confiable se conoce porque, normalmente, tiene perfectamente documentados las Calificaciones de las Especificaciones de Procedimientos de Soldadura.

*Preparación de una Especificación de Procedimiento de Soldadura conforme a la Sección IX del Código ASME (Ver el formato W-483 el cual es el formato sugerido para elaborar una (EPS) Especificación de Procedimiento de Soldadura)*

Partes que componen un Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura

- ◆ Identificación de la Compañía y del Procedimiento
- ◆ Identificación del Responsable del Procedimiento
- ◆ Registro de Condiciones Usadas para la Probeta.
- ◆ Identificación del documento
- ◆ QW-402 JUNTAS
- ◆ QW-403 METALES BASE
- ◆ QW-404 METALES DE APORTE
- ◆ QW-405 POSICION
- ◆ QW-406 PRECALENTAMIENTO
- ◆ QW-407 TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR
- ◆ QW-408 GAS
- ◆ QW-409 CARACTERISTICAS ELECTRICAS
- ◆ QW-410 TECNICA
- ◆ QW-150 Pruebas de Tension
- ◆ QW-160 Pruebas de Doblez Guiado
- ◆ QW-170 Pruebas de Tenacidad
- ◆ QW-180 Prueba Filete de Soldadura
- ◆ Otras Pruebas
- ◆ Observaciones

El detalle de registro de las pruebas es solamente ilustrativo y puede ser modificado conforme al tipo y número de pruebas requeridas por el Código o por las condiciones contractuales consignadas en la Orden de compra del Recipiente a Presión o de la Caldera. Se deben consignar todas las observaciones que se consideren pertinentes

Registros Indispensables

- ✓ Nombre del Soldador
- ✓ Estampa de identificación del soldador y Reloj con que se midieron las pruebas
- ✓ Identificación de quien condujo las pruebas
- ✓ Número de Reporte de laboratorio

## **Certificación**

Es indispensable que exista una certificación en cada Registro de calificación de procedimiento de Soldadura consignando las características de la aplicación de la soldadura y de las pruebas efectuadas a la misma.

También debe contener:

- ✓ Código contra el que fueron preparadas, soldadas y probadas las muestras
- ✓ Identificación del Fabricante
- ✓ Fecha de la Calificación del procedimiento de Soldadura
- ✓ Responsable de la emisión de la Certificación. (Nombre y Puesto dentro de la organización del fabricante)

## **ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN SOLDADURA**

Es evidente que casi cualquier persona puede realizar una unión mediante soldadura, pero para hacer uniones soldadas para calderas o recipientes sujetos a presión se requieren muchos otros trabajos adicionales y equipos especializados por lo que un taller confiable que fabrique recipientes a presión y/o calderas debe contar con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad en Soldadura.

Para realizar uniones soldadas en recipientes a presión, las empresas u organizaciones que quieran hacerlo deberán de contar con un Sistema de Control, tal que, garantice que todas las uniones mediante soldadura satisfagan los requisitos mínimos de calidad y eficiencia necesarios en estos equipos.

Desde un punto de vista estricto de inspección o verificación de recipientes a presión y/o calderas, debemos poner atención principalmente en el hecho de que en el taller o empresa que haya fabricado el equipo haya cubierto los requisitos mínimos de un Sistema de Calidad.

### **Requisitos Mínimos de un Sistema de Aseguramiento de la Calidad en Soldadura.**

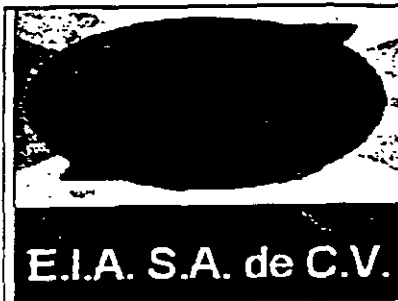
La Empresa o El Taller Fabricante debe contar con:

- ✓ **UNA ORGANIZACIÓN** Una estructura que defina con claridad los límites de autoridad y responsabilidad de cada funcionario.
- ✓ **UN PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD** Que defina las especificaciones del producto y describa los controles, procesos y métodos de prueba para garantizar su cumplimiento.
- ✓ **UN CONTROL SOBRE EL DISEÑO** Que incluya, en su caso, la calificación y prueba de prototipos y garantice el total apego a las especificaciones.
- ✓ **UN CONTROL SOBRE LAS ADQUISICIONES** Las especificaciones al proveedor deben entregarse por escrito y el recibo de los materiales también debe documentarse. Ambos documentos deben coincidir.



- ✓ **PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS.** Tales que aseguren que todo trabajo se realice mediante instrucciones claras y completas.
- ✓ **CONTROL DE DOCUMENTOS.** Debe existir un sistema tal que, permita recolectar y controlar toda la documentación de un equipo haciendo rastreable su utilización.
- ✓ **CONTROL DE PROVEEDORES.** Se debe contar con un sistema de control que evalúe a los proveedores, los cuales a su vez deberán de contar con Sistemas de Calidad similares al nuestro.
- ✓ **IDENTIFICACION Y CONTROL DE MATERIALES.** Se debe contar con un sistema de marcas que permita la identificación plena de los materiales empleados en el equipo y sus sobrantes.
- ✓ **CONTROL DE PROCESOS ESPECIALES.** Se debe garantizar que todos los procesos especiales, incluyendo los de soldadura se efectúen bajo condiciones controladas
- ✓ **INSPECCIÓN.** Se debe contar con un sistema de inspección, independiente del area de producción, que garantice el cumplimiento de las especificaciones en cada etapa
- ✓ **CONTROL DE PRUEBAS Y METODOS** Todas las pruebas que se lleven a cabo deben efectuarse siguiendo métodos escritos y documentar los resultados
- ✓ **CONTROL DE EQUIPO DE MEDICION Y PRUEBA** Se debe contar con un sistema tal que garantice la precisión y calibración de todas las herramientas usadas en las pruebas.
- ✓ **MANEJO DE NO CONFORMIDADES.** Se debe contar con un sistema tal que permita reconocer, clasificar y disponer de todos los materiales y equipos no conformes con sus especificaciones
- ✓ **ACCIONES CORRECTIVAS** Se debe contar con un sistema tal que defina los niveles de autoridad y responsabilidad para ordenar y controlar las correcciones.
- ✓ **AUDITORIAS** Se debe contar con un sistema que permita auditar periódicamente la eficiencia y aplicabilidad de las políticas, los métodos, procedimientos, instructivos y formatos usados en las áreas productivas y el apego de todas las áreas de la empresa al Sistema de Calidad de la empresa. Los resultados de dichas auditorías deben documentarse

Anexos      Formato para documentar una Especificación de Procedimiento de Soldadura  
 Formato para documentar un Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura



# Manual de Procedimientos

## Nombre ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Número  
OPE-020

Página  
1 de 4  
Revisión  
1

**QW-482 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS) Conforme a QW-200.1, de la Sección IX, del Código ASME, Boiler and Pressure Vessel**

*QW-482 WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) conform to QW-200 1 Section IX ASME Boiler and Pressure Vessel Code*

Nombre de la compañía (Company name)		Preparado por (By)
Registro de Calificación de Soporte No. (Procedure Qualification Record No)		Fecna (Date)
Especificación de Procedimiento de Soldadura No. (Welding Procedure Specification No)		Fecna (Date)
Proceso (s) de soldadura (Welding Process(es))		
Tipo (Manual, Automatic, Semi-Automático) (Type Manual Automatic or Semi-automatic)		
<b>QW-402JUNTAS (JOINTS)</b>		
Diseño de la Union (Joint Design)		Ver los Dibujos de fabricación para detalles de la Union
Respaldo (Backing)	Si (Yes)	NO (No)
Material de Respaldo (Tipo) (Backing Material (Type))		
Metálico (Metal)	No Metálico (Non Metallic)	
Metal NO Fundible (Non-Fusing Metal)		(See Fabrication Drawings for Actual Joint Design)
<p>Los croquis, Dibujos de Fabricación, Símbolos de Soldadura o Descripciones escritas deben mostrar el arreglo general de las partes a unirse. Cuando sea aplicable el espaciado en la raíz, y los detalles de la ranura deben especificarse. (Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the root and the details of weld groove may be specified.)</p> <p>A opción del Fabricante pueden anexarse croquis para ilustrar el diseño de unión, la secuencia de las capas de soldadura tales como las usadas para procedimientos de detención de ranuras, o para procedimientos de procesos múltiples. (At the option of the mfr, sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers and bead sequence, e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)</p>		

Preparado por Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Revisado por Fidel Barron Tea Director de Calidad	Aprobado por Enrique Espinola Velázquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y esta prohibida su reproducción por cualquier medio.



**Manual de Procedimientos**

**Nombre  
ESPECIFICACION  
DE PROCEDIMIENTO DE  
SOLDADURA**

**Número  
OPE-020**

**Página  
2 de 4  
Revisión  
1**


QW-403 METALES BASE (BASE METALS)				
No. P (P No)	Grupo No. (No. Group)	A (To)	No. P (P No)	Grupo No. (No. Group)
Especificación del Material tipo y grado (Material Specification, Type and grade)		A (To)	Especificación del Material tipo y grado (Material Specification, Type and grade)	
Análisis Químico y Propiedades Mecánicas (Chem Analysis and Mech Properties)		A (To)	Análisis Químico y Propiedades Mecánicas (Chem Analysis and Mech Properties)	
Rango de Espesores (Thickness Range)				
Metal Base (Base Metal)		Rango Diámetro de Tubería (Pipe Diameter Range)		
Ranura (Groove)		Filete (Fillet)		
Otros (Other)				

QW-404 METALES DE APORTE (FILLER METALS)		
Especificación SFA (SFA Specification)		
Clasificación AWS (AWS Classification)		
Número F del Metal Aporte (Filler Metal F No)		
Número A del Metal de Aporte (Weld Metal Analysis A-No)		
Electrodo-Fundente (Clase) (Electrode-Flux (Class))		
Nombre Comercial del Fundente (Flux Trade Name)		
Inserto Consumible (Consumable insert)		
Diámetro del Metal de Aporte (Size of Filler Metal)		
Metal de Soldadura Depositado (Deposited Weld Metal)		
Rango de Espesores (Thickness Range)	Ranura (Groove)	Filete (Fillet)
Otros (Other)		

QW-405 POSICION (POSITION)	
Posición de la Ranura (Position of Groove)	
Progresión Soldadura (Ascendente o Descendente) (Weld Progression (Uphill/ Downhill))	
Otros (Other)	

Preparado por Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Revisado por Fidel Barrón Tea Director de Calidad	Aprobado por Enrique Espinosa Velázquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y está prohibida su reproducción por cualquier medio.

 <b>E.I.A. S.A. de C.V.</b>	<b>Manual de Procedimientos</b>		Página 3 de 4
	<b>Nombre ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>		<b>Número OPE-020 Revisión 1</b>

<b>QW-406 PRECALENTAMIENTO (PREHEAT)</b>	
Temperatura de Precaentamiento ( <i>Preheat Temp</i> )	
Temperatura Interpasos ( <i>Interpass Temp</i> )	
Otros ( <i>Other</i> )	

<b>QW-407 TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR (POSTWELD HEAT TREATMENT)</b>	
Temperatura ( <i>Temperature</i> )	
Tiempo ( <i>Time</i> )	
Otros ( <i>Other</i> )	

<b>QW-408 GAS (GAS)</b>			
	<i>Composicion en Por ciento (Percent Composition)</i>		
	<i>Gas(es) (Gas(es))</i>	<i>Mezcla (Mixture)</i>	<i>Rango de Flujo (Flow Rate)</i>
Revestimiento ( <i>Shielding</i> )			
Arrastre ( <i>Trailing</i> )			
Respaldo ( <i>Backing</i> )			

<b>QW-409 CARACTERISTICAS ELECTRICAS (ELECTRICAL CHARACTERISTIC)</b>			
Corriente ( <i>Current</i> )			
Polaridad ( <i>Polarity</i> )			
Amperes	Volts	(Amps)	(Volts)
Diametro del Electrodo de Tungsteno ( <i>Tungsten Electrode Size</i> )			
Otros ( <i>Other</i> )			

Deben registrarse los rangos de voltaje y amperaje para cada tamaño de electrodo posición y espesor. Esta información puede ser listada en forma tabular similar a la mostrada abajo. (*Amps and volts range should be recorded for each size, position and thickness. This information may be listed in a tabular form similar to that shown below.*)

Tamaño y tipo del electrodo de tungsteno  
*Tungsten electrode size and type*

Modo de transferencia de metal para GMAW  
*Mode of metal transfer for GMAW*

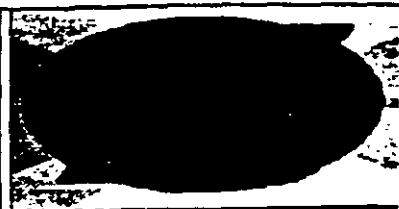
Velocidad de alimentación del alambre  
*Electrode wire feed speed range*

tungsteno puro 2% Toriado etc  
*pure tungsten, 2% thoriated, etc*

Arco spray arco corto circuito  
*Spray arc, short circuiting arc*

Preparado por Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Revisado por Fidel Barrón Tea Director de Calidad	Aprobado por Enrique Espinola Velazquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y esta prohibida su reproducción por cualquier medio.

 <b>E.I.A. S.A. de C.V.</b>	<b>Manual de Procedimientos</b>	<b>Número</b> <b>OPE-020</b>	<b>Página</b> <b>4 de 4</b>
	<b>Nombre</b> <b>ESPECIFICACION</b> <b>DE PROCEDIMIENTO DE</b> <b>SOLDADURA</b>	<b>Revisión</b> <b>1</b>	


QW-410 TECNICA (TECHNIQUE)	
Progresion Soldadura (Recta u Oscilante) (String or Weave Bead)	
Orificio o tamaño de la boquilla de gas (Orifice or cup size)	
Limpieza inicial e interpasos (cepillado, esmerilado) (Initial and interpass cleaning) (Brushing grinding)	
Método de vaciado (Method of back gouging)	
Oscilacion (Oscillation)	
Distancia de la boquilla a la pieza (Contact tube to work distance)	
Paso multiples o sencillos (por lado) (Multiple or single pass (per side))	
Electrodo Sencillo o Múltiple (Single or Multiple Electrode)	
Velocidad de avance (Rango) (Travel Speed (Range))	
Martillado (Peening)	
Otros (Other)	

Resumen de Parámetros del Procedimiento						
Proceso	Capas de Soldadura	Metal de Aporte		Corriente	Rango de Voltaje	Velocidad de avance
Process	Weld layer	Filler Metal		Current	Voltage Range	Travel speed
		Clase	Diam	Polaridad	Rango Amp	
		Class	Diam	Polarity	Amp range	
Otros (Other)						

(Consiguar e e) observaciones o comentarios acerca de adición de alambre caliente, técnica, ángulo de la antorcha etc.) (e.g. Remarks comments hot wire addition technique torch angle etc.)

Preparado por	Revisado por	Aprobado por
Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Fidel Barrón Tea Director de Calidad	Enrique Espinola Velázquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

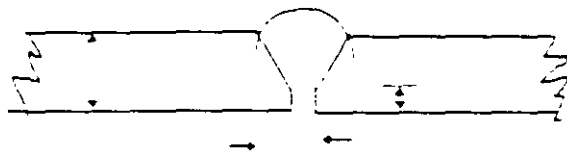
Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y esta prohibida su reproducción por cualquier medio

 <b>E.I.A. S.A. de C.V.</b>	<b>Manual de Procedimientos</b>		Página 1 de 4
	<b>Nombre REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>		Número  OPE-021  Revisión 1

**QW-483 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (RCP) Conforme a  
 QW-202.2, de la Sección IX, del Código ASME, Boiler and Pressure Vessel  
 Registro de Condiciones Usadas para la Probeta.  
 QW-483 PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR) Conform to  
 QW-202.2, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code  
 Record Actual Conditions Used to Weld Test Coupon**

Nombre de la compañía (Company name)	
Registro de Calificación N° (Procedure Qualification Record No)	
Especificación del Procedimiento de Soldadura No (WPS No)	
Proceso (s) de soldadura (Welding Processes)	
Tipo (Manual, Automatic, Semi-Automatic) (Type Manual, Automatic or Semi-automatic)	

**QW-402 JUNTAS (JOINTS)**



Diseño de la Ranura de la Probeta (Groove Design of Test Coupon)

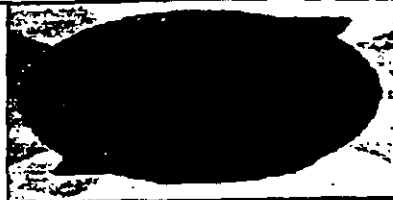
Para calificación de combinaciones debe registrarse el espesor de los depósitos de soldadura para cada metal de aporte o proceso usado (For combination qualifications the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal or process used)

**QW-403 METALES BASE (BASE METALS)**

Especificación del Material (Material Specification)	
Tipo o Grado (Type or Grade)	
No P	a No P
P No	to P No
Espesor de la Probeta (Thickness of Test Coupon)	
Diámetro de la Probeta (Diameter of Test Coupon)	
Otros (Other)	

Preparado por Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Revisado por Fidel Barrón Tea Director de Calidad	Aprobado por Enrique Espinola Velázquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha


Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y esta prohibida su reproducción por cualquier medio

 <b>E.I.A. S.A. de C.V.</b>	<b>Manual de Procedimientos</b>	Número <b>OPE-021</b>	Página 2 de 4
	<b>Nombre</b> <b>REGISTRO DE CALIFICACION</b> <b>DE PROCEDIMIENTO DE</b> <b>SOLDADURA</b>		Revisión 1

<b>QW-404 METALES DE APORTE (FILLER METALS)</b>			
Especificación SFA (SFA Specification)			
Clasificación AWS (AWS Classification)			
Número F del Metal Aporte (Filler Metal F No)			
Número A del Metal de Aporte (Weld Metal Analysis A-No)			
Diámetro del Metal de Aporte (Size of Filler Metal)			
Otros (Other)			
Metal de Soldadura Depositado (Deposited Weld Metal)			
<b>QW-405 POSICION (POSITION)</b>			
Posición de la Ranura (Position of Groove)			
Progresión Soldadura (Ascendente o Descendente)			
(Weld Progresión (Uphill, Downhill))			
Otros (Other)			
<b>QW-406 PRECALENTAMIENTO (PREHEAT)</b>			
Temperatura de Precaentamiento (Preheat Temp)			
Temperatura Interpasos (Interpass Temp)			
Otros (Other)			
<b>QW-407 TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR (POSTWELD HEAT TREATMENT)</b>			
Temperatura (Temperature)			
Tiempo (Time)			
Otros (Other)			
<b>QW-408 GAS (GAS)</b>			
Composición en Porcentaje (Percent Composition)			
	Gas(es) (Gas(es))	Mezcla (Mixture)	Rango de Flujo (Flow Rate)
Revestimiento (Shielding)			
Arrastre (Trailing)			
Respaldo (Backing)			
<b>QW-409 CARACTERISTICAS ELECTRICAS (ELECTRICAL CHARACTERISTIC)</b>			
Corriente (Current)			
Polaridad (Polarity)			
Amperes	(Volts)	(Amps)	(Volts)
Diámetro de Electrodo de Tungsteno (Tungsten Electrode Size)			
Otros (Other)			

Preparado por	Revisado por	Aprobado por
Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Fidel Barron Tea Director de Calidad	Enrique Espinola Velázquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y esta prohibida su reproducción por cualquier medio

 <b>E.I.A. S.A. de C.V.</b>	<b>Manual de Procedimientos</b>	Número  OPE-021	Página 3 de 4
	<b>Nombre REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>		Revisión 1

<b>QW-410 TECNICA (TECHNIQUE)</b>	
Velocidad de avance ( <i>Travel Speed</i> )	
Progresion Soldadura (Ascendente o Descendente) ( <i>String or Weave Bead</i> )	
Oscilación ( <i>Oscillation</i> )	
Paso Múltiple o Sencillo (por lado) ( <i>Multipass Or Single (per side)</i> )	
Electrodo Sencillo o Múltiple ( <i>Single or Multiple Electrode</i> )	
Otros ( <i>Other</i> )	

<b>QW-150 Pruebas de Tensión (Tensile Test)</b>						
Probeta No	Ancho	Espesor	Area	Carga Total Ultima lb	Ultimo Esfuerzo Unitario psi	Fallas y Localización
( <i>Specimen No.</i> )	( <i>Width</i> )	( <i>Thickness</i> )	( <i>Area</i> )	( <i>Ultimate Total Load</i> )	( <i>Ultimate Unit Stress</i> )	( <i>Type of Failure &amp; Location.</i> )

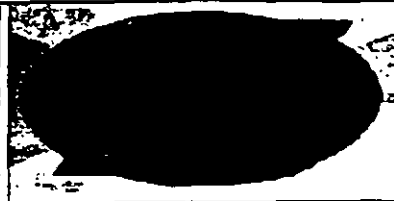
<b>QW-160 Pruebas de Dobleza Guiado (Guided-Bend Tests)</b>	
Tipo y Figura Número ( <i>Type and Figure No.</i> )	Resultado ( <i>Result</i> )

<b>QW-170 Pruebas de Tenacidad (Toughness Test)</b>								
Probeta Nº	Posición de la Ranura	Tipo Ranura	Temperatura de la Prueba	Cargas de Impacto	Expansión Lateral ( <i>Lateral Expansion</i> )		Peso Aplicado ( <i>Drop Weight</i> )	
( <i>Spec No.</i> )	( <i>Notch Location</i> )	( <i>Notch Type</i> )	( <i>Test Temp</i> )	( <i>Impact Values</i> )	Desgarre %	Granulado ( <i>Mils</i> )	Fractura ( <i>Break</i> )	Sin fractura ( <i>No Break</i> )
					( <i>Shear</i> )			

Preparado por Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Revisado por Fidel Barrón Tea Director de Calidad	Aprobado por Enrique Espinola Velazquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y esta prohibida su reproducción por cualquier medio.



 <b>E.I.A. S.A. de C.V.</b>	<b>Manual de Procedimientos</b>		Número  OPE-021	Página 4 de 4
	<b>Nombre</b> <b>REGISTRO DE CALIFICACION</b> <b>DE PROCEDIMIENTO DE</b> <b>SOLDADURA</b>			Revisión 1

QW-180 Prueba Filete de Soldadura ( <i>Fillet-Weld Test</i> )					
Resultado Satisfactorio  (Results Satisfactory)	Si (Yes)	No (No)	Penetración en Metal Base  (Penetration into Parent Metal)	Si (Yes)	No (No)
Macro Resultados ( <i>Macro Results</i> )					
<b>Otras Pruebas (<i>Other Tests</i>)</b>					
Tipo de Prueba ( <i>Type of Test</i> )					
Análisis de Depósito ( <i>Deposit Analysis</i> )					
Otros ( <i>Other</i> )					

Nombre del Soldador ( <i>Welder's Name</i> )	Reloj N° ( <i>Clock No.</i> )	Estampa No ( <i>Stamp No.</i> )
Pruebas conducidas por ( <i>Tests conducted by</i> )	Prueba de Laboratorio No ( <i>Laboratory Test No.</i> )	

<b>Certificamos que los datos en este registro son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo a los requisitos de la Sección IX del Código ASME</b> <i>(We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Code)</i>	
Fabricante ( <i>Manufacturer</i> )	
Fecha ( <i>Date</i> )	Emitido por ( <i>By</i> )

El detalle de registro de las pruebas es solamente ilustrativo y puede ser modificado conforme al tipo y número de pruebas requeridas por el Código  
*(Detail of record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the Code.)*

Preparado por Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Revisado por Fidel Barrón Tea Director de Calidad	Aprobado por Enrique Espinola Velázquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y esta prohibida su reproducción por cualquier medio



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

**MÓDULO II: MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS DE  
POTENCIA**

**TEMA:**

**MATERIALES PARA CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN**

**ING. MARCOS GUTIÉRREZ CÁRDENAS  
PALACIO DE MINERÍA  
ENERO – FEBRERO 2000**

# Selección de Materiales

- Todos los requisitos que indique el Código se deben consignar en la Memoria de Diseño y Cálculo del Equipo y también se deben indicar en los Dibujos de Fabricación, en la Especificación de Procedimiento de Soldadura, en la Hoja Viajera, etc.

# DIPLOMADO EN INGENIERIA DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESION

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA. FACULTAD DE INGENIERIA. UNAM

## MATERIALES PARA CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESION

Expositor: Ing. Manuel Cabrera Moreno

El proceso de diseño de un recipiente sujeto a presión, ya sea que vaya o no a ser sometido a fuego directo consiste básicamente en el arreglo y disposición de una serie de elementos o formas geométricas, tanto metálicos como no metálicos, de tal manera que soporten las cargas y/o la presión en forma segura, dentro de las funciones específicas para las que es diseñado .

Esto nos lleva a tener en consideración los siguientes conceptos básicos:

### 1 DISEÑO ESTRUCTURAL

La habilidad para soportar la presión y las cargas a que estará sometido es quizá la parte más importante en el diseño. Sin embargo, se deben cubrir tres aspectos para considerar que el diseño mecánico es satisfactorio:

- a) El recipiente debe cumplir los requisitos funcionales
- b) Los elementos estructurales deben ser capaces de soportar la presión y las cargas a las que estará sometido.
- c) Debe ser la construcción más económica.

Para cumplir estos objetivos básicos, el diseñador dispone de "herramientas" que le permiten llegar a soluciones satisfactorias, las cuales son:

#### 1 El conocimiento de las propiedades de los materiales.

Dentro de todas las propiedades de los materiales, las más importantes para el diseñador son el punto de cedencia y el módulo de elasticidad.

#### 2 El análisis de la resistencia estructural o mecánica.

Dentro de las técnicas más utilizadas por el diseñador están el diseño en base al **esfuerzo máximo permisible** y el **diseño plástico**. Como verán posteriormente, el método plástico es directo mientras que el método del esfuerzo máximo permisible consiste en un proceso de prueba-error hasta encontrar el material y geometría que reúnan las condiciones buscadas.

#### 3 Los códigos, especificaciones y estándares.

Estas clasificaciones nos entregan directamente los límites legales aplicables y nos indican las zonas en que son aplicables. Las especificaciones sirven como guías y facilitan el diseño a través de tablas, cartas o gráficas y normalmente se emiten para materiales "comerciales".

# Corolario

**DE UN BUEN DISEÑO DEPENDE LA  
FUNCIONALIDAD Y LA ECONOMÍA,  
PERO TAMBIÉN LA VIDA DE LAS  
PERSONAS Y LOS BIENES  
PATRIMONIALES DE LAS  
EMPRESAS.**

Es muy importante tener en cuenta los antecedentes históricos que se tengan sobre determinados diseños o configuraciones geométricas.

Los códigos se encargan de resumir los distintos comportamientos que se han observado a lo largo de años de servicio bajo distintas condiciones de operación. Estas reseñas se presentan como adendas o como interpretaciones en el código ASME.

#### **4 COMPORTAMIENTO DE LAS DISTINTAS FORMAS ESTRUCTURALES**

Para describir el comportamiento de los aceros y materiales estructurales debemos conocer dos de sus propiedades básicas, su resistencia y su ductilidad.

Estas propiedades definen el comportamiento de los aceros y materiales metálicos y, normalmente se presentan mediante gráficas esfuerzo-deformación. (Ver Gráfica # 1).

Una gráfica esfuerzo-deformación "comercial" puede o no mostrar las cuatro zonas principales que la componen, que a su vez representan los cuatro estados típicos de comportamiento de los metales. Estas zonas son:

- a) El rango elástico
- b) El rango plástico
- c) El rango deformación-endurecimiento
- d) El rango adelgazamiento-fractura-ruptura

Las gráficas "comerciales", pueden o no mostrar las cuatro áreas, pero todas cuando menos muestran los rangos elásticos y plásticos.

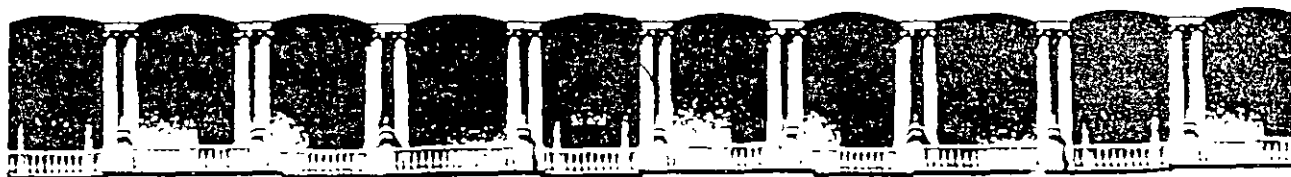
#### **5 CONCEPTOS DE DISEÑO**

Como ya hemos visto, el comportamiento de las formas geométricas y estructuras metálicas al ser sometidas a cargas o presión, puede estar controlada por uno o más criterios. Estas propiedades se conocen como "límite de utilización estructural" y de entre ellas destacan:

- a) Punto de cedencia hipotético
- b) Máxima resistencia plástica
- c) Deformaciones máximas a las condiciones de servicio
- d) Inestabilidad
- e) Fatiga
- f) Fractura

Como resultado de la combinación de los "límites" anteriores, se han desarrollado diversos sistemas de diseño, entre los más destacados y estudiados se tienen el método del "esfuerzo máximo permisible" y el método de "diseño plástico"

El método de diseño por "esfuerzo máximo permisible", requiere se consideren los puntos a), d) y e) y frecuentemente el punto b).



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

**MÓDULO II: MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS DE  
POTENCIA**

**TEMA:**

**MATERIALES PARA CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN**

**ING. MARCOS GUTIÉRREZ CÁRDENAS  
PALACIO DE MINERÍA  
ENERO – FEBRERO 2000**

Los códigos representan un conjunto de reglas de construcción que comprenden los aspectos de seguridad y bases comerciales por lo que su cumplimiento es obligatorio por Ley.

El seguimiento de las especificaciones y códigos, representan para el comprador, una garantía de que el recipiente cumple con los requisitos básicos de seguridad, funcionamiento y economía.

## **MATERIALES**

El amplio uso de materiales metálicos, especialmente los aceros, en la construcción de recipientes sujetos a presión, puede atribuirse a sus excelentes propiedades mecánicas, a la abundancia de las materias primas para fabricarlo y a su precio competitivo.

La principal cualidad del acero y de los materiales metálicos es que pueden producirse con una amplia gama de propiedades físicas y mecánicas, las cuales pueden controlarse con mucha precisión para obtener las características y propiedades deseadas.

Para la construcción de calderas y recipientes sujetos a presión existe una gran cantidad de aceros y materiales metálicos identificados bajo designaciones estandarizadas por diversas asociaciones, entre las que destacan las de ASTM, AISI, DIN, BSI, JIS, etc.

En el proceso de diseño, es importante considerar los siguientes criterios y parámetros:

## **PROPIEDADES IMPORTANTES**

Como ya se mencionó, la herramienta principal de que dispone un diseñador para determinar el comportamiento mecánico, son los diagramas esfuerzo-deformación.

Sin embargo, las propiedades importantes en el diseño mecánico y estructural que deben también considerarse son:

- 1 Punto de cedencia.
- 2 Punto de fluencia
- 3 Nivel de esfuerzo de cedencia
- 4 Límite proporcional
- 5 Resistencia a la tensión
- 6 Ductilidad
- 7 Módulo de elasticidad
- 8 Módulo de deformación permanente
- 9 Relación de Poisson
- 10 Módulo de elasticidad cortante
- 11 Soldabilidad
- 12 Maquinabilidad
- 13 Formabilidad
- 14 Resistencia a la corrosión y a la abrasión
- 15 Resistencia a la fatiga
- 16 Tenacidad
- 17 Resistencia a la fractura frágil
- 18 Sensibilidad a las grietas
- 19 Resistencia al impacto



# DIPLOMADO EN INGENIERIA DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESION

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA. FACULTAD DE INGENIERIA. UNAM

## MATERIALES PARA CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESION

Expositor: Ing. Manuel Cabrera Moreno

El proceso de diseño de un recipiente sujeto a presión, ya sea que vaya o no a ser sometido a fuego directo consiste básicamente en el arreglo y disposición de una serie de elementos o formas geométricas, tanto metálicos como no metálicos, de tal manera que soporten las cargas y/o la presión en forma segura, dentro de las funciones específicas para las que es diseñado .

Esto nos lleva a tener en consideración los siguientes conceptos básicos:

### 1 DISEÑO ESTRUCTURAL

La habilidad para soportar la presión y las cargas a que estará sometido es quizá la parte más importante en el diseño. Sin embargo, se deben cubrir tres aspectos para considerar que el diseño mecánico es satisfactorio:

- a) El recipiente debe cumplir los requisitos funcionales
- b) Los elementos estructurales deben ser capaces de soportar la presión y las cargas a las que estará sometido.
- c) Debe ser la construcción más económica.

Para cumplir estos objetivos básicos, el diseñador dispone de "herramientas" que le permiten llegar a soluciones satisfactorias, las cuales son:

#### 1 El conocimiento de las propiedades de los materiales.

Dentro de todas las propiedades de los materiales, las más importantes para el diseñador son el punto de cedencia y el módulo de elasticidad.

#### 2 El análisis de la resistencia estructural o mecánica.

Dentro de las técnicas más utilizadas por el diseñador están el diseño en base al **esfuerzo máximo permisible** y el **diseño plástico**. Como verán posteriormente, el método plástico es directo mientras que el método del esfuerzo máximo permisible consiste en un proceso de prueba-error hasta encontrar el material y geometría que reúnan las condiciones buscadas.

#### 3 Los códigos, especificaciones y estándares.

Estas clasificaciones nos entregan directamente los límites legales aplicables y nos indican las zonas en que son aplicables. Las especificaciones sirven como guías y facilitan el diseño a través de tablas, cartas o gráficas y normalmente se emiten para materiales "comerciales".

deberemos comprar un mínimo de "x" toneladas y este material tendrá un tiempo de entrega de "n" meses.

Esta situación puede resolverse comparando la concordancia entre las especificaciones ASTM con las DIN o con las JIS, etc., de tal manera que se evalúe en que grado son iguales o en que nos afectan las variantes que se presenten, recalculando los factores esenciales que puedan afectar el comportamiento de nuestro diseño.

### **IMPORTANCIA DE LA SELECCION DE MATERIALES**

Es evidente que para cumplir los requisitos de seguridad, funcionamiento y economía, existe una amplísima variedad de materiales que pueden seleccionarse o de donde escoger, siguiendo las guías que nos marcan las especificaciones y los procedimientos de trabajo para los distintos materiales.

El reto para los diseñadores es entonces, seleccionar el material más conveniente para una función o trabajo específicos.

Bajo estas consideraciones, la selección debe basarse entonces en:

- 1 El cumplimiento de las condiciones de servicio predeterminadas
- 2 El cumplimiento de las condiciones de seguridad predeterminadas
- 3 El cumplimiento de las expectativas mecánicas de los materiales
- 4 La economía

Es muy importante considerar en el aspecto económico, el precio del material base, fletes, los costos de fabricación, efectos del peso muerto en los costos de las estructuras y cimentaciones, áreas o espacios de operación y otros factores.

En el análisis, es importante considerar que en muchas ocasiones es más económico utilizar materiales base más resistentes, aparentemente más caros pero, que requerirán espesores menores y consecuentemente estructuras y/o cimentaciones más ligeras.

Este mismo criterio debe utilizarse cuando se requieran materiales resistentes a la corrosión o a la abrasión, analizando la posibilidad de utilizar materiales revestidos (clad), aplicación de soldadura de revestimiento, etc.

El diseñador, bajo ninguna circunstancia, puede ni debe violar el código sobre el que está basado el diseño en aras de la economía o de alguna condición operativa.

Para el diseñador, lo único que no es negociable ni está sujeto a análisis ni consideraciones de ningún tipo es la seguridad que debe tener el diseño o el recipiente durante la operación.

Sí es obligación del diseñador el realizar análisis exhaustivos sobre el comportamiento de distintos materiales para garantizar la funcionalidad y seguridad del recipiente dentro de los marcos de seguridad establecidos.

Es muy importante tener en cuenta los antecedentes históricos que se tengan sobre determinados diseños o configuraciones geométricas.

Los códigos se encargan de resumir los distintos comportamientos que se han observado a lo largo de años de servicio bajo distintas condiciones de operación. Estas reseñas se presentan como adendas o como interpretaciones en el código ASME.

#### 4 COMPORTAMIENTO DE LAS DISTINTAS FORMAS ESTRUCTURALES

Para describir el comportamiento de los aceros y materiales estructurales debemos conocer dos de sus propiedades básicas, su resistencia y su ductilidad.

Estas propiedades definen el comportamiento de los aceros y materiales metálicos y, normalmente se presentan mediante gráficas esfuerzo-deformación. (Ver Gráfica # 1).

Una gráfica esfuerzo-deformación "comercial" puede o no mostrar las cuatro zonas principales que la componen, que a su vez representan los cuatro estados típicos de comportamiento de los metales. Estas zonas son:

- a) El rango elástico
- b) El rango plástico
- c) El rango deformación-endurecimiento
- d) El rango adelgazamiento-fractura-ruptura

Las gráficas "comerciales", pueden o no mostrar las cuatro áreas, pero todas cuando menos muestran los rangos elásticos y plásticos.

#### 5 CONCEPTOS DE DISEÑO

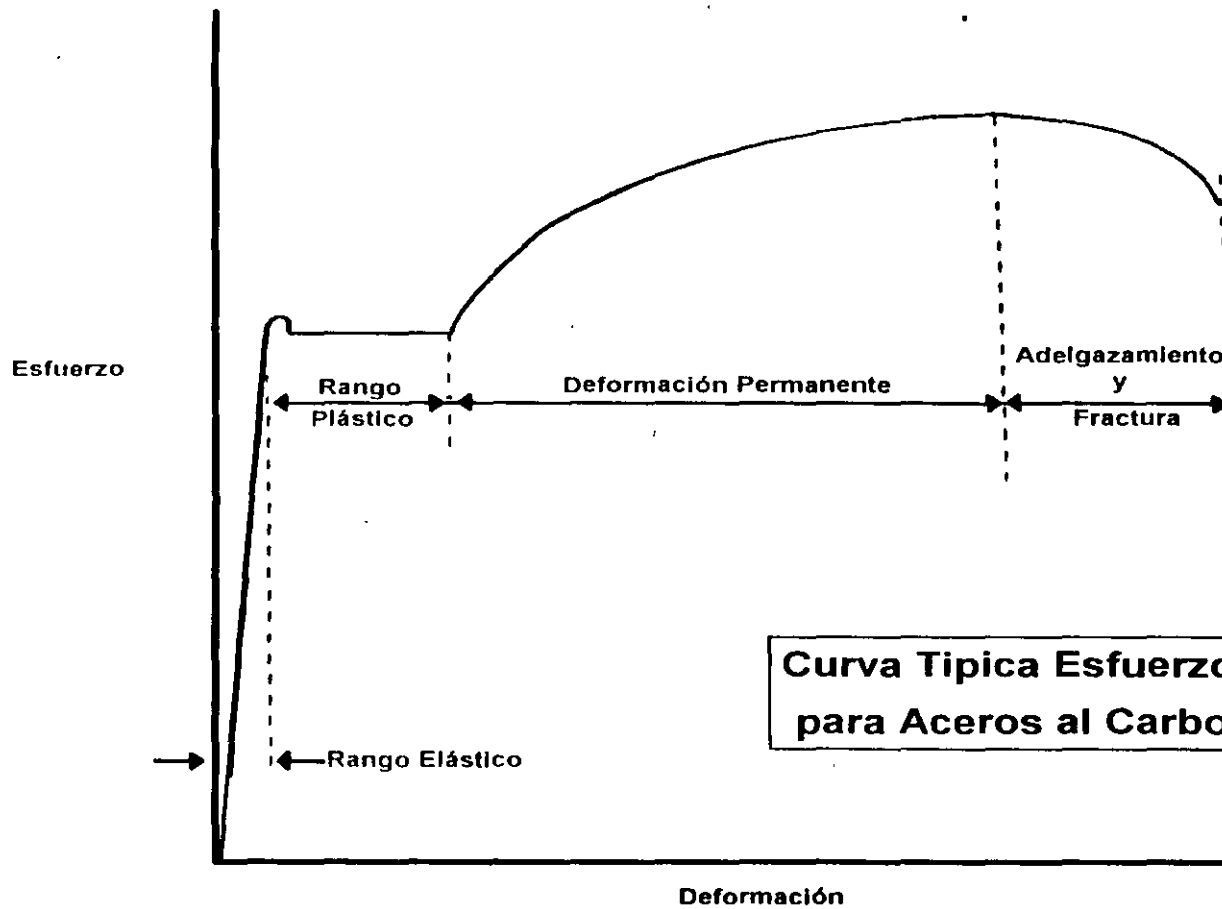
Como ya hemos visto, el comportamiento de las formas geométricas y estructuras metálicas al ser sometidas a cargas o presión, puede estar controlada por uno o más criterios. Estas propiedades se conocen como "límite de utilización estructural" y de entre ellas destacan:

- a) Punto de cedencia hipotético
- b) Máxima resistencia plástica
- c) Deformaciones máximas a las condiciones de servicio
- d) Inestabilidad
- e) Fatiga
- f) Fractura

Como resultado de la combinación de los "límites" anteriores, se han desarrollado diversos sistemas de diseño, entre los más destacados y estudiados se tienen el método del "esfuerzo máximo permisible" y el método de "diseño plástico"

El método de diseño por "esfuerzo máximo permisible", requiere se consideren los puntos a), d) y e) y frecuentemente el punto b).

# Gráfica # 1



Curva Típica Esfuerzo Deformación para Aceros al Carbono

Los códigos representan un conjunto de reglas de construcción que comprenden los aspectos de seguridad y bases comerciales por lo que su cumplimiento es obligatorio por Ley.

El seguimiento de las especificaciones y códigos, representan para el comprador, una garantía de que el recipiente cumple con los requisitos básicos de seguridad, funcionamiento y economía.

## **MATERIALES**

El amplio uso de materiales metálicos, especialmente los aceros, en la construcción de recipientes sujetos a presión, puede atribuirse a sus excelentes propiedades mecánicas, a la abundancia de las materias primas para fabricarlo y a su precio competitivo.

La principal cualidad del acero y de los materiales metálicos es que pueden producirse con una amplia gama de propiedades físicas y mecánicas, las cuales pueden controlarse con mucha precisión para obtener las características y propiedades deseadas.

Para la construcción de calderas y recipientes sujetos a presión existe una gran cantidad de aceros y materiales metálicos identificados bajo designaciones estandarizadas por diversas asociaciones, entre las que destacan las de ASTM, AISI, DIN, BSI, JIS, etc.

En el proceso de diseño, es importante considerar los siguientes criterios y parámetros:

## **PROPIEDADES IMPORTANTES**

Como ya se mencionó, la herramienta principal de que dispone un diseñador para determinar el comportamiento mecánico, son los diagramas esfuerzo-deformación.

Sin embargo, las propiedades importantes en el diseño mecánico y estructural que deben también considerarse son:

- 1 Punto de cedencia.
- 2 Punto de fluencia
- 3 Nivel de esfuerzo de cedencia
- 4 Límite proporcional
- 5 Resistencia a la tensión
- 6 Ductilidad
- 7 Módulo de elasticidad
- 8 Módulo de deformación permanente
- 9 Relación de Poisson
- 10 Módulo de elasticidad cortante
- 11 Soldabilidad
- 12 Maquinabilidad
- 13 Formabilidad
- 14 Resistencia a la corrosión y a la abrasión
- 15 Resistencia a la fatiga
- 16 Tenacidad
- 17 Resistencia a la fractura frágil
- 18 Sensibilidad a las grietas
- 19 Resistencia al impacto

## MATERIALES MAS COMUNES PARA USO EN BAJA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO EN GRADOS FARHENHEITH				
		-425 a -321	-320 a -151	-150 a -91	-90 a -51	-50 a -41
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 240 TP304	SA 353 (9% Ni) SA 553 TP-I	SA 203 E S5	SA 203 B S5	SA 516-65 S5
		SA 240 TP304L	SA 240 TP304 SA 240 TP304L	SA 203 D S5	SA 203 A S5	SA 203 B S5
BRIDAS CIEGAS	Forja	Forja	Forja	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
	Placa	SA 182 F304 SA 182 F304L	SA 522 (9% Ni) SA 182 F304 SA 182 F304L	SA 350 LF 3	SA 350 LF 3	SA 350 LF 2
SILLETAS		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C	SA 283 C	SA 283 C	SA 283 C	SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
COPLES		SA 182 F304L	SA 182 F304L	SA 350 LF 3	SA 350 LF 3	SA 350 LF 2
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 312 TP304 SA 312TP304L	SA 333-8	SA 333-3	SA 333-7	SA 333-6
			SA 312 TP304 SA 312TP304L			
CONEXIONES SOLDABLES		SA 403 WP-304 SA 403 WP-304L	SA 420 WPL-8	SA 420 WPL-3	SA 420 WPL-3	SA 420 WPL-6
			SA 312 TP304 SA 312TP304L			
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 312 TP304 SA 312TP304L	SA 333-8	SA 333-3	SA 333-7	SA 333-6
			SA 312 TP304 SA 312TP304L			
TORNILLERIA INTERIOR		SA 320 B8	SA 320 B8	SA 320 L7	SA 320 L7	SA 320 L7
		SA 194-8	SA 194-8	SA 194-4	SA 194-4	SA 194-4
TORNILLERIA EXTERIOR		SA 194-8	SA 194-8	SA 194-4	SA 194-4	SA 194-4

deberemos comprar un mínimo de "x" toneladas y este material tendrá un tiempo de entrega de "n" meses.

Esta situación puede resolverse comparando la concordancia entre las especificaciones ASTM con las DIN o con las JIS, etc., de tal manera que se evalúe en que grado son iguales o en que nos afectan las variantes que se presenten, recalculando los factores esenciales que puedan afectar el comportamiento de nuestro diseño.

### **IMPORTANCIA DE LA SELECCION DE MATERIALES**

Es evidente que para cumplir los requisitos de seguridad, funcionamiento y economía, existe una amplísima variedad de materiales que pueden seleccionarse o de donde escoger, siguiendo las guías que nos marcan las especificaciones y los procedimientos de trabajo para los distintos materiales.

El reto para los diseñadores es entonces, seleccionar el material más conveniente para una función o trabajo específicos.

Bajo estas consideraciones, la selección debe basarse entonces en:

- 1 El cumplimiento de las condiciones de servicio predeterminadas
- 2 El cumplimiento de las condiciones de seguridad predeterminadas
- 3 El cumplimiento de las expectativas mecánicas de los materiales
- 4 La economía

Es muy importante considerar en el aspecto económico, el precio del material base, fletes, los costos de fabricación, efectos del peso muerto en los costos de las estructuras y cimentaciones, áreas o espacios de operación y otros factores.

En el análisis, es importante considerar que en muchas ocasiones es más económico utilizar materiales base más resistentes, aparentemente más caros pero, que requerirán espesores menores y consecuentemente estructuras y/o cimentaciones más ligeras.

Este mismo criterio debe utilizarse cuando se requieran materiales resistentes a la corrosión o a la abrasión, analizando la posibilidad de utilizar materiales revestidos (ciad), aplicación de soldadura de revestimiento, etc.

El diseñador, bajo ninguna circunstancia, puede ni debe violar el código sobre el que está basado el diseño en aras de la economía o de alguna condición operativa.

Para el diseñador, lo único que no es negociable ni está sujeto a análisis ni consideraciones de ningún tipo es la seguridad que debe tener el diseño o el recipiente durante la operación.

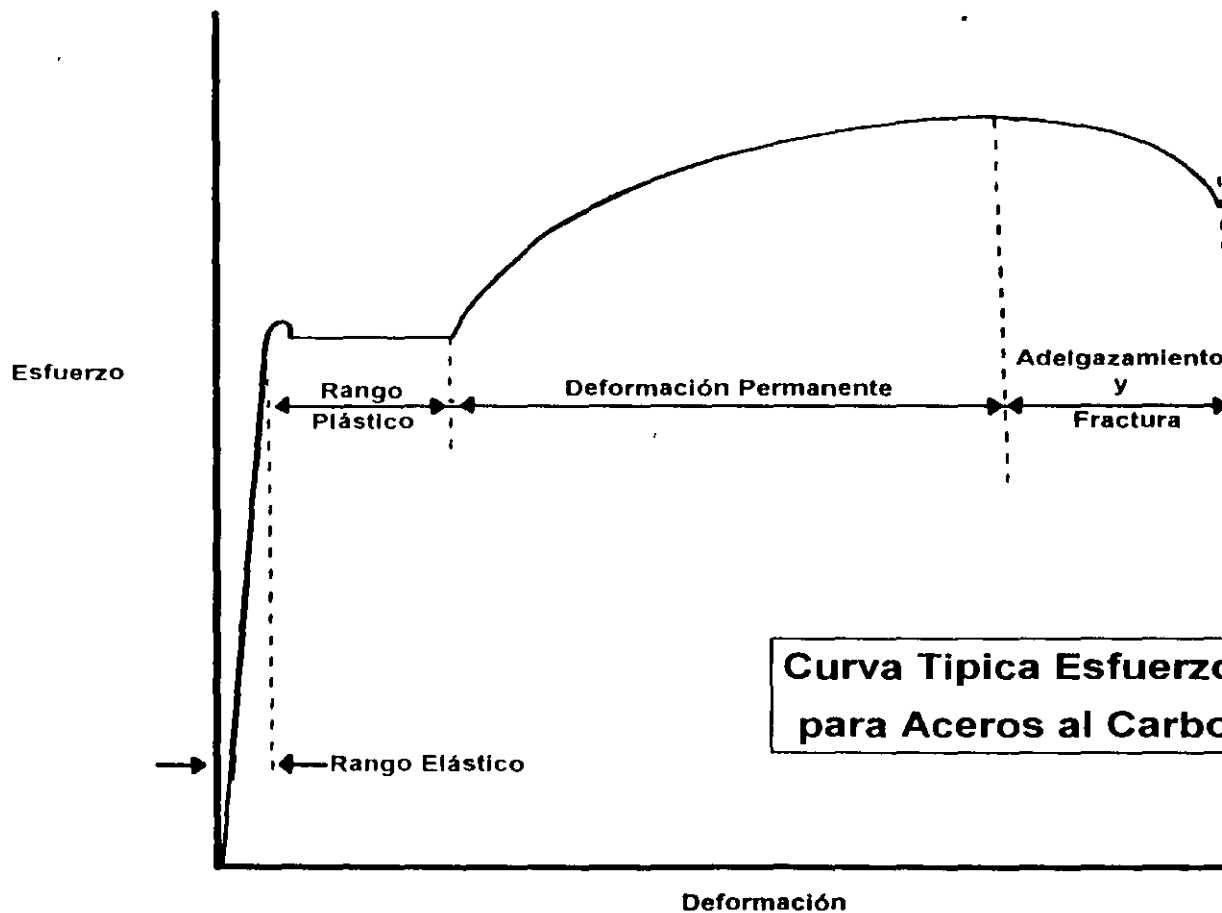
Si es obligación del diseñador el realizar análisis exhaustivos sobre el comportamiento de distintos materiales para garantizar la funcionalidad y seguridad del recipiente dentro de los marcos de seguridad establecidos.

## MATERIALES PARA USO EN BAJA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO
		menos 320 a menos 151 °F
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 353 (9% Ni) SA 553 TP-I
		SA 240 TP304 SA 240 TP304L
BRIDAS CIEGAS	Forja	Forja
	Placa	SA 522 (9% Ni) SA 182 F304 SA 182 F304L
SILLETAS		Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo
COPLES		SA 182 F304L
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 333-8
		SA 312 TP304
		SA 312TP304L
CONEXIONES SOLDABLES		SA 420 WPL-8
		SA 312 TP304
		SA 312TP304L
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 333-8
		SA 312 TP304
		SA 312TP304L
TORNILLERIA INTERIOR		SA 320 B8 y SA 194-8
TORNILLERIA EXTERIOR		SA 194-8



# Gráfica # 1



Curva Típica Esfuerzo Deformación para Aceros al Carbono

## MATERIALES PARA USO EN BAJA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO
		menos 90 a menos 51 °F
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 203 B S5
		SA 203 A S5
BRIDAS CIEGAS	Forja	Idem cuerpo
	Placa	SA 350 LF 3
SILLETAS		Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo
COPLES		SA 350 LF 3
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 333-7
CONEXIONES SOLDABLES		SA 420 WPL-3
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 333-7
TORNILLERIA INTERIOR		SA 320 L7
		SA 194-4
TORNILLERIA EXTERIOR		SA 194-4

## MATERIALES MAS COMUNES PARA USO EN BAJA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO EN GRADOS FARHENHEITH				
		-425 a -321	-320 a -151	-150 a -91	-90 a -51	-50 a -41
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 240 TP304	SA 353 (9% Ni) SA 553 TP-I	SA 203 E S5	SA 203 B S5	SA 516-65 S5
		SA 240 TP304L	SA 240 TP304 SA 240 TP304L	SA 203 D S5	SA 203 A S5	SA 203 B S5
BRIDAS CIEGAS	Forja	Forja	Forja	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
	Placa	SA 182 F304 SA 182 F304L	SA 522 (9% Ni) SA 182 F304 SA 182 F304L	SA 350 LF 3	SA 350 LF 3	SA 350 LF 2
SILLETAS		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
FALDÓN a 1 2 m de línea de tangencia		SA 283 C	SA 283 C	SA 283 C	SA 283 C	SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
COPLES		SA 182 F304L	SA 182 F304L	SA 350 LF 3	SA 350 LF 3	SA 350 LF 2
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 312 TP304 SA 312TP304L	SA 333-8	SA 333-3	SA 333-7	SA 333-6
			SA 312 TP304			
			SA 312TP304L			
CONEXIONES SOLDABLES		SA 403 WP-304 SA 403 WP-304L	SA 420 WPL-8	SA 420 WPL-3	SA 420 WPL-3	SA 420 WPL-6
			SA 312 TP304			
			SA 312TP304L			
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 312 TP304 SA 312TP304L	SA 333-8	SA 333-3	SA 333-7	SA 333-6
			SA 312 TP304			
			SA 312TP304L			
TORNILLERIA INTERIOR		SA 320 B8	SA 320 B8	SA 320 L7	SA 320 L7	SA 320 L7
		SA 194-8	SA 194-8	SA 194-4	SA 194-4	SA 194-4
TORNILLERIA EXTERIOR		SA 194-8	SA 194-8	SA 194-4	SA 194-4	SA 194-4

## MATERIALES PARA USO EN MEDIA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO
		menos 40 a más 60 °F
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 516 70 S5
		SA 516 65 S5
BRIDAS CIEGAS	Placa	Idem cuerpo
	Forja	SA 350 LF 2
SILLETAS		Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo
COPLES		SA 350 LF 2
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 333-6
CONEXIONES SOLDABLES		SA 420 WPL-6
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 312 TP304
TORNILLERIA INTERIOR Y EXTERIOR		SA 193 B7
		SA 194-2H

## MATERIALES PARA USO EN BAJA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO
		menos 320 a menos 151 °F
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 353 (9% Ni) SA 553 TP-I
		SA 240 TP304 SA 240 TP304L
BRIDAS CIEGAS	Forja	Forja
	Placa	SA 522 (9% Ni) SA 182 F304 SA 182 F304L
SILLETAS		Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo
COPLES		SA 182 F304L
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 333-8
		SA 312 TP304
		SA 312TP304L
CONEXIONES SOLDABLES		SA 420 WPL-8
		SA 312 TP304
		SA 312TP304L
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 333-8
		SA 312 TP304
		SA 312TP304L
TORNILLERIA INTERIOR		SA 320 B8 y SA 194-8
TORNILLERIA EXTERIOR		SA 194-8

## MATERIALES MAS COMUNES PARA USO EN MEDIA TEMPERATURA

COMPONENTE	TEMPERATURA DE DISEÑO EN GRADOS FARHENHEITH	
	-40 a +60	+61 a +650
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)	SA 516 70 S5	SA 285 C
	SA 516 65 S5	SA 515 70
BRIDAS CIEGAS	Placa Idem cuerpo	Idem cuerpo
	Forja SA 350 LF 2	SA 105
SILLETAS	Idem cuerpo	Idem cuerpo
FALDÓN a 1 2 m de línea de tangencia	SA 283 C	SA 283 C
CUELLOS para Boquillas	Idem cuerpo	Idem cuerpo
COPLES	SA 350 LF 2	SA 105
Apoyos de Platos y Soportes Internos	Idem cuerpo	Idem cuerpo
Mamparas y Colectores	Idem cuerpo	Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR	SA 333-6	SA 53-B
CONEXIONES SOLDABLES	SA 420 WPL-6	SA 234 WPA
		SA 234 WPB
CUELLOS DE BOQUILLAS Y	SA 312 TP304	SA 53-B
CONEXIONES SOLDABLES		SA 106-B
TORNILLERIA INTERIOR Y EXTERIOR	SA 193 B7	SA 193 B7
	SA 194-2H	SA 194-2H

## MATERIALES PARA USO EN BAJA TEMPERATURA

COMPONENTE	TEMPERATURA DE DISEÑO	
	menos 90 a menos 51 °F	
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)	SA 203 B S5	
	SA 203 A S5	
BRIDAS CIEGAS	Forja	Idem cuerpo
	Placa	SA 350 LF 3
SILLETAS	Idem cuerpo	
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia	SA 283 C	
CUELLOS para Boquillas	Idem cuerpo	
COPLES	SA 350 LF 3	
Apoyos de Platos y Soportes Internos	Idem cuerpo	
Mamparas y Colectores	Idem cuerpo	
TUBERIA INTERIOR	SA 333-7	
CONEXIONES SOLDABLES	SA 420 WPL-3	
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES	SA 333-7	
TORNILLERIA INTERIOR	SA 320 L7	
	SA 194-4	
TORNILLERIA EXTERIOR	SA 194-4	

## MATERIALES MAS COMUNES PARA USO EN ALTA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO EN GRADOS FARHENHEITH				
		651 a 775	776 a 850	851 a 1050	1051 a 1150	
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 515 70	SA 204 B		SA 387 II CL2	SA 204 TP304
			SA 204 C		SA 387 II CL2	
			Clad con	SA 263 SA 264	Clad con	
BRIDAS CIEGAS	Placa	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Forja	
	Forja	SA 105	SA 182 F1 (B) SA 182 F2 ( C )	SA 182 F II	SA 182 F304 H	
SILLETAS		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C	SA 283 C	SA 283 C	SA 283 C	
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	
COPLES		SA 105	SA 182 F2 ( C )	SA 182 F II	SA 182 F304 H	
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	Idem cuerpo	
TUBERIA INTERIOR		SA 53 B	SA 335-PI	SA 335-PII	SA 312 TP304 H	
CONEXIONES SOLDABLES		SA 234 WP B	SA 234 WP I	SA 234 WP II	SA 403 WP304 H	
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 106-C SA 106-B	SA 335 PI	SA 335-PII	SA 312 TP304 H	
TORNILLERIA INTERIOR Y EXTERIOR		SA 193 B7	SA 193 B7	SA 193 B7	SA 193 B8	
		SA 194-2H	SA 194-2H	SA 194-2H	SA 194-8	



## MATERIALES PARA USO EN MEDIA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO
		menos 40 a más 60 °F
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 516 70 S5
		SA 516 65 S5
BRIDAS CIEGAS	Placa	Idem cuerpo
	Forja	SA 350 LF 2
SILLETAS		Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo
COPLES		SA 350 LF 2
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 333-6
CONEXIONES SOLDABLES		SA 420 WPL-6
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 312 TP304
TORNILLERIA INTERIOR Y EXTERIOR		SA 193 B7
		SA 194-2H

## MATERIALES PARA USO EN ALTA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO
		776 a 850 °F
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 204 B
		SA 204 C
		Clad con SA 263 SA 264
BRIDAS CIEGAS	Placa	Idem cuerpo
	Forja	SA 182 F1 (B) SA 182 F2 ( C )
SILLETAS		Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo
COPLES		SA 182 F2 ( C )
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 335-PI
CONEXIONES SOLDABLES		SA 234 WP I
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 335 PI
TORNILLERIA INTERIOR Y EXTERIOR		SA 193 B7 y SA 194-2H

## MATERIALES MAS COMUNES PARA USO EN MEDIA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO EN GRADOS FARHENHEITH	
		-40 a +60	+61 a +650
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 516 70 S5	SA 285 C
		SA 516 65 S5	SA 515 70
BRIDAS CIEGAS	Placa	Idem cuerpo	Idem cuerpo
	Forja	SA 350 LF 2	SA 105
SILLETAS		Idem cuerpo	Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C	SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo	Idem cuerpo
COPLES		SA 350 LF 2	SA 105
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo	Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo	Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 333-6	SA 53-B
CONEXIONES SOLDABLES		SA 420 WPL-6	SA 234 WPA
			SA 234 WPB
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 312 TP304	SA 53-B
			SA 106-B
TORNILLERIA INTERIOR Y EXTERIOR		SA 193 B7	SA 193 B7
		SA 194-2H	SA 194-2H

# MATERIALES PARA USO EN ALTA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO	
		1051 a 1150 °F	
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 204 TP304	
		Clad con	SA 263 SA 264
BRIDAS CIEGAS	Placa	Forja	
	Forja	SA 182 F304 H	
SILLETAS		Idem cuerpo	
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C	
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo	
COPLES		SA 182 F304 H	
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo	
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo	
TUBERIA INTERIOR		SA 312 TP304 H	
CONEXIONES SOLDABLES		SA 403 WP304 H	
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 312 TP304 H	
TORNILLERIA INTERIOR Y EXTERIOR		SA 193 B8 y SA 194-8	

## MATERIALES MAS COMUNES PARA USO EN ALTA TEMPERATURA

COMPONENTE		TEMPERATURA DE DISEÑO EN GRADOS FARHENHEITH				
		651 a 775	776 a 850	851 a 1050	1051 a 1150	
CUERPOS, CABEZAS Y REFUERZOS (Plantillas y Collares)		SA 515 70	SA 204 B		SA 387 II CL2	SA 204 TP304
			SA 204 C		SA 387 II CL2	
			Clad con	SA 263 SA 264	Clad con	
BRIDAS CIEGAS	Placa	Idem cuerpo	Idem cuerpo		Idem cuerpo	Forja
	Forja	SA 105	SA 182 F1 (B) SA 182 F2 ( C )	SA 182 F II		SA 182 F304 H
SILLETAS		Idem cuerpo	Idem cuerpo		Idem cuerpo	Idem cuerpo
FALDÓN a 1.2 m. de línea de tangencia		SA 283 C	SA 283 C		SA 283 C	SA 283 C
CUELLOS para Boquillas		Idem cuerpo	Idem cuerpo		Idem cuerpo	Idem cuerpo
COPLES		SA 105	SA 182 F2 ( C )		SA 182 F II	SA 182 F304 H.
Apoyos de Platos y Soportes Internos		Idem cuerpo	Idem cuerpo		Idem cuerpo	Idem cuerpo
Mamparas y Colectores		Idem cuerpo	Idem cuerpo		Idem cuerpo	Idem cuerpo
TUBERIA INTERIOR		SA 53 B	SA 335-PI		SA 335-PII	SA 312 TP304 H
CONEXIONES SOLDABLES		SA 234 WP B	SA 234 WP I		SA 234 WP II	SA 403 WP304 H
CUELLOS DE BOQUILLAS Y CONEXIONES SOLDABLES		SA 106-C SA 106-B	SA 335 PI		SA 335-PII	SA 312 TP304 H
TORNILLERIA INTERIOR Y EXTERIOR		SA 193 B7	SA 193 B7		SA 193 B7	SA 193 B8
		SA 194-2H	SA 194-2H		SA 194-2H	SA 194-8

# Selección de Materiales

- Es importante que al seleccionar un material en particular se revisen cuidadosamente las especificaciones correspondientes a fin de contemplar en que rango es aplicable, ( temperatura, presión, espesores), y que pruebas indica el Código que se deben realizar, (metalográficas, de impacto, tratamiento térmico previo, durante y después de la soldadura, etc.)

# Selección de Materiales

- Todos los requisitos que indique el Código se deben consignar en la Memoria de Diseño y Cálculo del Equipo y también se deben indicar en los Dibujos de Fabricación, en la Especificación de Procedimiento de Soldadura, en la Hoja Viajera, etc.

# Selección de Materiales

**NO ES NEGOCIABLE NI ESTÁ  
SUJETO A ANÁLISIS NI  
CONSIDERACIONES DE NINGÚN  
TIPO LA SEGURIDAD QUE DEBE  
TENER EL RECIPIENTE DURANTE  
LA OPERACIÓN.**



# Corolario

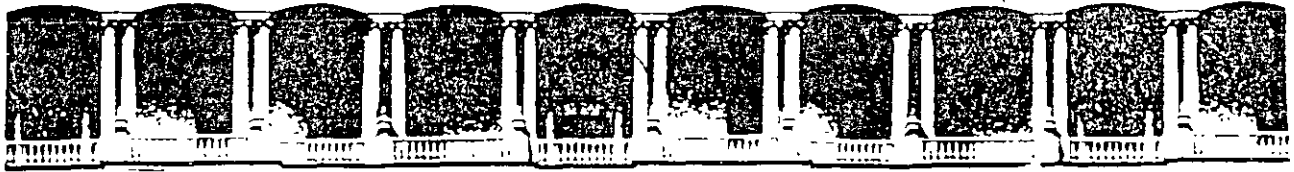
**DE UN BUEN DISEÑO DEPENDE LA  
FUNCIONALIDAD Y LA ECONOMÍA,  
PERO TAMBIÉN LA VIDA DE LAS  
PERSONAS Y LOS BIENES  
PATRIMONIALES DE LAS  
EMPRESAS.**

# CODIGO ASME

SE CONSIGUE EN :

GLOBAL INFO CENTRES IHS DE MEXICO S.A. DE C.V.

AV. RIO CHURBUSCO 364  
COL. EL CARMEN COYOACAN  
MEXICO D.F. 04100  
TEL. (5) 659 58 89



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

**MÓDULO II: MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS  
DE POTENCIA**

**TEMA:**

**CURSO DE SOLDADURA DE ARCO**

**M. EN C. JOSÉ GUADALUPE TORRES ORTEGA  
PALACIO DE MINERÍA  
ENERO – FEBRERO 2000**

# CURSO DE SOLDADURA DE ARCO

M. en C. José G. Torres Ortega  
Presidente del Comité Nacional Permanente de Peritos en Soldadura

## 1. INTRODUCCION

Una construcción soldada es un ensamble cuyas partes componentes están unidas por soldadura. Una construcción soldada puede ser un bloque completamente soldado, un rascacielos, una carrocería de automóvil, un cuadro de bicicleta o una cafetera, pero en cualquier caso debe diseñarse como construcción soldada. Las construcciones soldadas deben satisfacer los requisitos de operación durante su vida útil a un costo mínimo y tener apariencia agradable. Para hacer esto, se debe diseñar inicialmente como construcción soldada y no como construcción remachada o como pieza vaciada y forjada, para modificarla después. Para usar adecuadamente el potencial tan tremendo de la soldadura, la estructura o la parte deben diseñarse como construcción soldada desde un principio. Con mucha frecuencia los diseñadores recuerdan los principios aprendidos para el diseño remachado o atornillado, y usan soldaduras del tipo de traslape en las construcciones soldadas, o el diseñador, recordando los principios de piezas vaciadas, puede incluir secciones más gruesas que las necesarias para la resistencia de la parte. La construcción soldada debe diseñarse estrictamente para satisfacer los requisitos funcionales de la parte.

Los diseñadores de las partes soldadas y de las constructoras deben diseñar construcciones que desempeñen la función requerida de la mínima cantidad de material y de mano de obra. Para esto es necesario cierto ingenio, pero los resultados obtenidos con la aplicación inteligente de las ventajas de un diseño ya soldado valen la pena ese esfuerzo.

La solución más económica a una necesidad de diseño se lograra si el diseñador toma en cuenta, inteligentemente, los siguientes diez puntos:

1. Las necesidades totales de servicio del producto.
2. Los tipos de carga y métodos para calcular con precisión los esfuerzos.
3. Los esfuerzos de trabajo permisibles.
4. Las propiedades mecánicas y físicas de los materiales de base que se utilizarán.
5. Las posibilidades de los procesos de soldadura a usarse y las propiedades de los depósitos de soldaduras.
6. Los tipos de unión y de soldaduras –su diseño y limitaciones.
7. Los métodos de fabricación disponibles –las ventajas, los problemas potenciales y los costos.
8. El costo de la soldadura según los distintos procesos y procedimientos.

9. Comunicaciones nítidas de los diseños de soldadura, incluyendo el uso de los símbolos de soldadura .
10. Las especificaciones de la calidad y las técnicas de inspección.

Las construcciones soldadas ofrecen muchas ventajas en comparación con otros diseños conceptuales.

1. La construcción soldada generalmente es más ligera que las vaciadas o que se sujetan mecánicamente; por tanto, necesitan menos material.
2. El diseño de la unión soldada se puede modificar fácil y económicamente para satisfacer requisitos cambiantes del producto.
3. El tiempo de producción para una construcción soldada generalmente es menor que el de otros métodos de manufactura. (Esto es un beneficio debido al ahorro del costo oculto.)
4. La construcción soldada está más exacta con respecto a tolerancias dimensionales que una pieza vaciada (otra ventaja por ahorro de costo oculto).
5. Las construcciones soldadas se maquinan más fácilmente que las vaciadas.
6. Las construcciones soldadas son herméticas y a prueba de fugas y no se corren o ceden como las estructuras remachadas.
7. La inversión de capital para fabricar construcciones es mucho menor que para producir piezas vaciadas. Además, los controles ambientales se adoptan más fácilmente en el taller de soldadura que en la fundición.
8. Las construcciones soldadas pueden tener mejor aspecto que las piezas fundidas. Son limpias en sus líneas y generalmente más lisas y se preparan más fácilmente para su uso final.

Examinaremos más fácilmente los dos ejemplos mencionados. Compárense el empalme soldado y el remachado y demuéstrese así mismo la reducción en material y mano de obra y producción

Hay la ventaja de empalmar tubo mediante soldaduras en comparación con los métodos mecánicos. Esto permitirá que el sistema completo se fabrique con espesor de pared más delgada en el tubo, con grandes ahorros en su costo. También proporciona una superficie más pareja para el material que es conducido a través del tubo. Hay que considerar también la ventaja de soldar cuando se debe colgar estratégicamente distintos tipos y resistencias de metales en la construcción soldada para satisfacer los requisitos de diseño.

Observe los ahorros obtenidos con la zapata de freno soldada en comparación con los diseños vaciados (figura 1). El peso de la fundición en bruto es 10.5 kg la construcción soldada pesa 5.8 kg. El material adicional y el trabajo de maquinado hacen incosteables l

mayoría de diseños vaciados. Se necesita producir grandes cantidades para justificar los troqueles para las placas con nervio y también para las dos operaciones de soldadura.

Este es un buen ejemplo de trabajo de herramientas para grandes volúmenes de producción de la construcción soldada.

Normalmente, la construcción soldada es menos cara que la estructura vaciada o armada mecánicamente. Cuando sucede lo contrario, esto indica que el diseño de esta construcción soldada puede ser menos que el óptimo o que están implicados algunos otros factores por circunstancias.



**Figura 1. Zapatas de frenos para camión, soldadas y fundidas**

Finalmente el éxito o el fracaso de una construcción soldada depende del diseñador, ya que él es el responsable del diseño de la construcción soldada y es esencialmente que esté completamente enterado de sus responsabilidades. Todos los comentarios siguientes concernientes al diseño de la construcción soldada se aplican a productos de acero al carbón o aceros de baja aleación, los cuales se usan con más frecuencia para las uniones soldadas. Los principios implicados se aplican para otros metales.

El diseñador debe tener una idea precisa de los requisitos del servicio y de la vida el servicio esperada para el producto que esté diseñando. Es responsabilidad del diseñador elegir un producto que trabaje adecuadamente bajo las condiciones de servicio con que se encuentre. Además el diseñador debe estar completamente consciente de las propiedades de los materiales implicados y como se deben tratar y manejar para fabricar y soldar. El diseño, los materiales por emplear los procedimientos de interrelacionan y deben considerarse al llevar acabo el diseño. A veces los factores de diseño están regidos por especificaciones, códigos o reglamentos. En un sentido las especificaciones liberan al diseñador y algunas de estas responsabilidades, especialmente con respecto a los esfuerzos de trabajo, los tamaños mínimos de soldadura, etc. Sin embargo, aún con códigos y especificaciones, hay que considerar las interrelaciones de los materiales y los métodos de manufactura.

El diseño de uniones soldadas puede ser extremadamente difícil porque éstas abarcan tal variedad de partes que van desde piezas miniatura el equipo de precisión hasta maquinaria

pesada y macizas. Las uniones soldadas llegan a ser tanques de almacenamiento, recipientes a presión y caja de misiles. También pueden ser construcciones soldadas como puentes sencillos de un solo claro y las estructuras complicadas, o plataformas marinas de perforación, descargadores de mineral, palas gigantes y el edificio más alto del mundo. Es difícil dar información detallada para cada uno de esos tipos de construcciones soldadas, y por tanto sólo se harán comentarios generales concernientes tanto a los sistemas como a los conceptos de diseño. También es responsabilidad del diseñador el seleccionar y escoger las configuraciones correctas de las soldaduras para absorber adecuadamente las cargas y sostener la viga de servicio de cada una de las construcciones soldadas que se diseñaron. Es fundamental que el diseñador ponga atención a los siguientes principios:

- Los factores económicos deben considerarse. Las cosas iniciales de la construcción soldada pueden no ser siempre factor determinante. El costo de mantenimiento y reparaciones a lo largo de la vida de la construcción soldada pueden ser más importantes que el costo inicial, el que se debe considerar en conjunto con los beneficios económicos derivados de la construcción soldada.
- La reducción de peso es deseable para la estructura de movimiento, como los carros de ferrocarril, el equipo de construcción, los camiones, etc. Los cargamentos mayores y la anarquía reducida necesaria para mover sus estructuras, además del costo de los materiales, son los mayores argumentos a favor del diseño para disminuir el peso. La soldadura permite reducir el peso utilizando la sección completa de los miembros.
- El empleo de metales de alta resistencia viene a ser de mayor importancia para reducir el peso y el costo. El diseñador debe seleccionar el nivel de resistencia y la relación resistencia-densidad del metal que ha de usarse en la construcción.
- La carga dinámica es más común en el equipo móvil. Este factor tiene un efecto sobre la fatiga de la estructura. Se basa en la inversión de las cargas, pero también intervienen en las cargas variables, ya sea de tensión o de compresión. Las cargas de impacto pueden aumentar el esfuerzo normal estático en factores hasta de diez veces. Esto influye considerablemente en el diseño de las construcciones soldadas.

Junto con las cargas dinámicas y de impacto, es importante la temperatura de servicio. Las estructuras expuestas a temperaturas extremadamente bajas, como las de equipo de construcción del ártico y a cargas dinámicas fuertes deben diseñarse con mucho cuidado para sostener esas cargas. Las temperaturas frías exageran los problemas de concentración de esfuerzos del diseño de muescas, y hacen más importante la tenacidad de la muesca.

En algunos casos la carga de la construcción soldada es de naturaleza estática no interviene ningún movimiento. Bajo estas condiciones se pueden ignorar las cargas de fatiga y de impacto. En algunas construcciones soldadas, la resistencia a la corrosión podrá ser un factor importante en relación con la vida de servicio. La exposición a la corrosión determina en gran parte el metal que se usará para la soldadura, y también es un factor importante en la selección del proceso de soldadura y el procedimiento correspondiente.

Hay otros problemas, como la exposición a altas temperaturas, que pueden ser continuas o intermitentes. Las altas temperaturas continuas imponen un problema de diseño, pero los

cambios de temperatura pueden ser más difíciles para el diseñador. El acoplamiento de altas temperaturas o de temperaturas altas y bajas intermitentes con las atmósferas corrosivas complican los problemas del diseñador.

Otro factor importante es la resistencia a la abrasión, que puede presentarse en el uso en el equipo de construcción o en la interacción de partes móviles. Se pueden colocar metales especiales en los puntos de desgaste. Hay que considerar muchos otros factores relacionados con el servicio como la exposición a la radiación nuclear, la exposición al vandalismo, además de la exposición a una combinación y a los factores previamente mencionados.

El diseñador debe conocer completamente los procesos de fabricación en las técnicas que estarán implicadas en la producción de la construcción soldada. Esto incluye factores tales como la capacitación para contar con oxígeno, cizalla o maquinar el material. El diseñador también debe saber si el frío se le puede dar la forma al material, o si esto se debe hacer en caliente. Además tiene que estar informado de si los metales pueden soldarse y si se necesitan precauciones especiales. La capacitación de soldar el material por usar en el producto es de máxima importancia en el diseño de cualquier construcción soldada.

El diseñador debe proporcionar al inspector la guía necesaria para seleccionar el tipo de inspección requerida e indicar los requerimientos especiales para uniones soldadas específicas. El tipo de pruebas destructivas deben especificarse y darse las tolerancias de las dimensiones. Finalmente el diseñador debe indicarle al taller de soldadura las especificaciones exactas para cada trabajo de soldado por medio de los símbolos empleados de la soldadura.

Por último, o quizás debería ser primero, el diseñador debe asegurarse que cada unión soldada quede accesible al soldador <sup>para</sup> que pueda hacerse.

## 2. FACTORES DE DISEÑO DE LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS.

El diseño de una construcción soldada implica el uso adecuado y económico de los metales. También comprende el diseño de todas las uniones soldadas que se usan en la construcción. Ya mencionamos las condiciones del servicio a las que estará expuesta la construcción soldada, así como los factores que se deben considerar al diseñar la construcción soldada para cumplir con esos requisitos de servicio para satisfacer dichos requisitos, el diseñador debe tener información fidedigna sobre las características de operación de los metales que se usen. La mayoría de los diseñadores se basa en un análisis de los esfuerzos impuestos sobre la parte o estructura. El diseñador debe determinar completa y exactamente las cargas que se encontrará. La carga es la fuerza que actúa sobre una parte.

El análisis de esfuerzos debe comprender las cargas estáticas y las cargas dinámicas incluyendo el impacto y la fatiga que se pueda presentar. La estructura debe soportar su propio peso, las cargas muertas y las cargas super puestas y las fuerzas producidas por todas las colisiones de servicio, así como todas las cargas y fuerzas vivas centrífugas, o



acciones acelerantes o frenantes, la transmisión de cargas, las cargas en la construcción cargas de vigas a esfuerzos térmicos y otras semejantes. La palabra carga se usa aquí en un sentido amplio para cubrir las fuerzas externas que actúan sobre la construcción soldada que puedan causar esfuerzos internos.

En el diseño de una construcción soldada es necesario establecer el esquema de la parte o estructura propuesta, y entonces determinar todas las cargas diferentes y las condiciones del ambiente que se impondrán.

La construcción soldada debe diseñarse para resistir esas fuerzas impuestas y ello depende de las propiedades mecánicas y físicas del metal del que se hace la construcción soldada. Las propiedades importantes de los metales base con el punto de cedencia, el esfuerzo esencial y el módulo de elasticidad. Se debe determinar el esfuerzo permisible de trabajo, establecer el factor de seguridad de la unión soldada, y entonces se podrá calcular el área de la sección transversal de las partes.

El *esfuerzo permisible de trabajo*, a veces llamado esfuerzo unitario permisible, o esfuerzo permisible es el nivel máximo de esfuerzo que se permite en cualquier parte dentro de una construcción soldada. Los esfuerzos dentro de esta construcción, calculados por medio de las diversas fórmulas basadas en el tipo de carga, no debe exceder de este valor. El esfuerzo permisible puede dictarse en un código, reglamento o especificación. Para distintos materiales o diferentes grados de aceros se tienen distintos valores, así como para cada tipo de carga. Los manuales dan esta información cuando no se aplica un código o especificación, el esfuerzo unitario permisible se calcula dividiendo el esfuerzo de cedencia del material por un factor, de modo que la parte no esté sujeta a esfuerzos por arriba de su punto de cedencia. Si esto sucediera la parte se deformaría y posiblemente fallaría. A este factor se le conoce como el *factor de seguridad*.

El factor de seguridad tiene un efecto extremadamente importante en la economía del diseño para producir, la construcción soldada con peso más liviano, que utilice la menor cantidad del material, el factor de seguridad debe ser el mínimo por ejemplo, en el diseño de cajas de cohetes el factor de seguridad puede ser tan bajo como 1.25. La selección del factor de seguridad se debe basar en varios factores, y la exactitud con la que se selecciona las cargas para representar las condiciones de servicio tiene un gran efecto. Cuando esas cargas se puedan determinar con gran exactitud como puede ser menor el valor de seguridad. A menudo se usan aproximaciones al determinar las cargas sobre miembros y la exactitud se basa en la experiencia del diseñador sin embargo, con trabajo experimental exacto para determinar las cargas se puede alcanzar la vía del servicio con un factor de seguridad menor. Finalmente, para el diseñador es importante considerar detenidamente la importancia de la estructura o de la construcción soldada, y la posibilidad de daño que le pueda ocurrir en el caso de que fallase. El factor de seguridad empleado para diseñar muchas construcciones soldadas se basa en la experiencia de aplicación previa de construcciones soldadas de situaciones de servicio semejantes. En general, es posible reducir el factor de seguridad cuando se usa un programa estricto de control de calidad para asegurar que los materiales y las soldaduras estén diseñadas con exactitud. En la mayoría del trabajo estructural, así como el diseño de máquinas, se emplea un factor de seguridad de 1.8. Sin embargo es responsabilidad del diseñador la selección adecuada del factor de

seguridad propio y de los esfuerzos permisibles a los materiales utilizados, que se basen en los requisitos del servicio.

Las fuerzas internas, normalmente llamadas esfuerzos, que se presentan dentro de la estructura, pueden calcularse a continuación. En la tensión simple esto se hace dividiendo la carga o fuerza entre el área de la sección transversal del componente que resiste la fuerza.

Dividiendo la fuerza entre el área transversal se obtiene el esfuerzo unitario. Se dan las proporciones del área de la sección transversal para suministrar la suficiente superficie, de modo que después del esfuerzo interno no rebase el esfuerzo permisible de trabajo para el tipo de carga y el metal que se está usando en la construcción soldada. Hay casos especiales, tales como el de las columnas largas y esbeltas en el cual el factor que controla es la relación de esbeltez, porque estas columnas pueden fallar por pandeo. Las cargas flexionantes también necesitan de análisis especial.

Para que el diseñador analice mejor los esfuerzos en una construcción soldada, es práctica común el clasificar los tipos de carga en la estructura. Los cinco tipos básicos de carga sobre una estructura soldada son los siguientes:

1. Carga de tensión o tracción.
- 2a. Carga de compresión (sección gruesa)
- 2b. Carga de compresión (sección esbelta)
3. Carga de flexión.
4. Carga de torsión.
5. Carga de cizallamiento o de corte.

La mayoría de las cargas entran en una de las categorías anteriores. En muchos casos es necesario tomar en cuenta combinaciones de ella. Al considerar cargas y esfuerzos en una construcción soldada hay que recordar que dicha construcción es una estructura monolítica y que todas las piezas deben trabajar juntas. En otras palabras, una carga impuesta en un miembro particular de una construcción soldada se transmite a través de las uniones soldadas hacia las piezas de la construcción. En obvio de la simplicidad, generalmente se supone que las partes están conectadas con soldaduras y que la soldadura transmite la carga de una parte a otra.

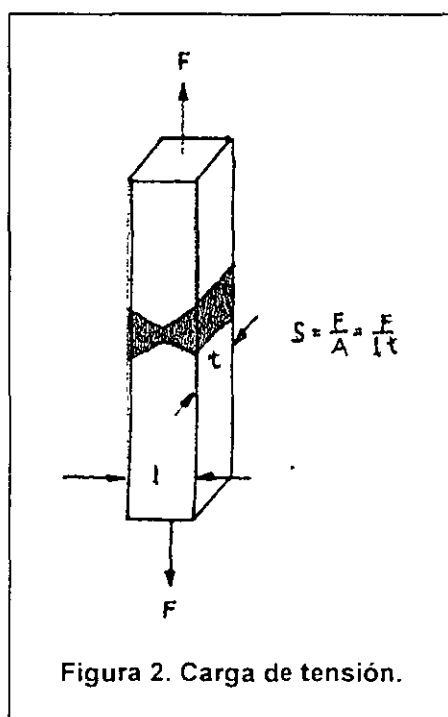
La mayor parte del trabajo del diseño se clasifica en estructural o de máquina. En general, el diseño estructural se refiere a estructuras grandes que generalmente están constituidas por secciones de acero rolado en caliente, como ángulos, barras, placas, vigas, etc, conectadas por soldaduras en sus puntos de intersección. El diseño de máquinas, por otra parte, generalmente implica soldaduras más pequeñas y más compactas que unen partes cortadas de placas de acero y a veces piezas vaciadas, soldadas entre sí en todos los puntos de su interfase. Como ejemplo, compárese una armadura de techo, que es un conjunto estructural, con una base de máquina herramienta, que se fabrica con placas de

acero. Las técnicas de análisis de diseño son diferentes para esos dos tipos de construcciones soldadas.

Una carga de *tensión* es de tipo más simple de carga. La carga axial se indica por la letra  $F$ , que significa fuerza o fuerza de tensión o tracción. La carga, paralela al eje, se divide entre el área de la sección transversal,  $A$ , que en una sección rectangular, es el producto del espesor  $t$  y la anchura  $l$ , resultando el esfuerzo denotado con  $S$ . Así, tenemos la ecuación:

$$S = F/A \text{ o bien } S = F/tl$$

Tales esfuerzos y cargas se consideran uniformes a través del área de la sección transversal. El área de la sección transversal se puede tomar en cualquier lugar a lo largo del miembro o la garganta de la unión soldada a tope. En los cálculos normales de soldadura no se toma en cuenta el esfuerzo de la soldadura y el esfuerzo se basa en el espesor teórico multiplicado por la longitud de la soldadura (figura 2).



La carga de *compresión* es lo contrario de una carga de tracción si se presenta en un miembro corto. La figura 3 muestra esta situación con la carga y la ecuación idéntica a la de la carga de tensión; sin embargo, en este caso la carga ocasiona la compresión de la soldadura. En la mayoría de metales las propiedades mecánicas en compresión no están tan bien definidas, como las de tensión. No se ha definido una resistencia esencial, aunque hay un poco de cedencia, al que generalmente se le considera igual al punto de cedencia en la tensión. Más allá de esta cedencia se presenta un flujo plástico y expansión lateral en los metales dúctiles. Para los miembros cortos en compresión se supone que el esfuerzo básico de trabajo o compresión es igual al esfuerzo de trabajo a tensión. De aquí que se aplique la misma fórmula, con la salvedad de que la carga es de compresión y no de tracción.

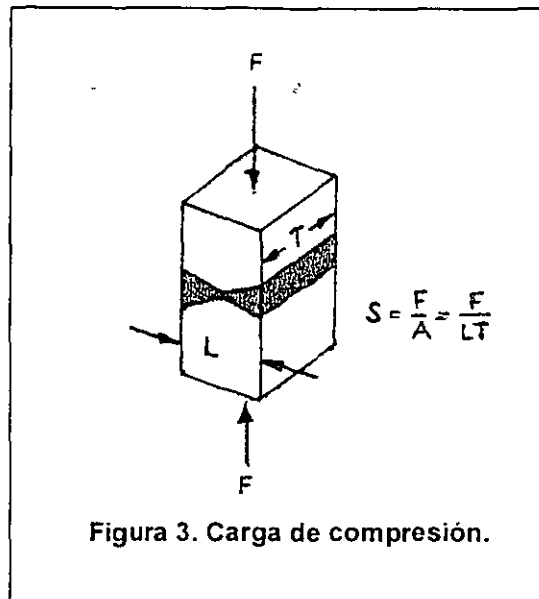


Figura 3. Carga de compresión.

La carga de *compresión* en miembros largos o esbeltos requiere un análisis diferente. A medida que aumenta la longitud de un miembro, puede fallar por pandeo a un nivel de esfuerzo a la compresión menor en promedio del punto de cedencia. Por definición, una columna es un miembro recto sujeto a fuerzas de compresión que actúan en la dirección de su eje (figura 4). Si la longitud de la columna es lo suficientemente grande comparada con su sección transversal, tendrá lugar la falla debido a flexión lateral o pandeo. A diferencia de los miembros a tensión, y miembros cortos a compresión, el esfuerzo en las fibras de las columnas no es directamente proporcional a las cargas. La carga de las columnas es un tema técnico demasiado complejo para analizarlo. Si la carga sobre la columna se hace excéntrica, o sea, que no está exactamente en el eje de las columnas, aumenta la tendencia del pandeo. Los miembros largos o esbeltos sujetos a cargas axiales de compresión deben diseñarse con el máximo cuidado. Las placas planas también pueden estar sujetas a cargas de compresión en sus bordes. En tales casos habrá pandeo local en tramos cortos de una sección debido a su inestabilidad elástica bajo la acción de una carga de compresión. El pandeo de una placa plana de material dúctil no necesariamente significa la falla de todo el miembro por que puede suceder mientras el miembro todavía es capaz de soportar carga adicional.

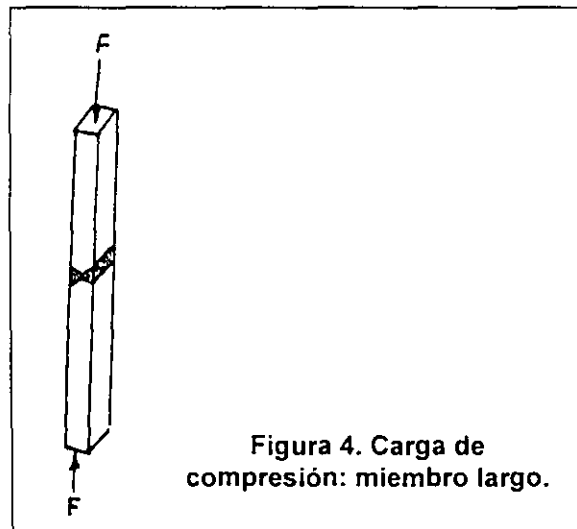


Figura 4. Carga de compresión: miembro largo.

La *flexión* o *doble* es un tipo común de carga, tanto en aplicaciones estructurales como en la maquinaria. Muchas máquinas y partes estructurales actúan como vigas y su función primordial es soportar varias cargas. Esas cargas tienden a producir flexión o a doblar la parte (figura 5). Los esfuerzos internos debido a la flexión son de dos tipos: uno es el *esfuerzo de una fibra* (llamado también esfuerzo de flexión o normal), que actúa perpendicularmente a una sección transversal de la viga; el otro es el *esfuerzo de corte* o *cizallamiento*, que actúa tanto en la dirección longitudinal como en la transversal.

El esfuerzo máximo de la fibra en una viga se presenta en la fibra más alejada del eje neutro. Para vigas con una sección transversal simétrica con respecto al eje neutro, el módulo de sección para las fibras extremas superior o inferior es el mismo. Para vigas con una sección transversal asimétrica el módulo de sección para cada fibra extrema es distinto. El esfuerzo longitudinal que resulta de la flexión viene dado por la fórmula

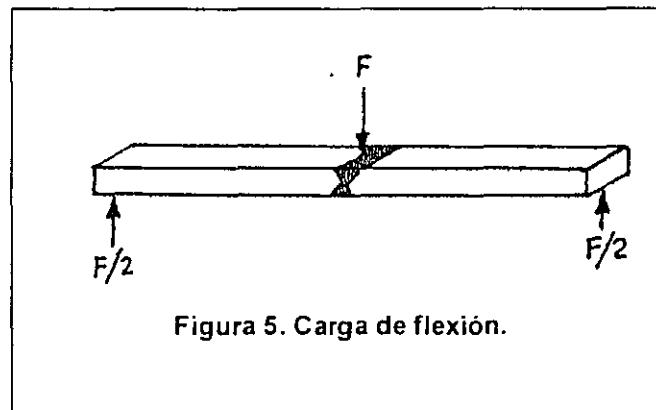
$$s = M/S$$

en donde  $s$  = esfuerzo máximo longitudinal

$M$  = momento flexionante externo

$S$  = módulo de sección de la sección transversal de la viga que está considerado

La mayoría de manuales sobre diseño dan valores del módulo de sección ( $S$ ) para perfiles laminados de acero estructural, y secciones preconstruídas de uso normal.



El módulo de sección se puede representar también como  $I$  dividido entre  $c$ , siendo  $I$  el momento de inercia de la sección de la viga con respecto a su eje neutro, y  $c$  la distancia del eje neutro a la fibra extrema o más alejada de él. El esfuerzo permisible para las fibras extremas a la tensión debida a la flexión es el mismo que el permitido para la tensión simple.

El esfuerzo cortante en cualquier parte de una viga viene dado por la fórmula

$$v = V/dt$$

en donde  $v$  = esfuerzo de corte  
 $V$  = fuerza cortante vertical  
 $d$  = espesor de la viga  
 $t$  = espacio del alma, o sea de la parte vertical de la viga

Normalmente, el esfuerzo cortante en la flexión es máximo en el eje neutro y cero en las fibras extremas. Hay muchos tipos distintos de carga para las vigas, y muchos sistemas diferentes de soporte para las vigas.

La *torsión*, el siguiente tipo de carga, se basa en fuerzas que tratan de torcer, y las fuerzas que resisten a las anteriores. El esfuerzo interno que resulta de esas dos fuerzas de combado. En realidad es un esfuerzo cortante. Esto se muestra en la figura 6, en la cual un movimiento giratorio trata de cortar la soldadura que une la barra con la placa. La ecuación para la torsión es

$$S_s = T \times r / J$$

En donde  $S_s$  = esfuerzo cortante  
 $T$  = torque, que es fuerza multiplicada por la distancia de la línea central del eje de la parte sujeta a combado  
 $r$  = radio del tubo que trata de girar  
 $J$  = momento polar de inercia de la parte circular que trata de girar

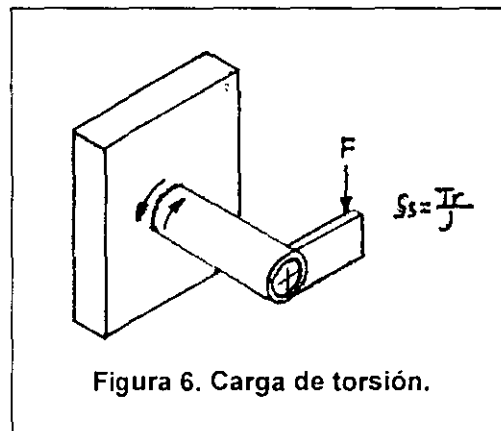


Figura 6. Carga de torsión.

El momento polar de inercia<sup>se</sup> puede obtener en los manuales de diseño para miembros redondos. En el caso de la soldadura que se muestra en la figura 6, hay que calcular el momento polar de inercia del área de falla o garganta del chaflán. Esta fórmula sólo se debe usar para secciones de sección transversal circular sujeta a torsión. Las fórmulas para otras secciones transversales sujetas a cargas de combado son muy complicadas y deben calcularse individualmente.

El esfuerzo de corte es la fuerza que actúa en el plano de la sección transversal. Esto contrasta con el caso de los esfuerzos de tensión y compresión, que actúan perpendicularmente al plano de la sección transversal de un miembro. El área de falla en el corte es paralela a la carga, y el esfuerzo es causado por las dos cargas iguales, paralelas y opuestas. Se puede imaginar como la carga trata de hacer resbalar dos porciones, separándolas. La ecuación en este caso es

$$s = F/A$$

siendo  $s$  = esfuerzo de corte

$F$  = fuerza cortante

$A$  = área, pero, como antes se mencionó, es un área paralela a la carga

Es práctica común el suponer que la soldadura está forzada igual por toda su área, aunque esto no es exactamente cierto. El corte se muestra en la figura 7. Es extremadamente importante el corte con respecto a la soldadura. Las soldaduras de chaflán fallan a través de su garganta, que se considera zona de falla al corte. El esfuerzo de control en un chaflán es el cortante en lugar de la tensión o la compresión. La falla generalmente tiene lugar a  $45^\circ$  a lo largo o a través de la sección de la garganta.

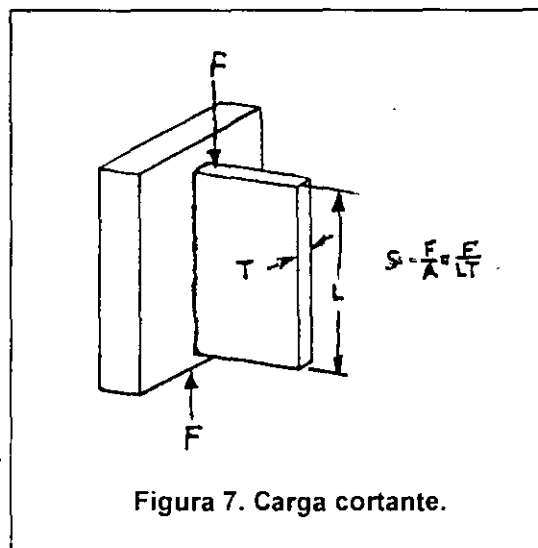
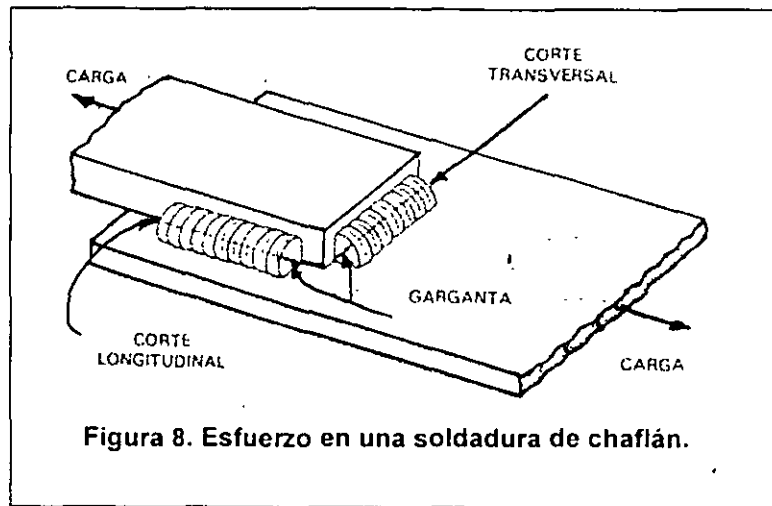


Figura 7. Carga cortante.

Las soldaduras en chaflán son las que más se usan. Como da lugar a controversias al comparar soldaduras en chaflán cargadas longitudinal o transversalmente, es interesante ver la figura 8. Esta figura muestra que el esfuerzo de corte es idéntico en cualquier situación, siempre que no tenga lugar la flexión. La distribución del esfuerzo es más uniforme en la soldadura transversal que en el chaflán longitudinal, que es paralelo a la línea de fuerza. Este tipo de conexión se usa ampliamente para la soldadura de ángulos estructurales a placas. Los distintos tipos de carga y los esfuerzos que resultan pueden actuar simplemente, pero en muchas construcciones soldadas pueden hacerlo en combinación. Se debe dar especial atención a los esfuerzos combinados. Estos se definen como esfuerzos que actúan al mismo tiempo en un punto, en más de una de las direcciones principales. Bajo los esfuerzos combinados, en el acero y en otros materiales dúctiles, puede suceder la cedencia a un

esfuerzo menor que al punto de cedencia *uniaxial* (esfuerzo sólo en una dirección). Los esfuerzos combinados suceden con mayor frecuencia en secciones extremadamente gruesas.



La información precedente debe dar al lector una idea de los cálculos necesarios para determinar los esfuerzos en secciones, basándose en las cargas aplicadas. No se trata de cubrir cargas complejas o partes de máquinas o miembros estructurales. El diseñador debe consultar un manual de diseño para información adicional sobre el cálculo de esfuerzos, basándose en distintos tipos de carga.

### Concentraciones de Esfuerzos

Al considerar los criterios de diseño de una construcción soldada, se debe hacer especial hincapié en las concentraciones de esfuerzo o distribución de los esfuerzos en muescas o discontinuidades. Cuando las partes de una construcción se sueldan entre sí, actúan como una estructura monolítica. Esto significa que los esfuerzos se reparten a través de toda la estructura cuando transmiten fuerza de un punto a otro dentro de la estructura. Los diseñadores pueden decir que se espera que una parte determinada no transmita nada de la carga. Los esfuerzos de tensión normalmente se piensa que están distribuidos uniformemente a través de toda la sección transversal de un miembro. Esta es una hipótesis del lado de la seguridad para estructuras sencillas cargadas estáticamente. Sin embargo, las estructuras complejas expuestas a las cargas dinámicas, respectivas y de impacto, no tendrán un patrón uniforme de esfuerzos a través de la estructura. El efecto de la falla de uniformidad es más importante en la fatiga y en el impacto en clima frío.

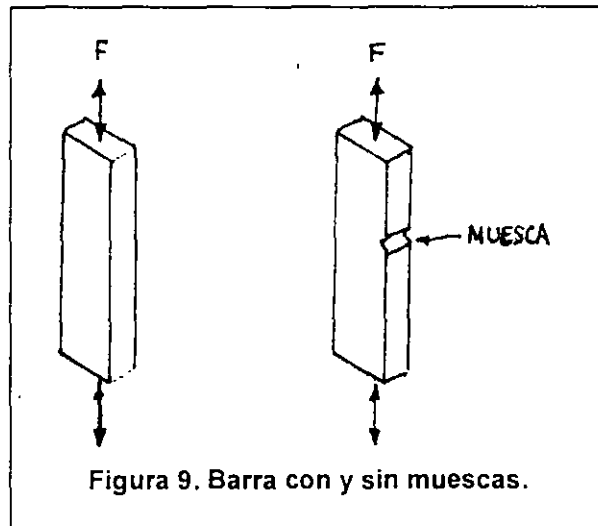
Bajo ciertos requisitos de servicio, las cargas externas pueden fluctuar o aplicarse *respectivamente* miles de veces. La mayoría de metales presentan una resistencia esencial menor bajo la aplicación de cargas respectivas y es práctica común el reducir el esfuerzo de trabajo cuando se aplican cargas cíclicas y respectivas. Esto implica la vida de fatiga del metal y depende del ciclo de esfuerzo que se imponga. Los tipos de ciclo de esfuerzo se refieren a si hay una versión completa de esfuerzos de tensión a compresión, o bien, si se trata de una carga que varía de un valor mínimo a un valor máximo, únicamente ya sea en



tensión o en compresión. La mayoría de códigos y reglamentos especifican una carga permisible de fatiga.

Las cargas que se aplican súbitamente son las cargas de impacto y la velocidad de aplicación de la carga influye en el grado de impacto. El efecto del impacto es aumentar inmediatamente el esfuerzo interno en la construcción soldada. Estos esfuerzos internos pueden estar localizados y causar problemas. En una construcción soldada, los esfuerzos lejanos al punto de aplicación de la carga serán considerablemente menores que en el punto de la carga. Los cálculos de diseño se hacen sobre la base de condiciones de carga estática equivalentes. Es práctica normal compensar el efecto de los esfuerzos producidos por el impacto mediante el uso de factores basados en carga estática. Una alternativa es el cálculo completo de los esfuerzos. El factor sencillamente es un recorte en el esfuerzo permisible de la estructura total o construcción soldada.

Una concentración de esfuerzos es un punto dentro de la estructura en que los esfuerzos están más concentrados que a través del resto de la sección transversal de la construcción. Los esfuerzos en una muesca, por ejemplo, pueden ser de dos a cuatro veces mayores que los esfuerzos a través de la parte restante de la estructura. Esto puede no ser peligroso para la estructura cargada estáticamente, pero para estructuras cargadas dinámica o repetitivamente, por impacto, puede crear un punto de falla prematura. La figura 9 ilustra un sencillo ejemplo de una concentración de esfuerzos basada en la presencia de una muesca. Aun cuando los esfuerzos estuvieran distribuidos uniformemente en los extremos de la barra, no se puede transmitir a través de la muesca; la barra con la muesca tendrá una vida de servicio considerablemente menor que la barra que no contiene la muesca.

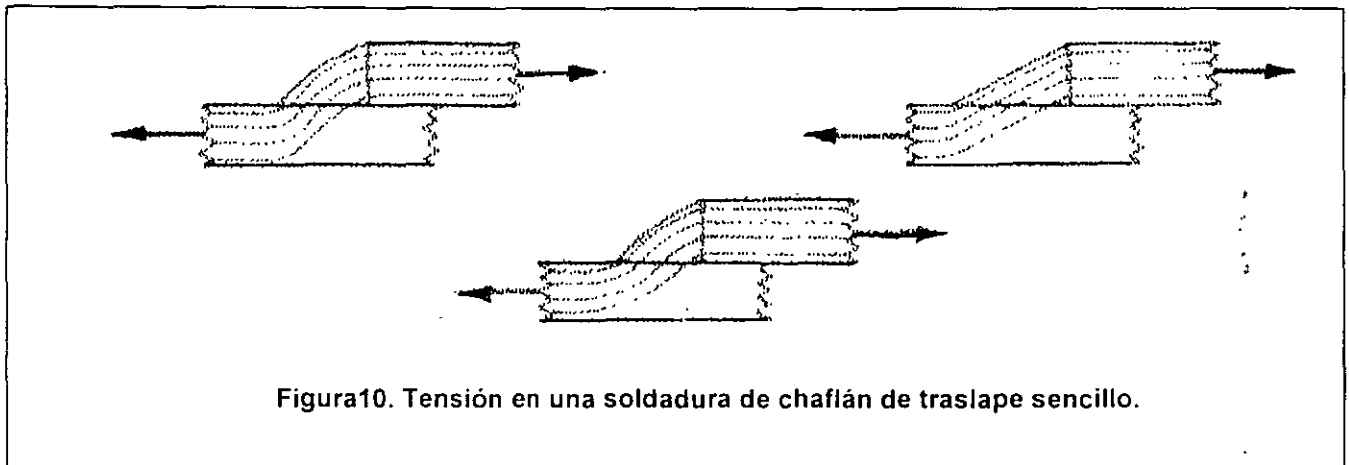


Los tres tipos básicos de muesca, que ocasionan concentraciones de esfuerzo, son:

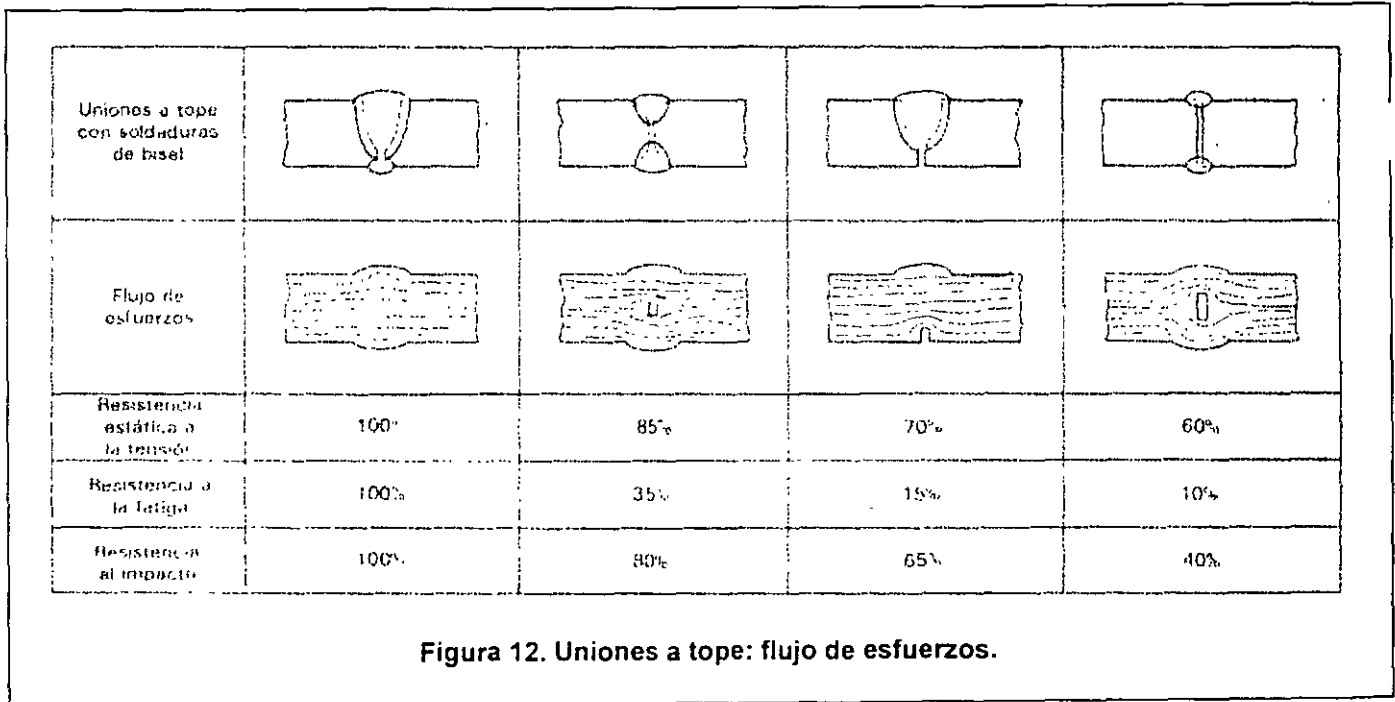
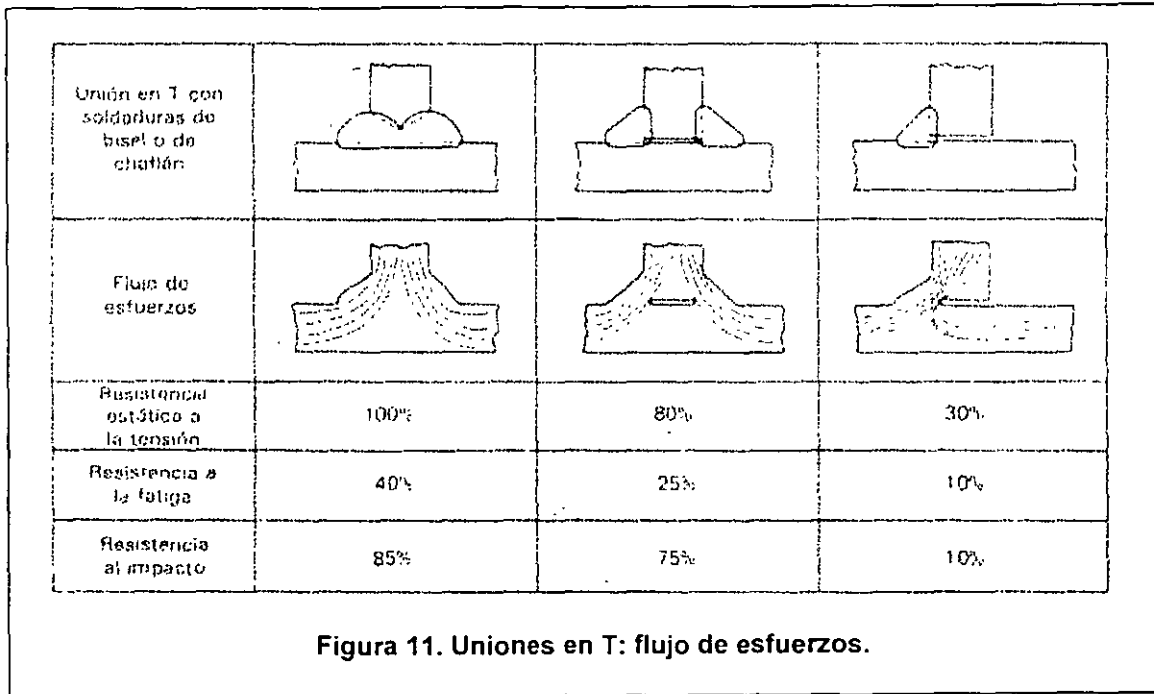
1. Muecas de diseño tanto en construcciones soldadas como en soldaduras.
2. Muecas por mano de obra de construcción, pero, más importante, en soldaduras.

### 3. Muecas metalúrgicas.

Una muesca de diseño se incluye en una construcción soldada, como por ejemplo un cambio súbito de sección. Un ejemplo práctico es una escotilla cuadrada en la cubierta de un barco. La sección en el punto donde está la escotilla cambia abruptamente y allí hay una concentración de esfuerzos. Otra muesca de diseño semejante es la fijación de una cabina en la cubierta de un barco. La sección cambia drásticamente en el punto donde se suelda la cabina a la cubierta. Se podría argumentar que no se espera que la cabina cargue algo de las fuerzas o de los esfuerzos. Lo hará por que está soldada y viene a ser parte integral a las otras partes de la quilla. La intersección de miembros, los ángulos re-entrantes, las estructuras con esfuerzos abruptos, y los agujeros cuadrados son ejemplos de muescas en el diseño de las construcciones soldadas.



En las soldaduras también se pueden observar muescas. Una muesca de diseño en una unión soldada sería el área de fusión en el centro o en la raíz de una soldadura. Cualquier diseño de unión soldada que especifique penetración parcial o fusión incompleta incorpora una muesca a la construcción. Las soldaduras en chaflán, que se usan para juntas de traslape, son propensas a las muescas. La figura 10 ilustra ejemplos de concentración de esfuerzos cuando se carga la unión a tensión. Las uniones en T, hechas con chaflanes, también son propensas a las muescas. La peor muesca es la unión T soldada con un solo chaflán. La figura 11 muestra los detalles de estas uniones con soldaduras en T, y como distintos diseños contienen muescas. Esta figura ilustra tres diseños de uniones, las trayectorias de los esfuerzos, y una comparación de su resistencia estética relativa, resistencia a la fatiga y resistencia al impacto. La resistencia estética la determina el área de la soldadura, y los demás factores se calculan mediante pruebas. Las uniones a tope son menos propensas a las muescas debido a su misma geometría. Las soldaduras de penetración completa producen uniones a tope bastantes firmes. Sin embargo, las soldaduras de penetración parcial contienen muescas en el centro de la soldadura o en la superficie exterior. En la figura 12 se muestran cuatro ejemplos. Es fácil determinar si una soldadura incluye una muesca de diseño dibujando una sección transversal de la unión soldada que indique las trayectorias que deben seguir los esfuerzos.



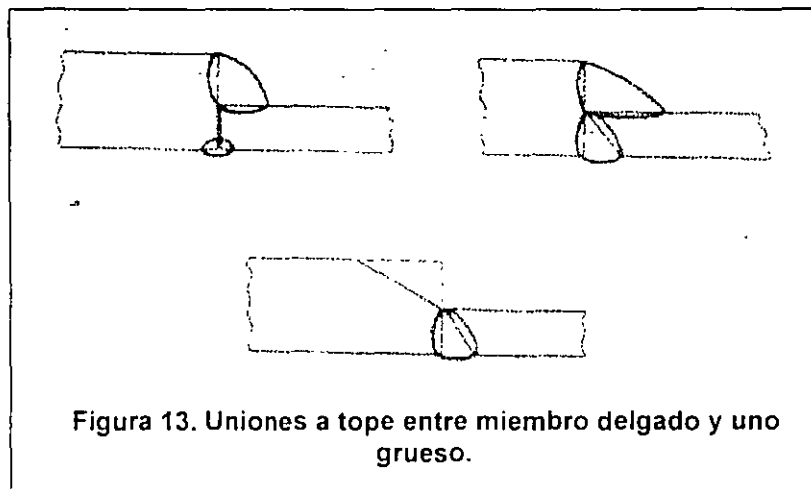
Las muescas también se pueden observar en uniones soldadas cuando los cambios de sección son abruptos. La figura 13 muestra estas uniones a tope entre un miembro grueso y una delgado. Hay varias maneras de proporcionar un flujo uniforme de esfuerzos a través de la soldadura. También hay un modo de provocar dos concentraciones de esfuerzo. La unión a la izquierda de la figura 13 provocaría dos puntos de concentración de esfuerzo, uno en la parte delantera y otro en la raíz sin fundir. La unión de la derecha sería una mejor solución y tendría un flujo uniforme de esfuerzos. La unión de la parte inferior también tendría un flujo

un flujo libre de esfuerzos y sería menos cara porque se necesitaría menos metal de soldadura.

Las muescas por mano de obra pueden ser peligrosas y difíciles de controlar. Suceden cuando las soldaduras no son de penetración completa, aun cuando estén diseñadas así. La abertura de la raíz se puede haber eliminado por acumulación de tolerancia, porque se hayan omitido al volver hacer el surco y soldar. Una soldadura de chaflán en el punto de unión de una sección gruesa con una delgada puede no ser de penetración completa y crea una muesca.

El tercer factor que da lugar a muescas es el menos frecuente y de menor peligro. Las muescas metalúrgicas se pueden originar por la unión de metales de distintos puntos de cedencia, o por la soldadura de aceros endurecibles, creando puntos extremadamente duros en las soldaduras. Un cambio abrupto en la resistencia en una sección transversal puede tener el efecto de una muesca, aun cuando no haya cambio brusco de sección.

El diseño y construcción de las construcciones soldadas sujetas a cargas dinámicas o servicio a baja temperatura, se debe hacer todo lo posible para dar un flujo uniforme de líneas de esfuerzo a través de la construcción. Esto es muy importante cuando se usan metales de alta resistencia.



## Construcción en Marcos Rígidos

Este tipo de construcción, también llamado construcción continua, es un sistema de diseño que incorpora el *análisis plástico*. Este tipo de diseño y construcción se adapta especialmente a las construcciones soldadas. En este tipo de trabajo los miembros se sueldan directamente entre si, en lugar de a través de placas de conexión, cartabones, o placas de relleno. El material en un marco rígido o de soldadura continua, da mejores resultados porque los momentos flexionantes se distribuyen bien. Este tipo de construcción da el máximo de sujeción en los extremos. El diseño en marco rígido permite grandes ahorros en acero de los miembros en cuestión. También elimina el acero en las placas de conexión, cartabones, etc. Hay que hacer un análisis más extenso, pero sólo lo deben experimentar diseñadores experimentados en este tipo de trabajo

En las partes de máquinas, los conceptos de conexión rígida o análisis plástico permite una mayor exactitud dimensional. La construcción soldada mantendrá alineación correcta y exactitud dimensional a través de su vida de servicio. Este tipo de diseño y construcción se debe usar para todas las partes de máquinas soldadas, a menos que sea necesario desarmarlas.

### 3. POSICIONES PARA SOLDAR UNIONES, SOLDADURAS Y UNIONES SOLDADAS.

#### Posiciones para Soldar

Frecuentemente hay que soldar en los techos, en las esquinas o en el piso. La soldadura se debe ejecutar en la posición en que se va a usar la parte, cuando está es grande o ya no sea necesario moverla después de soldarla. Hay que describir y definir estas distintas posiciones para soldar. La American Welding Society define cuatro posiciones básicas para soldar, que son las siguientes (figura 14):

- Plana*: la posición se usa para soldar desde el lado superior de la unión; la cara de la soldadura es aproximadamente horizontal.
- Horizontal*: es la posición en la que se suelda sobre la cara superior de una superficie aproximadamente horizontal y contra una superficie más o menos vertical. Para soldadura de tubo, el eje de la soldadura que da en un plano aproximadamente horizontal y la cara de la soldadura queda en un plano más o menos vertical.
- Sobre la cabeza*: la posición en la cual la soldadura se ejecuta desde el lado inferior de la unión.
- Vertical*: la posición de soldar en la que el eje de la soldadura es aproximadamente vertical.

Por lo menos hay dos definiciones en el mundo que son distintas de las de la American Welding Society: los británicos y algunos otros usan la palabra *hacia abajo* para describir la posición plana. Estas palabras son muy descriptivas y también se usan en EE.UU. También utilizan las palabras *horizontal-vertical* para describir soldaduras entre placas, una en el plano aproximadamente horizontal y una en el plano vertical, cuando el eje de la soldadura es aproximadamente horizontal. Las posiciones se identifican como sigue: F indica chaflanes, 1 quiere decir plana, 2 indica horizontal, 3 indica vertical y 4 indica sobre la cabeza. Los mismos números se aplican a las soldaduras de bisel o en surco, que se identifica con la letra G.

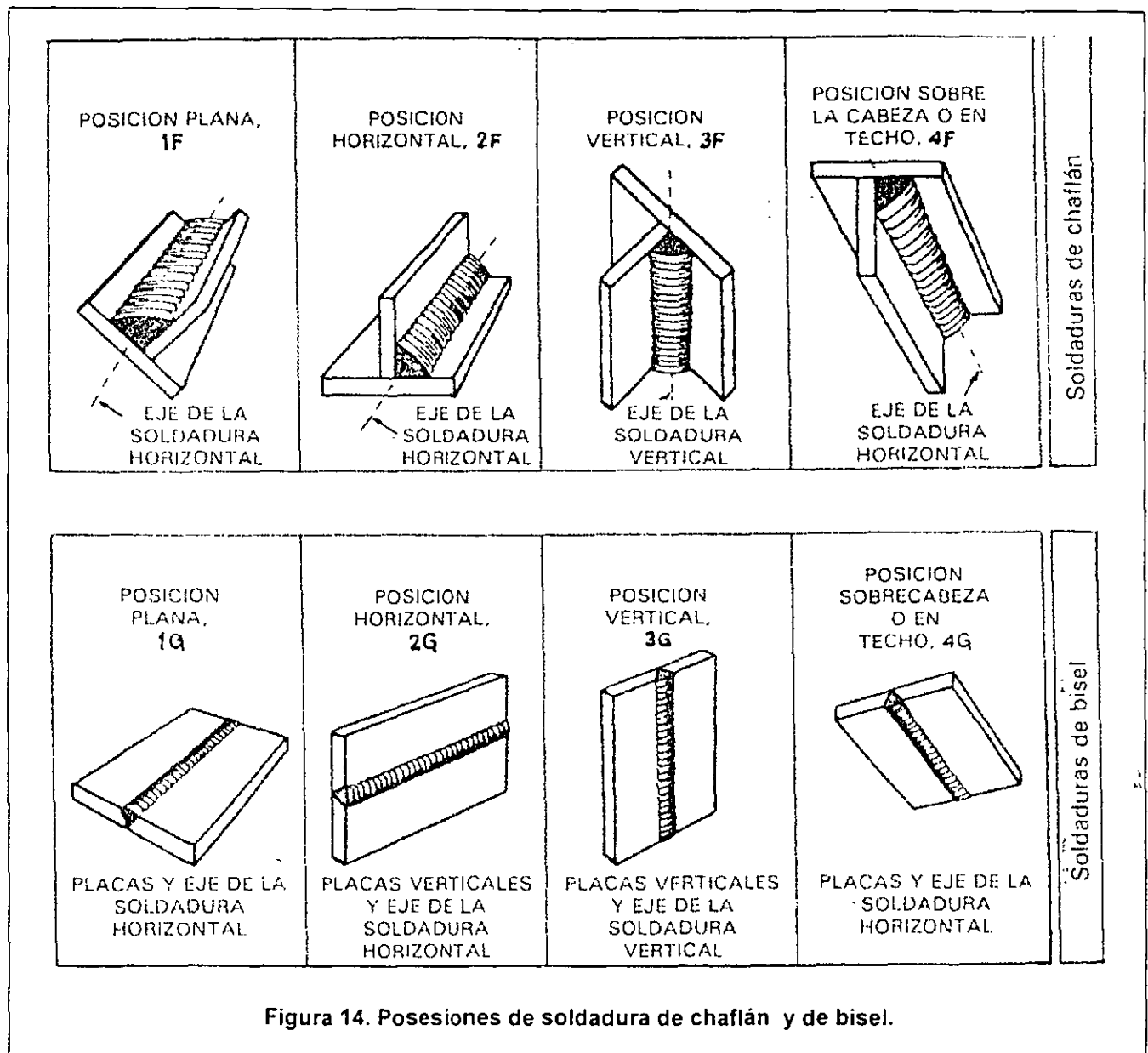


Figura 14. Posiciones de soldadura de chaflán y de bisel.

Las uniones soldadas de tubo son un caso especial y se identifican como posiciones de prueba (figura 15). Normalmente, son uniones biseladas y se indican con la letra G. La posición de prueba 1G es para soldar tubo con su eje horizontal, pero con la soldadura ejecutada en la posición plana con el tubo girando bajo el arco. La posición de prueba 2G se conoce como soldadura horizontal, pero con el eje del tubo en la posición vertical, con el eje en la soldadura en la posición horizontal. No hay posiciones de prueba 3G ni 4G para soldar tubo. La posición de prueba 5G se conoce como posición horizontal fija. Aquí, el eje del tubo es horizontal, pero el tubo no se gira cuando se efectúa la soldadura. La posición de prueba 6G para el tubo tiene el eje de éste a  $45^{\circ}$  y el tubo no se gira mientras se suelda. Para trabajos de calidad a menudo se utiliza la posición restringida 6G. La accesibilidad restringida la da un anillo de restricción cerca de la soldadura. Se conoce como 6GR. El eje del tubo puede variar  $\pm 15^{\circ}$  para la posición de prueba 1G, 2G, y 5G, pero sólo puede  $\pm 5^{\circ}$  para la posición 6G. El tubo cuadrado y el rectangular se pueden soldar en posición de prueba 2G y 5G.

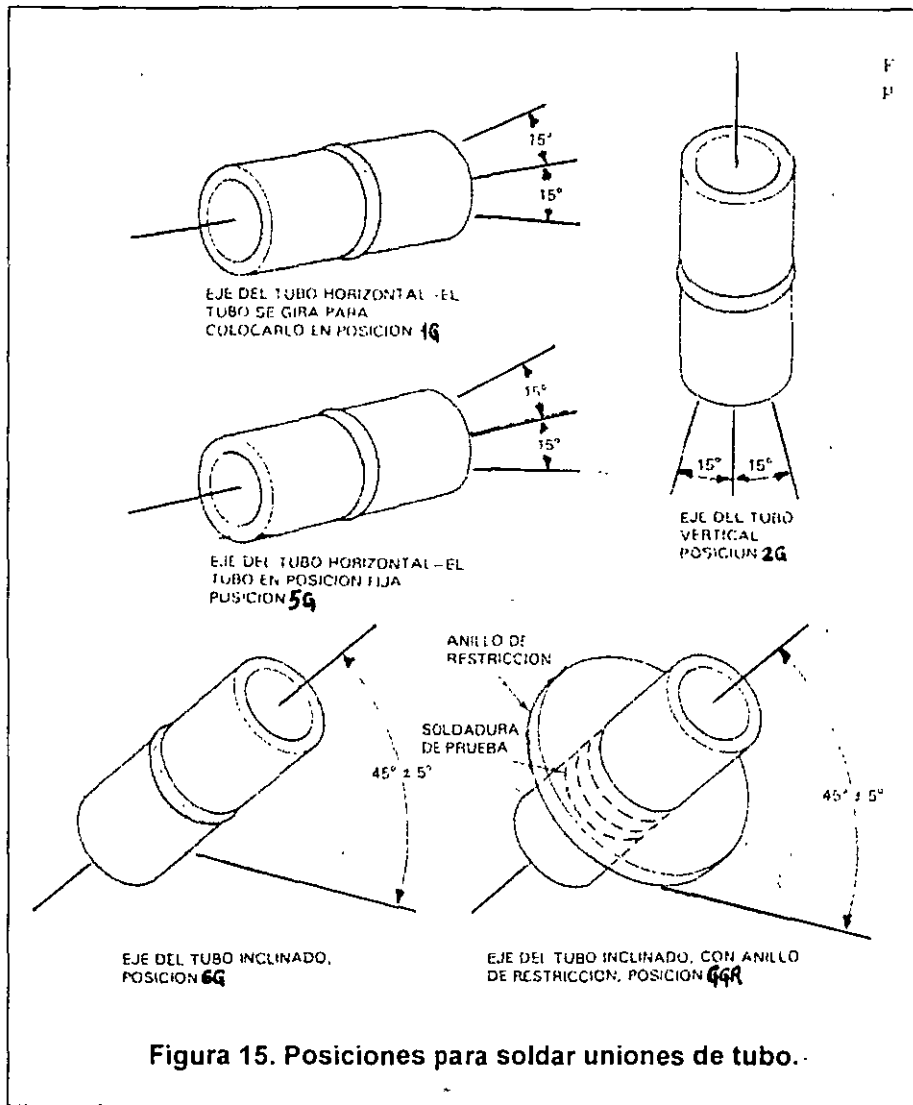


Figura 15. Posiciones para soldar uniones de tubo.

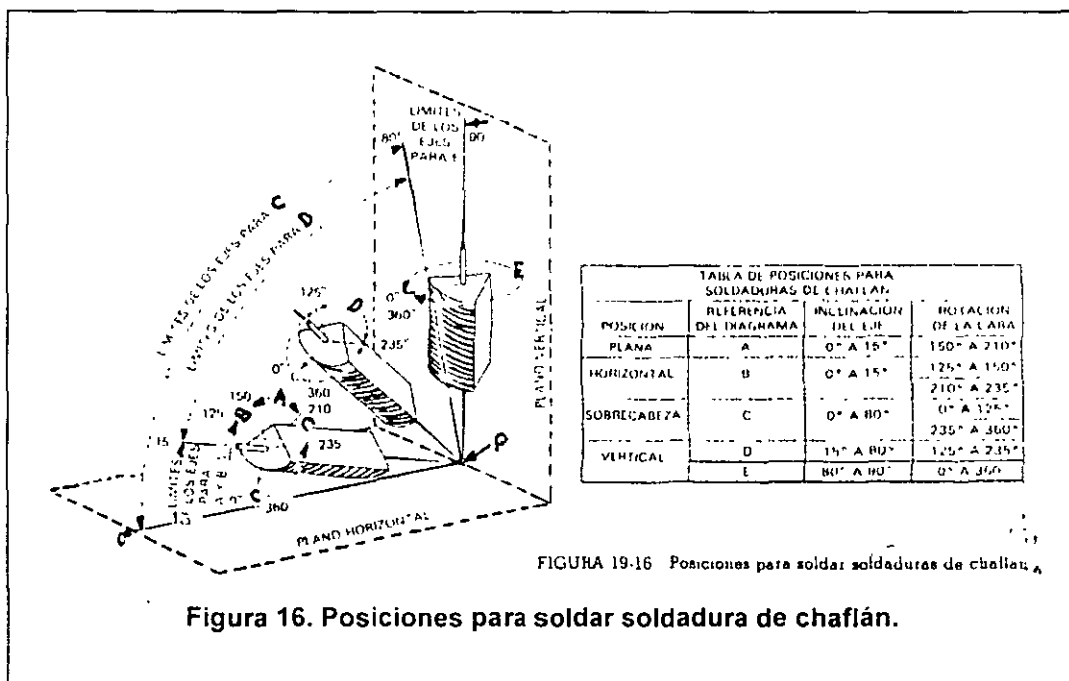


FIGURA 19-16 Posiciones para soldar soldaduras de chaflán.

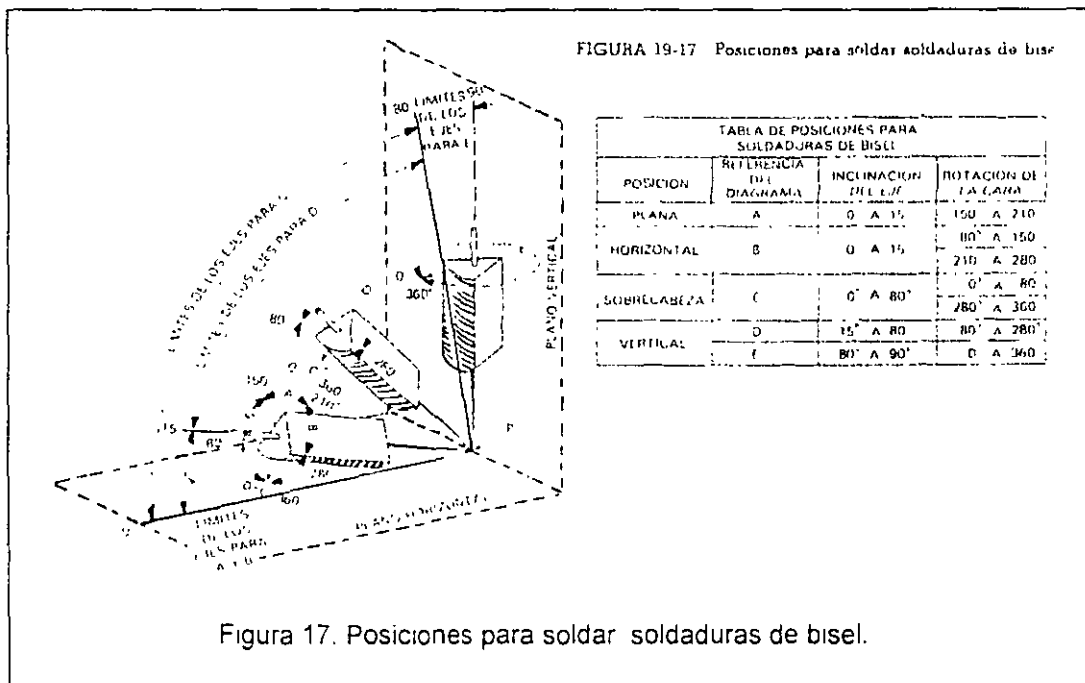
Figura 16. Posiciones para soldar soldadura de chaflán.

Los diagramas oficiales de la AWS para posiciones para soldar son precisos. Usan el ángulo del eje de la soldadura que es "una línea a través de la longitud de la soldadura perpendicular a la sección transversal, en su centro de gravedad". La figura 16 ilustra la soldadura de chaflán y los límites de distintas posiciones. Es necesario considerar la inclinación del eje de soldadura, así como la rotación de la cara de la soldadura de chaflán.

La figura 17 muestra de manera análoga las posiciones para soldadura de bisel. La inclinación del eje de las soldaduras de bisel y de chaflán son las mismas en lo que concierne a los límites. Para la posición plana, la rotación de la cara de la soldadura es la misma para las soldaduras de bisel y de chaflán. Sin embargo, varía la rotación de la cara de las soldaduras horizontal, vertical y sobrecabeza de bisel.

El diseño de una unión a menudo se cambia, siempre que se modifique la posición para soldar o el tipo de respaldo. En general, se usan ángulos menores para soldaduras que no sean en posiciones planas. Las soldaduras ejecutadas en la posición horizontal generalmente tienen una cara plana en el miembro inferior y una cara biselada en el miembro superior. Cuando se usan cubreplacas de respaldo, generalmente la abertura de la raíz es más amplia. En la siguiente sección se mostrarán detalles específicos de la unión para distintos espesores y posiciones.

La posición para soldar siempre se debe describir con exactitud. Es una variante importante con respecto al entrenamiento y experiencia de los soldadores, y siempre se debe considerar al soldar un proceso de soldadura.



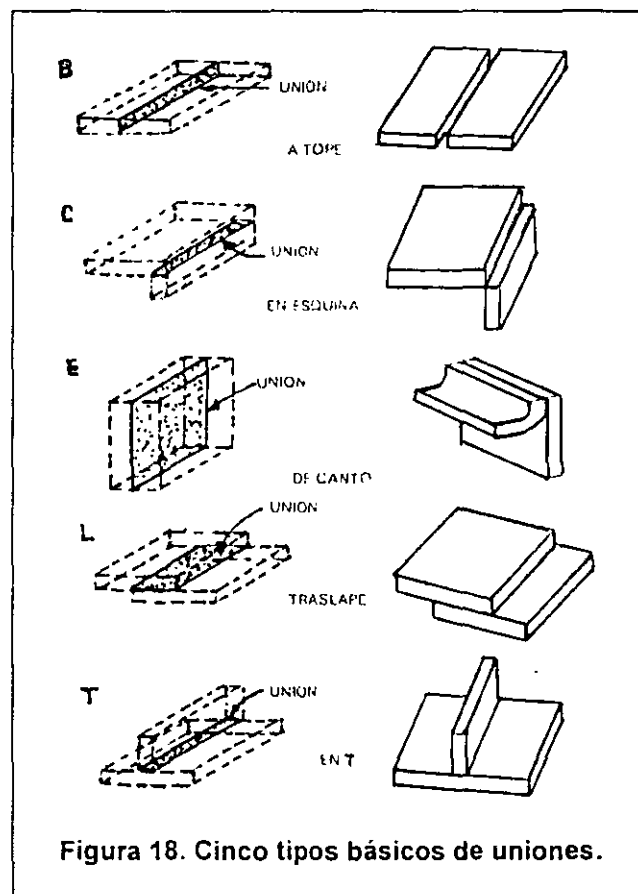
## Tipos de uniones

Las soldaduras se ejecutan en la unión de las distintas piezas que construyen la construcción soldada. Estas uniones de partes se llaman juntas o uniones, y se definen como "la unión de



miembros o de orillas de miembros que se han de juntar o que se han unido". Las partes que se unen para producir la construcción soldada pueden estar en la forma de placa rolada, laminada, forma estructural, tubo, o pueden ser fundiciones, forjas o lingotes. Es la colocación de estos miembros lo que define las uniones. Hay cinco tipos básicos de uniones que se usan para juntar dos miembros entre sí para soldarlos (figura 18):

- *B, unión a tope:* una unión entre dos miembros alineados aproximadamente en el mismo plano.
- *C, unión en esquina o rincón:* una unión entre dos miembros localizados aproximadamente en ángulo recto entre sí.
- *E, unión en orilla:* una unión entre las orillas de dos o más miembros paralelos o casi paralelos.
- *L, unión a traslape o solape:* una unión entre dos miembros que se traslapan en planos paralelos.
- *T, unión en T:* una unión entre dos miembros localizados aproximadamente a ángulo recto entre sí en la forma de una T.



Cuando se unen más de dos miembros se pueden usar otros diseños, o pueden ser una combinación de las cinco uniones básicas. La más común es la *unión en cruz* o *cruciforme* "una unión entre tres miembros en ángulo recto entre sí en forma de cruz". En realidad, es

una unión de T doble. La unión describe la geometría en sección transversal de los miembros por unir.

Una soldadura es una coalescencia localizada de metales o de no metales. Se produce por medio de calentamiento de los materiales a las temperaturas de la soldadura, con o sin aplicar presión, o presionando únicamente y con o sin utilizar metal de aporte.

Para describir y unificar una "unión soldada", es necesario describir tanto la unión como la soldadura. Como ya se mencionó, hay cinco tipos básicos de uniones: a tope, en esquina, lateral o de canto, a traslape y en T. Hay una gran cantidad de tipos de soldadura, así como variaciones que se usan para unir los miembros y obtener una unión sólida.

## **Tipos de Soldadura**

Hay ciertas cantidades de soldaduras distintas y separadas, como se muestra en la figura 19. Algunos de estos tipos de soldaduras tienen muchas variantes. Además, los tipos de soldadura se pueden combinar. Algunos de ellos, como la soldadura en chaflán y la soldadura de bisel se usan en construcciones soldadas de placa. Los distintos tipos de soldadura son:

1. Soldadura de chaflán.
2. Soldadura de bisel-varios tipos.
3. Soldadura de tapón o ranura.
4. Soldadura de proyección o de punto.
5. Soldadura de costura.
6. Soldadura de costura.
7. Soldadura de fusión completa.
8. Soldadura de brida.
9. Soldadura de perno.
10. Soldadura superficial o de revestimiento.

**Soldadura de chaflán** Es el tipo de soldadura que más se usa. La soldadura de chaflán se llama así debido a la forma de su sección transversal. El chaflán se considera sobre la unión y se define como "una soldadura de sección transversal aproximadamente triangular, que une a dos superficies en ángulos aproximadamente recto entre sí. Los detalles de la soldadura de chaflán se muestran en la Figura 20.

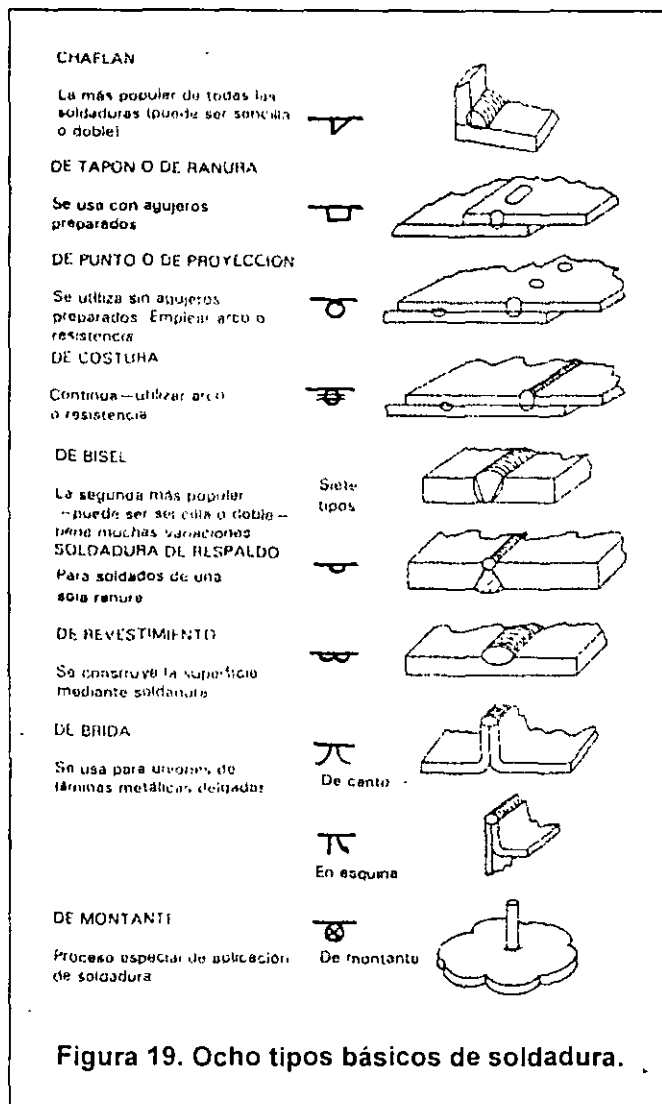


Figura 19. Ocho tipos básicos de soldadura.

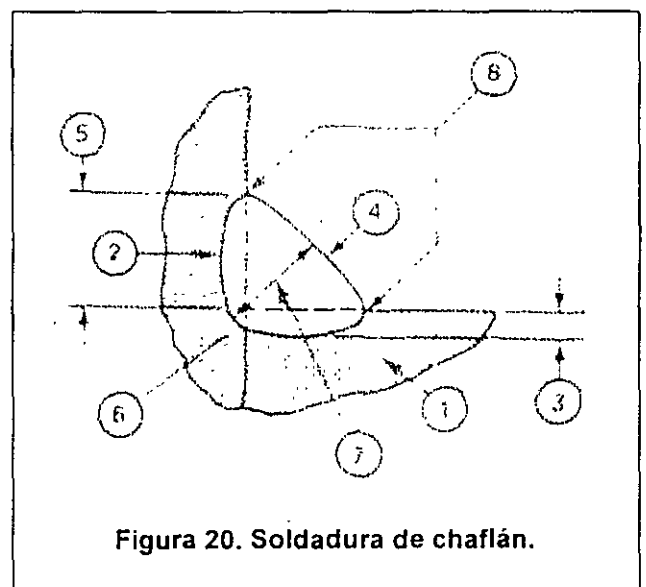


Figura 20. Soldadura de chaflán.

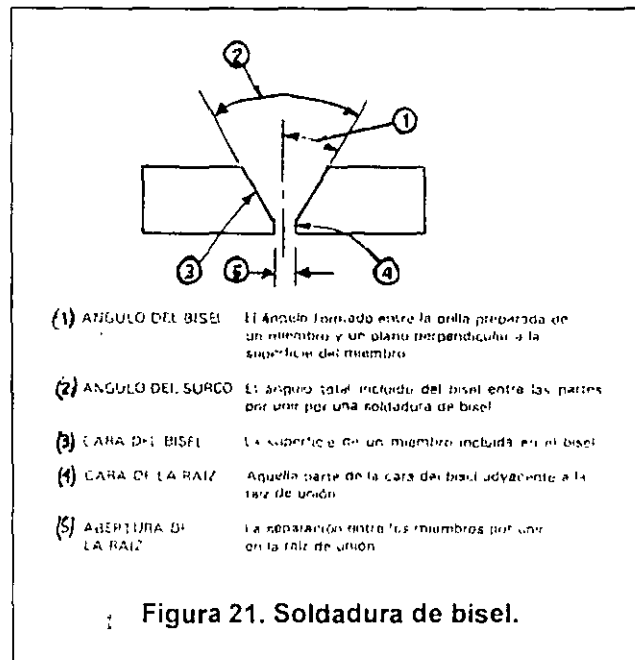
**Soldadura de tapón o de Ranura** se usa con agujeros o ranuras preparadas. El tapón y la ranura se consideran juntos porque el símbolo que lo especifica es el mismo. La diferencia importante es el tipo de agujero en el miembro preparado que se va a unir. Si el agujero es redondo, se considera como una soldadura de tapón, si es alargado, como una soldadura de ranura.

**Soldadura de Proyección o de Punto** En ambos casos se usa el mismo símbolo de soldadura. Estos tipos de soldadura se pueden aplicar por distintos procesos que cambian la soldadura real. Por ejemplo, cuando se usa el proceso de soldadura de resistencia, la soldadura está en la interfase de los miembros por unir. Si se usa el proceso de haz de electrones, rayo láser o de arco, el metal se funde desde un miembro hacia el segundo.

**Soldadura de Costura** Esta soldadura, en su sección transversal se asemeja a una soldadura de punto. La geometría de la soldadura está influida por el proceso de soldadura que se emplee. Con la soldadura de resistencia, la unión queda en la interfase entre los miembros que se unen, pero con los procesos de soldadura de haz electrónico, de láser o de arco, la soldadura funde a través de uno de los miembros para unirlo al segundo. No hay agujeros preparados ni en la soldadura de punto ni en la costura

**Soldadura de Bisel** Es el segundo tipo más popular en soldadura. Se define como "una soldadura ejecutada en el surco entre dos miembros que se han de unir". La soldadura de bisel se considera como que está "en la unión". Hay siete tipos básicos de bisel, y se pueden usar como soldaduras sencillas o dobles. Los detalles de la soldadura de bisel se muestran en la Figura 21.

**Soldadura de Respaldo** Es el tipo especial de soldadura ejecutada en el lado trasero o en el lado de raíz de una soldadura previamente hecha. La raíz de la soldadura original se bisela o se hace surco en elle, se limpia o cincela hasta llegar a metal macizo antes de que se haga la soldadura de respaldo. Esto aumenta la calidad de la unión soldada, asegurando una penetración completa



**Soldadura de Revestimiento** Este es un tipo de soldadura compuesto de uno o más cordones depositados en el metal base, en forma de superficie ininterrumpida. Se usa para aumentar las dimensiones superficiales, para aportar metales de distintas propiedades, o para dar protección al metal base contra un ambiente hostil.

**Soldadura de Brida en Orilla** Este se usa principalmente para uniones láminas o placas delgadas.

**Soldadura de Brida en Esquina** También se usa para partes de lámina o placa delgadas. En ambos casos, se deben preparar las partes según los detalles específicos de la unión.

## Uniones Soldadas

Para producir construcciones soldadas es necesario combinar los tipos de unión con los tipos de soldadura para producir las uniones que suelden los miembros separados. Cada tipo de soldadura no puede combinarse siempre con cada tipo de unión para hacer una unión soldada. La Figura 22 muestra las soldaduras aplicables a las uniones básicas. Como las soldaduras de chaflán y las de bisel tienen más posibilidades y su uso es más complejo.

Tipo de soldadura	Símbolo	Los cinco tipos básicos de unión				
		B A tope	C En esoume	E De canto	L Trasl.	T En T
Challón		Especial	Si	Especial	Si	Si
Tapón o ranura		-	-	-	Si	Si
Punto o de proyección		-	-	-	Si	Especial
Costura		-	Especial	-	Si	Especial
Surco recto		Si	Si	Si	-	Si
Surco en V		Si	Si	Si	-	Si
Surco con bisel		Si	Si	Si	Si	Si
Surco en U		Si	Si	Si	-	-
Surco en J		Si	Si	Si	Si	Si
Surco en V doblada		Si	Si	-	-	-
Surco en bisel doblado		Si	Si	-	Si	Si
Soldadura de respaldio		Combin.	Combin.	-	-	Combin.
Soldadura de revestimiento		-	-	-	-	-
Soldadura lateral de brida		-	-	Si	-	-
Soldadura en esquina de brida		-	Si	-	-	-

Figura 22. Tabla de combinación para soldaduras aplicables a las uniones básicas.

## 1. DISEÑO DE LAS UNIONES SOLDADAS

El objetivo de la unión soldada es el transferir esfuerzos entre los miembros y a través de la construcción soldada. Las fuerzas y las cargas se introducen en distintos puntos y se transmiten a diferentes áreas a través de la construcción soldada. La cantidad de esfuerzo por transferir a través de la unión se estima mediante el cálculo, la experiencia, etc.; como ya se dijo. El tipo de carga y el servicio de la construcción soldada tienen un gran efecto en el diseño de la unión que se seleccione. Todas las uniones soldadas son o bien *uniones de penetración completa*, o bien *uniones de penetración parcial*. Los miembros son suficientemente descriptivos; sin embargo; una unión de penetración completa tiene metal de soldadura en la sección transversal completa de la unión. La unión de penetración parcial esta diseñada para tener un área sin fundir. La soldadura no penetra completamente a la unión. La capacidad de la unión se basa en el porcentaje de la profundidad del metal de soldadura con respecto al a profundidad total de la unión. Si el metal de soldadura penetró un cuarto del camino entre ambos lados, deja todavía la mitad de la unión sin fundir. Una unión de 50% de penetración parcial tendría metal de soldadura en la mitad de la unión. Ya se mencionó antes que las construcciones soldadas sujetas a cargas estáticas sólo necesitan metal de soldadura suficiente para transmitir las cargas estáticas. Cuando se sujetan las uniones a cargas dinámicas, reversibles o de impacto, la unión soldada debe ser más eficaz. Esto es más importante si la construcción soldada trabajará a bajas temperaturas. Con este tipo de servicio, se necesitan soldaduras de penetración completa.

Las resistencias de la unión soldada dependen no solo del tamaño de la soldadura, sino también de la resistencia del metal de la soldadura. Al usar acero suave y de baja alineación,

casi no se cuida la resistencia del metal de soldadura porque generalmente la resistencia de éste es mayor que los materiales que une. La resistencia a la cedencia del acero estructural es de unos 25.3 kg/mm<sup>2</sup>. La resistencia de cedencia de un tipo normal E60XX de electrodo es por lo menos de 35.2 kg/mm<sup>2</sup>, por lo tanto, el metal de soldadura es considerablemente más fuerte que el metal de base. Una soldadura ejecutada adecuadamente entre miembros de acero estructural usando electrodo E6010 es más fuerte que metal base. Cuando esta unión se sujeta a tensión, se romperá siempre fuera de la soldadura. El metal base cederá primero. La resistencia del metal de soldadura sobrepasa a la del metal base y así sucede con otras propiedades mecánicas. Por esta razón el esfuerzo de soldadura se debe mantener en un mínimo porque no se necesita y representa desperdicio. Al soldar aceros altamente aleados, aceros u otros metales tratados térmicamente, puede no presentarse esa situación. Muchos materiales obtienen su resistencia cuando se tratan térmicamente. El metal de soldadura no tiene este mismo tratamiento térmico; por tanto, podría tener menores propiedades de resistencia que las del metal base. El trabajo de soldadura puede unificar el tratamiento térmico del metal base haciendo que se revierta a su menor resistencia alrededor de la soldadura. Al soldar aceros de alta aleación o tratados térmicamente, se deben efectuar investigaciones y seguir precauciones especiales.

## **Diseño de las uniones Soldadas**

Hay muchos factores que se deben considerar al diseñar una unión soldada. Muchos influyen sobre la economía del diseño de la unión soldada y en la resistencia de la misma; y en la capacidad del soldador para ejecutarla. El diseñador debe tener en cuenta los requisitos de resistencia mencionados aquí y los requisitos de penetración que dictan las cargas y el servicio. El diseño de la unión se debe adaptar a estos requisitos del modo más económico. Esto se hace analizando los siguientes factores.

La unión soldada se debe diseñar para que su área transversal sea lo más pequeña posible. El área transversal es una medida de la cantidad o peso del metal de soldadura que se necesita para ejecutar la unión. Sin embargo, el área transversal pequeña podría no dar una unión soldada práctica, como se describirá posteriormente.

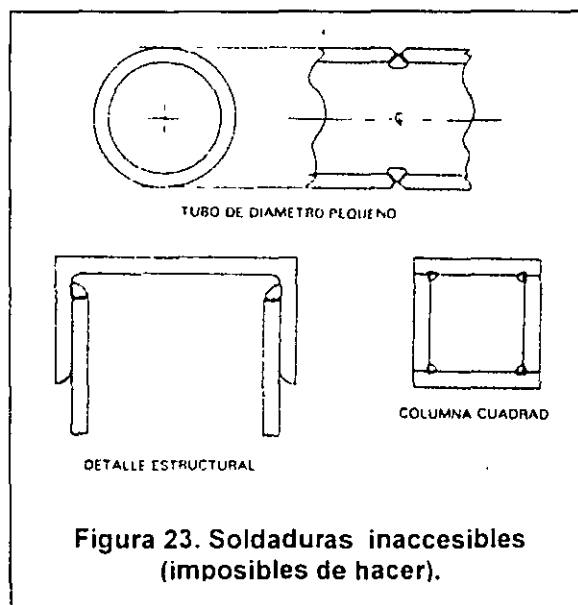
Otro factor económico tiene que ver con la preparación de las orillas, necesaria para producir el diseño particular de la producción soldada. Las uniones soldadas normalmente se preparan por tres métodos: corte, corte con soplete y maquinado. Su costo de preparación quede en este mismo orden. El corte o cizallamiento es el modo más económico de cortar metales; sin embargo; hay limitaciones de espesor; y la orilla cortada es rectangular; sin biseles. El corte con soplete es el método más común para preparar y se usa en la mayoría de los trabajos en placas metálicas (y no de láminas calibradas) Se puede emplear para cortar orillas con ángulo recto, pero también para hacer biseles. La cara de raíz o la orilla recta, el bisel—ambos frontales y posteriores—se pueden ejecutar con un paso del soplete, especialmente en cortes en línea recta. El maquinado para preparar las penetraciones tipo J y U. Se utiliza mucho para preparar uniones soldadas en partes circulares. El diseño de la unión y el espesor del metal dictan el tipo de herramientas necesarias para le preparación. A veces, se hace un balance basado en el tipo de herramienta disponible contra la cantidad de metal de soldadura necesario para completar la unión.

Los detalles de cada unión también se deben relacionar al proceso de soldadura que se empleará. Todos los detalles de la unión que se dan más adelante están relacionados con el método de arco de metal protegido, aplicado manualmente. Este es un buen punto de partida, porque los diseños se pueden cambiar para adaptarse a otros procesos.

Al diseñar la unión soldada también hay que considerar la posición para soldar. Un buen ejemplo de uniones soldadas para empalmar columnas en edificios de acero estructural. Es una buena práctica el tener plano el lado inferior de la unión, con el bisel en la pieza superior. Esto ha venido a ser la práctica estándar para soldaduras horizontales.

Un factor que a veces es ignorado por los diseñadores es el asunto de la accesibilidad. La unión soldada debe quedar accesible al soldador. Con frecuencia las uniones soldadas se diseñan especificando soldaduras donde no se pueden hacer. La Figura 23 ilustra varias soldaduras inaccesibles. Las soldaduras no se pueden hacer en el interior de un tubo de pequeño diámetro o por dentro de columnas de caja. Las soldaduras en el canal serían muy difíciles de hacer en la posición ilustrada. La secuencia de ensamblado tiene una accesibilidad, pero es preferible diseñar la construcción de modo que todas las uniones soldadas sean accesibles para soldar después de que dicha construcción esté totalmente armada y apuntada.

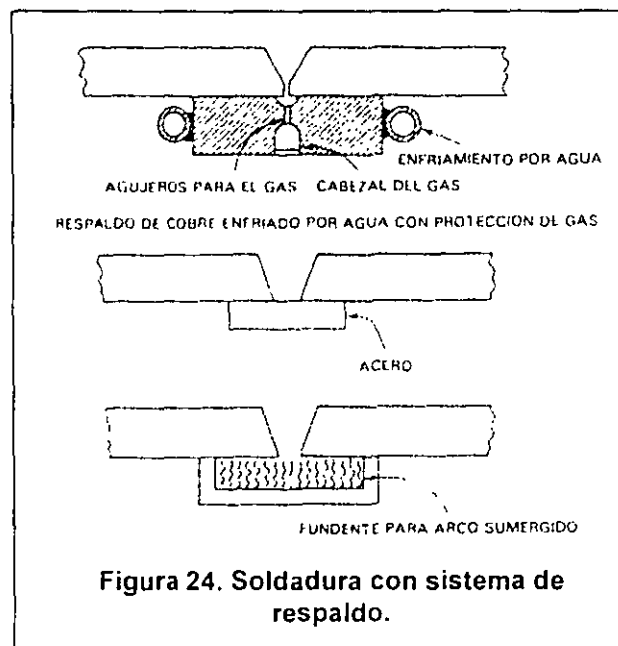
Otro factor relacionado con el problema de la accesibilidad es la soldadura de respaldo, que se puede ejecutar en una unión particular. El término *respaldo unilateral* se ha popularizado mucho porque indica que la soldadura se debe hacer completamente del lado de la unión. Un ejemplo de una soldadura de un lado es la soldadura de un diámetro pequeño. Es posible trabajar por el lado de atrás de una unión así; por tanto, la unión se debe hacer completamente desde el exterior del tubo, o sea que se una *soldadura unilateral*.



Hay muchos tipos distintos de respaldo. Los insertos consumibles mencionados anteriormente vienen a ser parte de la unión. Las bandas de respaldo se extienden más allá de la unión, pero cuando se unen por fusión con la raíz vienen a ser parte de la construcción soldada. Las

bandas de respaldo deben ser continuas. Para soldaduras de respaldo se usan fundentes, cinta recubierta de fundente, y varillas rellenas de fundente. Se pueden usar como material de respaldo varios artículos no metálicos, como materiales de cerámica y varillas recubiertas de cerámica. También se usan barras de cobre enfriadas por agua; a veces son parte integral de lo que se está construyendo. Cuando se usan los procesos con pantalla de gas pueden incorporar puertas de pantalla de raíz. En la Figura 24 se muestra una variedad de sistemas de respaldo. Si el lado trasero de la unión es accesible, se puede especificar una operación de vaciado y una soldadura de respaldo. Esto generalmente es más económico, pero no siempre se puede utilizar.

También se debe tomar en cuenta la distorsión de la soldadura. Hay que estudiar las posibilidades de control de distorsión por medio del uso de soldaduras dobles, o soldaduras ejecutadas en ambos lados de la línea central de unión para reducir al mínimo las distorsiones angulares. Los tamaños de la soldadura también tienen su efecto sobre la distorsión. Hay que utilizar el menor tamaño posible.



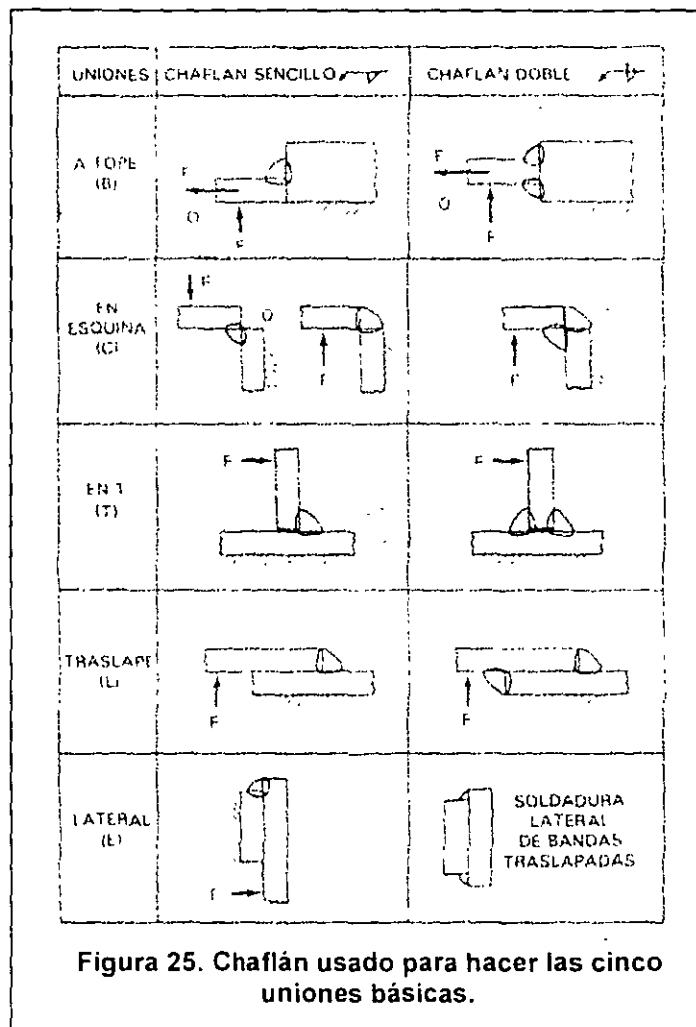
En el mismo tema general está el problema de los esfuerzos por soldaduras y el posible daño que pudiera suceder. Esto es importante al soldar los materiales de alta resistencia, en los cuales se puede presentar fractura frágil. Se debe dar importancia a la laminación del metal base directamente bajo la soldadura porque puede ser peligroso.

### Diseño de Soldadura de Chaflán

La soldadura de chaflán es la más popular de todas las soldaduras, porque normalmente no se necesita preparación. En algunos casos, la soldadura de chaflán es la más barata, aun cuando podría necesitar de más metal de aporte que una soldadura de bisel porque el costo de preparación sería menor. Puede usarse para la unión de traslape, la unión en T, y la unión en esquina sin preparación. Efectivamente, en las uniones en esquina el doble chaflán puede dar una unión soldada con penetración completa. En la figura 25 se muestra el uso del



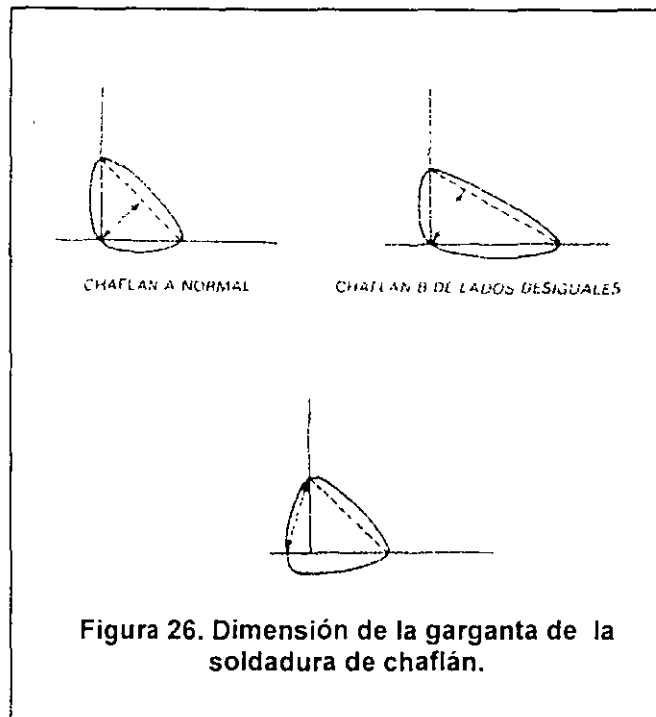
chaflán para efectuar las cinco uniones básicas. Las soldaduras de chaflán también se utilizan junto con las soldaduras de bisel, especialmente para las uniones en esquina o T.



La soldadura de chaflán debe tener los dos lados iguales y entonces la cara del chaflán tiene un ángulo de  $45^\circ$ . Esto no sucede siempre porque un chaflán puede diseñarse para tener una base más larga que la altura, en cuyo caso se especifica por las dos longitudes (o sus lados). En el tipo normal de chaflán de  $45^\circ$ , la resistencia del chaflán se basa en la dimensión más pequeña, la de la garganta, que es  $0.707 \times$  longitud de un lado. En Estados Unidos se especifican las soldaduras de chaflán por medio de la longitud de sus lados mientras que en muchos países europeos se especifican por medio de la dimensión de la garganta. Para chaflanes con distintas longitudes de lados se debe calcular la longitud de la garganta, que es la distancia más corta entre la raíz del chaflán y la cara teórica del mismo. Al calcular la resistencia de las soldaduras de chaflán se ignora el esfuerzo. Tampoco toma en cuenta la penetración de la raíz, a menos que se utilice un proceso de penetración profunda. Si se aplica automática o semiautomática, se puede considerar la penetración adicional. En la figura 26 se ilustran los detalles de la soldadura.

Bajo estas circunstancias se puede reducir el tamaño del chaflán, pero no obtendrá la resistencia igual. Esas reducciones se pueden utilizar sólo cuando se sigan procedimientos estrictos de soldadura. La resistencia de la soldadura de chaflán se determina por su área

falla, que se relaciona con la dimensión de la garganta. Si se aumenta al doble el tamaño (longitud de los lados) de la soldadura de chaflán, se doblará su resistencia, porque se dobla la dimensión (y el área) de su garganta.

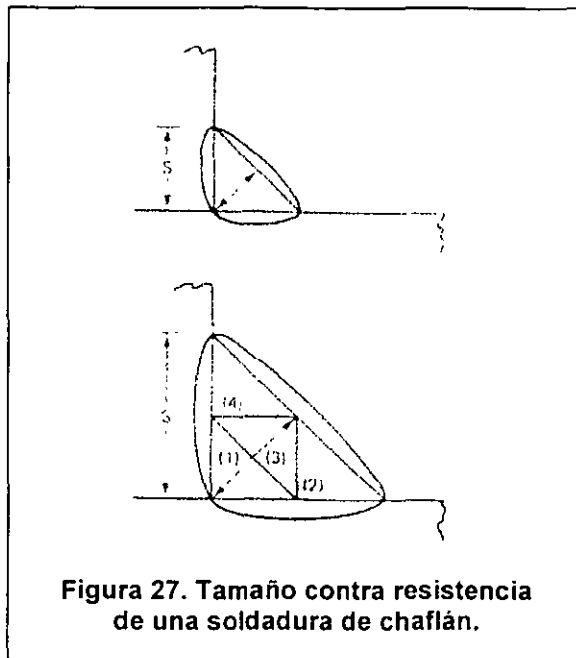


**Figura 26. Dimensión de la garganta de la soldadura de chaflán.**

Sin embargo, al doblar el tamaño del chaflán aumentará el área de su sección transversal y el peso del metal en cuatro veces. Esto se ilustra en la figura 27, que muestra la relación de área de la garganta contra el área total o peso de una soldadura de chaflán. Por ejemplo, un chaflán de 3/8" tiene doble resistencia que un chaflán de 3/16"; sin embargo el chaflán de 3/8" utiliza cuatro veces más metal de soldadura.

El trabajo de diseño a veces el tamaño del chaflán lo determina el espesor de los metales que se están uniendo. En algunos casos el tamaño mínimo del chaflán se debe basar sobre razones prácticas en vez de necesidades teóricas del diseño. A veces se usan chaflanes intermitentes cuando el tamaño es mínimo, de acuerdo con el código, o por razones prácticas, en lugar de basarse en requisitos de resistencia. Muchas soldaduras intermitentes se basan en un paso y longitud, de manera que el metal de soldadura se reduzca a la mitad. No se recomiendan chaflanes largos intermitentes debido a la relación de longitud con dimensión en la garganta, que se explicó anteriormente. Por ejemplo, un chaflán de 3/8" de 15 cm de largo en paso de 30 cm (centro a centro de las soldaduras intermitentes) se pueden reducir a un chaflán continuo de 3/16" y la resistencia sería la misma, pero la cantidad de metal sería sólo la mitad.

Las soldaduras de chaflán sencillo son muy vulnerables a fracturas en el caso de que la raíz de la soldadura se sujete a una carga de tensión. Esto se explica a las uniones en T, en esquina y a traslape. El mejor remedio para esas uniones es hacer chaflanes dobles, que evitan que la carga de tensión caiga sobre la raíz del chaflán. Esto se ilustra en la Figura 25. Observe la flecha de la fuerza.



## Diseño de la Soldadura de Bisel

Hay siete tipos básicos de soldadura de bisel el cuadrado, en V biselada, en U, en V doblada y en bisel doblado; se ilustra en la figura 28. Todas se pueden usar solas o como soldaduras dobles. Tres de ellas, el bisel cuadrado, la V doblada se puede hacer sin preparación adicional del detalle de la unión. El bisel cuadrado es el más sencillo porque sólo necesita de un corte recto y en los metales más delgados se logra esto con una cizalla. La soldadura al sesgo es una variación del bisel recto o cuadrado, que se usa para latonar. Las soldaduras en V doblada y de bisel doblado generalmente se utilizan para materiales más delgados, en los cuales se une una sección doblada con otra sección, o en la cual se tiene una sección redonda. Dos de las otras soldaduras de bisel necesitan preparación en sólo uno de los miembros de la unión, y son la de bisel achaflanado y la de bisel en J. Las dos restantes, de bisel en V y en U, necesitan de preparación de ambos miembros de la unión.

Hay varios nombres que se dan a los diseños de soldadura de bisel, que no son estándares. Estos nombres, que más frecuentemente se usan en Europa, son descriptivos y los mencionaremos. Unos de los nombres más comunes son los de biseles en X, en K y en Y. Estas letras describen la sección transversal de la soldadura. La soldadura en X es el doble V, sin cara de raíz. La soldadura en K es el doble bisel, y la soldadura en Y es una V sencilla, con una cara de raíz relativamente grande. Si se dibujan dichas soldaduras en su sección transversal se notará la semejanza con las letras.

La preparación puede ser un factor importante para decidir cuál tipo de factor se utilizará. Por ejemplo, el bisel cuadrado o recto puede prepararse cizallando, si el metal es relativamente delgado. También se usa la preparación para la soldadura de bisel recto en materiales gruesos por medio del proceso de electroslog o electroescoria, y por otro procesos de *garganta angosta*. Cuando el espesor es demasiado grande, la preparación sería por corte con soplete. Las uniones en V doblada se pueden hacer con material delgado, bridado con prensa o con tubo mecánico cuadrado o rectangular. También se usan cuando

se sueldan entre sí dos secciones redondas que se intersectan, como por ejemplo al soldar varillas de esfuerzo en un edificio. La soldadura de bisel doblado es semejante, con la excepción de que en un solo miembro tiene el radio de curvatura. Las soldaduras de bisel y en V normalmente se usan para materiales de espesor medio y grande, y hay que hacer el corte con soplete. Para la placa más gruesa se usa la ranura de doble V o de doble bisel, y se empleará el corte con flama. La elección entre soldaduras de ranura sencilla o doble se muestra en la figura 28. En las ranuras en V y en bisel, teniendo o no una cara de raíz. La práctica común es tener una cara de raíz que ayude a dar un control dimensional en las partes durante las operaciones de preparación. El diseño de bisel en V requiere la preparación de la V en una de las partes, ya sea en J sencilla o doble. En el caso de bisel en U, ambos miembros deben tener la forma curva especial, lo cual implica que se debe maquinar, variar o esmerilar o cortar en forma especial. Los otros diseños de bisel son más fáciles de preparar y ejecutar en partes circulares.

TIPOS DE SOLDADURAS DE BISEL	SOLDADURAS DE BISEL			
	SENCILLA	SÍMBOLO	DOBLE	SÍMBOLO
RECTA				 NOTA NO CAMBIA EL DETALLE DE LA UNION
EN V				
BISELADA				
U				
J				
EN V DOBLADA				
EN BISEL DOBLADO				

Figura 28. Siete tipos básicos de soldadura de bisel.

La cara de raíz que se mencionó se usa principalmente para asegurar control dimensional de la partes durante la operación de su preparación. Cuando se cortan con soplete grandes placas para aguzar sus cantos, para preparaciones en V o en bisel, es más difícil mantener

las dimensiones que cuando se incluye una cara de raíz. Sin embargo, para obtener superficies en la orilla se requieren dos pasadas del soplete de corte a menos que se use una orilla a tope ya existente. La cara de raíz se debe mantener al mínimo cuando se necesite de penetración completa. Si sólo se requiere de penetración parcial, la cara de raíz puede ser bastante grande, pero rara vez rebasa el 50% del espesor de la parte que se está biselando. En las construcciones soldadas, para las que los criterios principales son rigidez y peso, y si no está presente una carga dinámica, las caras grandes de raíz ahorran una considerable cantidad de metal de soldadura y hacen menos cara la unión.

Hay dos factores adicionales que se deben considerar con respecto a las soldaduras de bisel, biseladas y en V. Debe considerarse juntos porque afectan la capacidad del soldador para ejecutar un condón de soldadura en la raíz de la unión. Son el ángulo incluido y la abertura de raíz. En las soldaduras de penetración completa es absolutamente necesario que el soldador tenga espacio y accesibilidad suficiente para colocar la soldadura en la raíz de la unión. Si la abertura de raíz es muy estrecha o si el ángulo incluido es demasiado agudo, será imposible que el electrodo de soldadura deposite el metal en la raíz de la unión (figura 29). Es obvio que uno u otro se deben ampliar para permitir que se pueda ejecutar la soldadura en la raíz. La figura muestra lo que se logra al aumentar el ángulo incluido, pero la mejor solución es aumentar la abertura de raíz. Hay ángulos incluidos óptimos y aberturas de raíz óptimas para soldadura de arco con metal protegido, y se basan en la producción de un paso de raíz completamente fundido. Los diseños de muestra que aparecen más adelante usan estos ángulos óptimos o estandarizados. Varían con cada uno de los procesos.

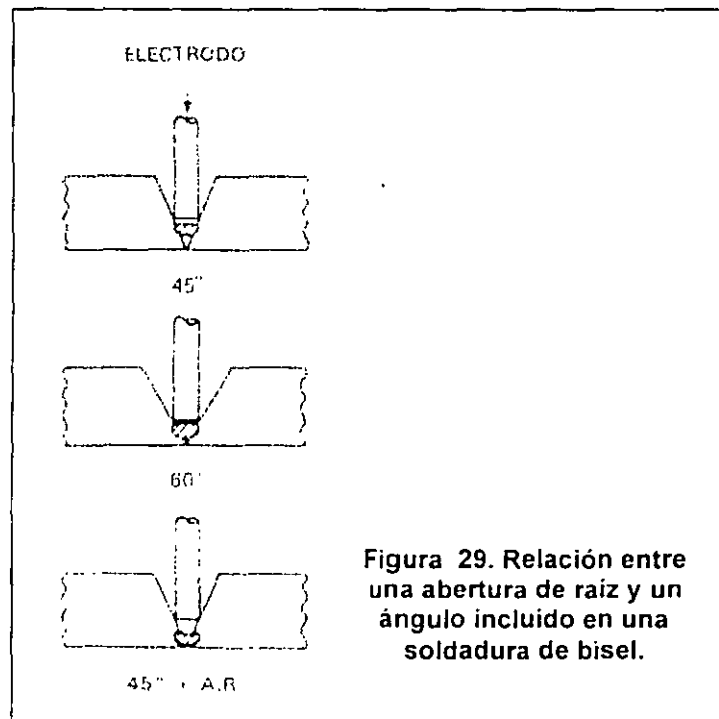


Figura 29. Relación entre una abertura de raíz y un ángulo incluido en una soldadura de bisel.

Los diseños de las soldaduras en J y en U se han estandarizado bastante bien. Esto significa que el radio en la raíz y en el ángulo incluido se han optimizado y se muestran en los ejemplos más adelante en este capítulo. Finalmente, para ciertos metales y para algunas aplicaciones se usan detalles especiales de unión. Por ejemplo, el tubo de aluminio se usa

una preparación de U sencilla amplia para que la raíz sea semejante a un miembro más delgado que se puede fundir fácilmente al hacer el paso de raíz. En el tubo de paredes gruesas, a menudo se usan ángulos compuestos cuando se preparan las uniones por maquinado. La Figura 30 muestra la relación del área de la sección transversal de soldaduras sencillas y dobles, y cuando se aumenta la abertura de raíz.

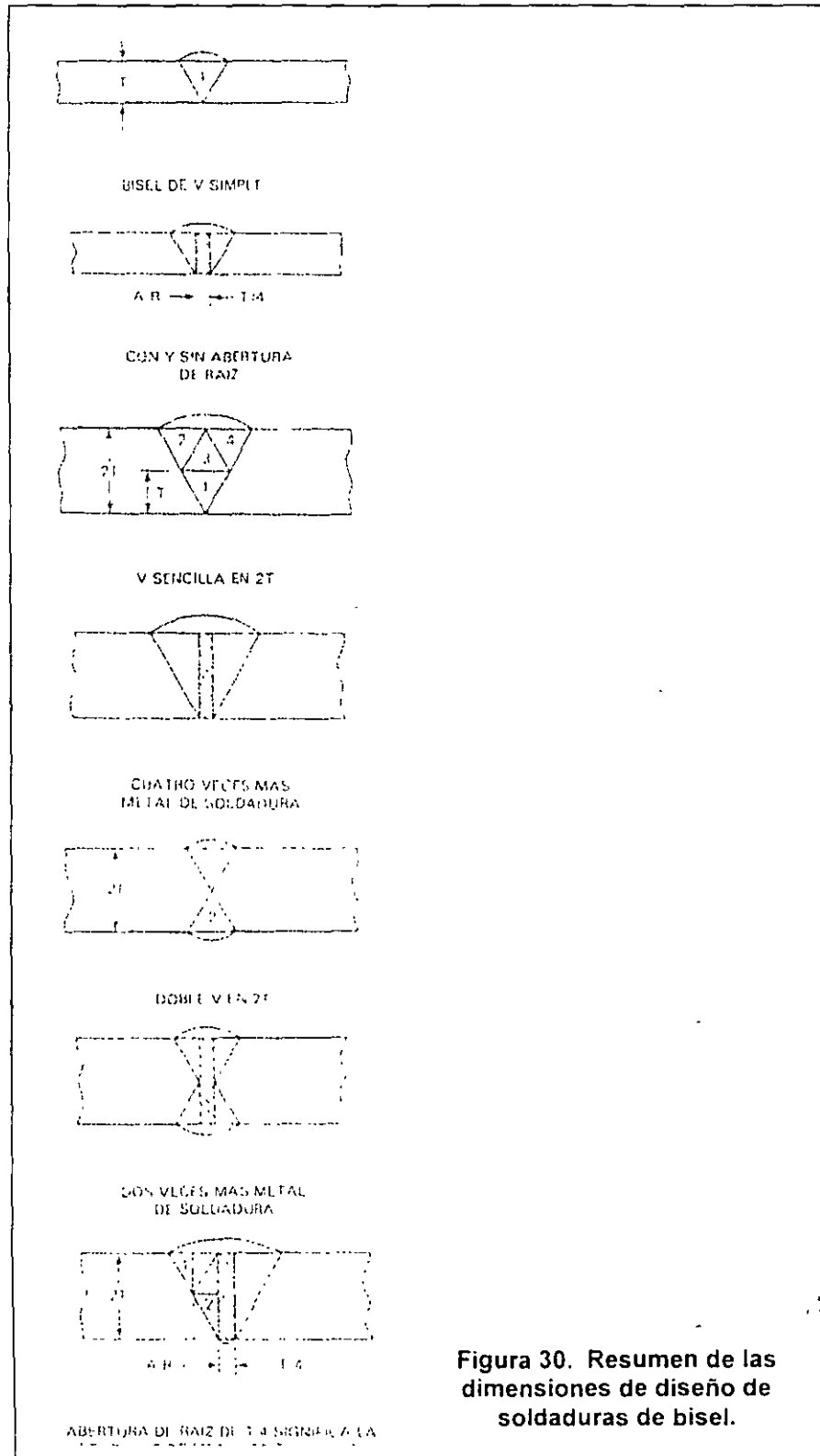


Figura 30. Resumen de las dimensiones de diseño de soldaduras de bisel.

Finalmente, al usar soldaduras de bisel en uniones en esquina y en T se pueden utilizar chaflanes para reforzar y evitar cambios bruscos de dirección y concentraciones de esfuerzos.

El problema del diseño de la unión a veces se puede aumentar en la construcción soldada, si el ajuste no es el que se diseñó. Por desgracia, muchas veces en los talleres se usan aberturas de raíz para compensar las tolerancias de las partes cortadas con soplete. Si la parte es mayor de lo que se debe ser, la abertura de raíz desaparecerá y se reducirá la capacidad del soldador para ejecutar una soldadura de penetración completa. Esto es el porque la inspección de las construcciones apuntadas puede detectar problemas potenciales y eliminar soldaduras defectuosas. Si estas partes son muy pequeñas, las aberturas de raíz serán excesivamente grandes y se necesitará metal de soldadura adicional para efectuar la unión soldada. Esto es caro y a veces resulta más económico volver a hacer las piezas que llenar una ranura mayor que la diseñada. Si la abertura de raíz y en general el diseño de la unión quedan afectados adversamente debido a esas tolerancias de manufactura, será necesario volver a cortar las partes de acuerdo con su diseño original o hacer nuevamente determinada parte según sus dimensiones originales para que la preparación de la unión soldada sea de acuerdo con el diseño.

## **5. PROCESOS Y EQUIPOS DE SOLDADURA DE ARCO**

De todos los procesos de soldadura, el de soldadura de arco es el que se aplica con más frecuencia. En esta soldadura, el calor necesario para fundir el electrodo y el metal de la pieza de trabajo se genera con la resistencia (fricción) de ambos al paso de la electricidad (corriente).

Cuando pasa electricidad por un alambre, el movimiento de la energía eléctrica en el alambre origina una fricción, y dicha fricción calienta el alambre. Como el alambre se calienta como resultado de su resistencia al paso de la electricidad, es lógico deducir que cuanto mayor sea el flujo (corriente) de electricidad que pasa por un alambre de un diámetro dado, mayor será la fricción que resulta. El incremento de fricción dará así lugar a un incremento de calor.

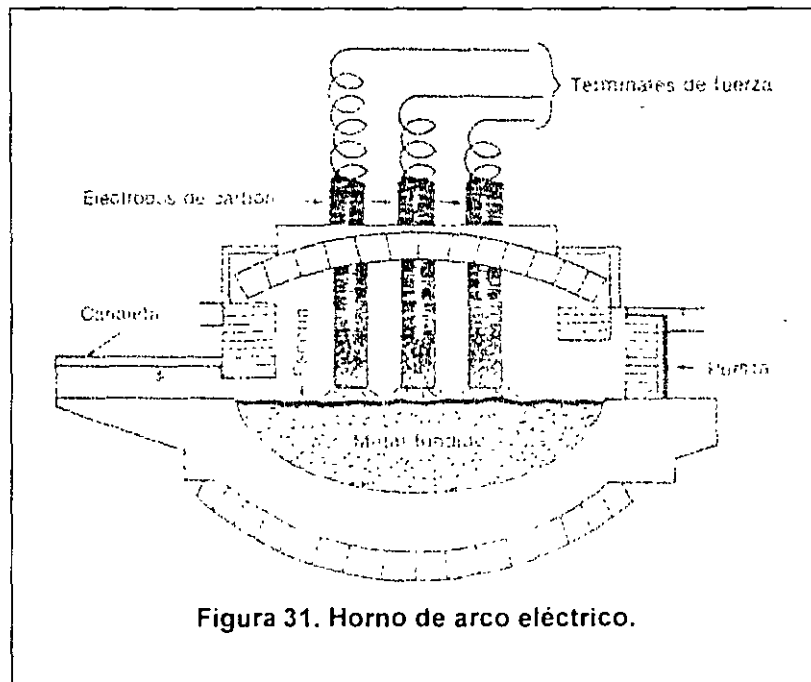
Podría servir de ayuda comparar el peso de la electricidad a lo largo de un alambre con el paso del agua por una tubería. El caudal de agua que pasa por un tubo se expresa en galones por minuto. La corriente de electricidad que pasa por un alambre se expresa en amperes. Como el paso de la electricidad determina la cantidad de calor que se produce, cuando mayor sea el amperaje, mayor será el calor generado en el arco.

Como el aluminio y el cobre ofrecen menos resistencia al paso de la electricidad que otros metales, se calientan menos que un alambre de acero de igual diámetro cuando se hace pasar a través de ellos una corriente eléctrica de igual intensidad. Cuando los metales no tienen un diámetro suficientemente grande para transmitir la corriente que se les alimenta, se calientan mucho y pueden llegar a fundirse.

En la industria se ha venido aprovechando este principio del calentamiento, debido a la resistencia eléctrica, durante largo tiempo y en muchas formas. Probablemente, la aplicación más conocida de este principio es el fusible eléctrico.

Un fusible tiene por objeto ser el punto más débil de un circuito. Una pequeña pieza metálica instalada dentro del fusible—el conductor—está calculada para conducir sólo una cantidad limitada de corriente. Al pasar por el fusible una cantidad de corriente mayor que la calculada, el metal se calienta y se funde, con lo cual se interrumpe el circuito. Otra aplicación de este principio es la del horno de arco eléctrico, ilustrado en la figura 31, el que se utiliza para producir aceros aleados e inoxidable.

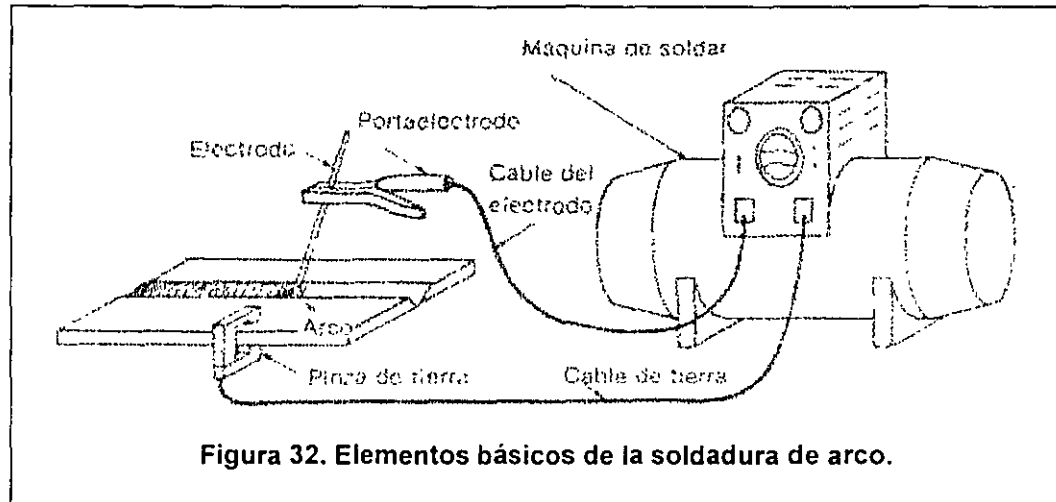
En el horno eléctrico el recipiente que contiene el metal, al que ordinariamente se llama *crisol*, se conecta a una terminal de una fuente de energía de alto amperaje. A la otra terminal se conecta un electrodo, que generalmente es el carbón. El metal que se quiere fundir se coloca en el crisol, y el electrodo se lleva hasta hacer contacto con él, con lo cual se cierra el circuito. La resistencia del metal al paso de la corriente genera calor suficiente para fundirlo.



## Circuito de la Soldadura de Arco

Para establecer un circuito de soldadura debe contarse con una fuente de energía eléctrica. En la mayoría de los procesos de soldadura de arco, dicha fuente es la máquina de soldar. Se utilizan dos cables. Uno sirve para conectar el portaelectrodo a una de las terminales de la máquina, y por ello se le llama *cable del electrodo* o *terminal del electrodo*. El otro cable conecta la prensilla o pieza de tierra a la otra terminal, y se conoce como cable de tierra o cable de *pieza de trabajo* (figura 32). Ambos cables deben ser del tamaño, la longitud y el material adecuado para conducir la corriente requerida ofreciendo poca resistencia; de lo contrario, la energía se disipará, desperdiciándose en formas de calor en el cable.





**Figura 32. Elementos básicos de la soldadura de arco.**

Una parte importante del circuito de soldadura es la conexión del cable del electrodo y del cable de tierra o de la pieza de trabajo. En la soldadura con corriente directa, los cables del electrodo y de tierra pueden conectarse en dos formas diferentes. Una se conoce como conexión en polaridad directa (PD), y a la otra como conexión en polaridad invertida (PI). En la conexión PI, el cable de tierra o de la pieza de trabajo debe conectarse a la terminal negativa ( - ), y el cable del electrodo a la terminal positiva ( + ). En la conexión de PD, el cable de tierra, o de la pieza de trabajo debe conectarse a la terminal positiva ( + ), y el cable del electrodo a la terminal negativa ( - ).

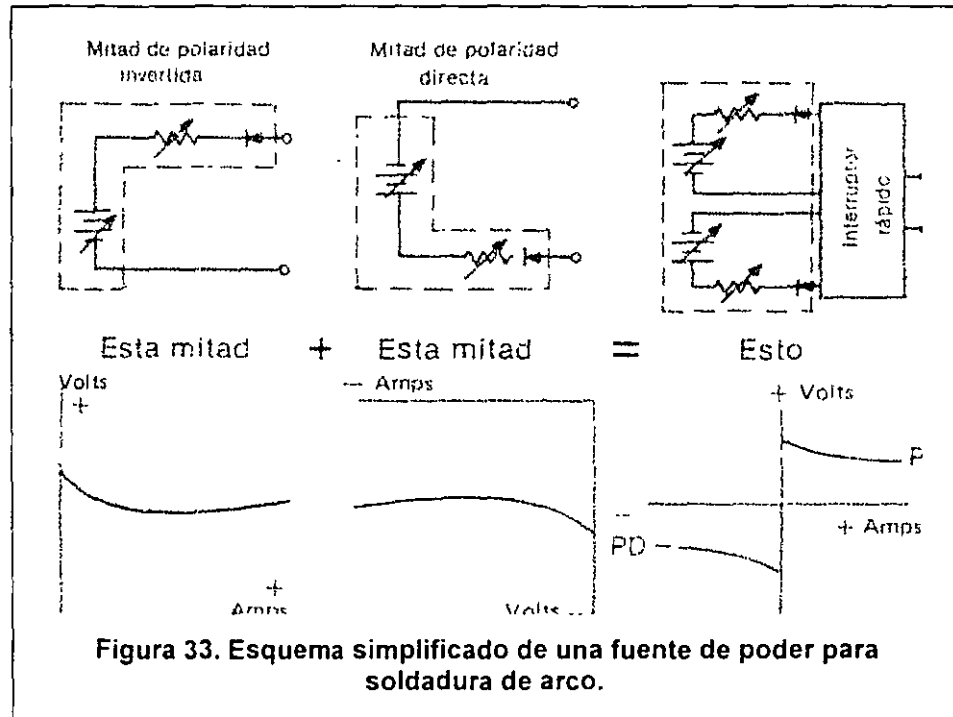
En algunas máquinas de soldar, la polaridad puede cambiarse por medio de un interruptor selector de polaridad instalado para tal objeto. En otras máquinas, el soldador tiene que desconectar ambos cables, el del electrodo y el de tierra, y reconectarlos a las terminales opuestas (el cable de tierra donde estaba el cable del electrodo, y el cable del electrodo donde estaba el cable de tierra), para invertir así la polaridad.

En la soldadura con corriente alterna sólo hay una forma de conectar a las terminales el cable de tierra, o de la pieza de trabajo, y el cable del electrodo. La Union Carbide Corporation, en su Manual de soldadura eléctrica (*Welding Power Handbook*), menciona que "las soldaduras de arco para corriente alterna son iguales a las soldaduras para corriente directa, con la excepción de que tienen dos mitades. Una para cada medio ciclo de la ca". Si se estudia la figura 33 se verá que un arco de ca se comporta como un arco de cd y polaridad invertida durante medio ciclo, y a continuación como un arco de cd y polaridad directa durante el otro medio ciclo.

Independientemente del tipo de conexión que utilice, el soldador hace que pase la corriente eléctrica tocando con la punta del electrodo la pieza de trabajo, y estableciendo un arco. La corriente deja de pasar en el momento en que separa la punta del electrodo de la pieza de trabajo e interrumpe el circuito.

Si el soldador cierra el circuito tocando con el electrodo la pieza de trabajo, manteniéndolo el contacto directo, el electrodo se pondrá muy pronto al rojo. La resistencia al paso de la electricidad por el electrodo, que es de sección transversal pequeña y mal conductor,

ocasiona este calentamiento. Manteniendo el electrodo aplicado contra la pieza de trabajo, generalmente se generará el calor suficiente para que se fundan los dos (y a veces para fundir el electrodo hasta el portaelectrodo). Si la pieza de trabajo es delgada y ligera, también se pondrá muy caliente; por sus dimensiones reducidas ofrecerá gran resistencia al paso de la corriente.



## El Arco Eléctrico

El aire seco es un mal conductor de la electricidad; casi puede clasificarse como no conductor. La electricidad no se transmite en realidad a través del aire. Pero bajo ciertas condiciones salta en un entrehierro, formando un arco. La corriente de soldadura que pasa a través de este entrehierro de aire de alta resistencia genera un calor muy intenso en el arco, el cual puede ser de 6,000 a 10,000 °F. Como resultado, el metal de base se funde en el punto en que lo toca el arco, y el electrodo se funde (y se convierte en metal de aporte) en el punto en que el arco toca la punta del electrodo.

Para mantener el arco estable y consistente, se incorporan ciertas sustancias químicas en los recubrimientos de los electrodos, las que ayudan a contener y dirigir el arco, sirviendo también para proteger el metal de aporte fundido del contacto con el aire mientras aquel pasa a través del arco.

El punto que debe entenderse aquí es de resistencia que existe en el espacio de un arco eléctrico crea el calor que el soldador utiliza para fundir el metal. La máquina de soldar, o fuente de energía, puede ajustarse para entregar ésta, en la cantidad y el tipo correctos, al extremo del electrodo. El operador de la máquina de soldar debe dirigir el arco al punto correcto de la pieza de trabajo, mantener el arco de la longitud adecuada, y moverlo al paso apropiado para obtener los resultados deseados.

## Soldadura con Arco de Carbón

La soldadura con arco de carbón es una de las formas más antiguas de soldar. Es el método que establece un arco entre el electrodo del carbón y el metal de base, o bien, en el arco de carbones gemelos, entre los dos electrodos de carbón. El metal de aporte se alimenta, generalmente con ayuda de un fundente, al pocillo o charquito de soldadura, prácticamente en la misma forma en que se hace con la soldadura oxiacetilénica.

Uno de los principales problemas con que se tropieza en la soldadura de arco de carbón es el de la estabilización del arco. El uso de fundente ayuda en este problema, como también ayuda la polaridad invertida en el método de un solo electrodo de carbón. Sin embargo, el mejor método de estabilización del arco consiste en incluir un solenoide en uno de los portaelectrodos del carbón. La fuerza magnética de solenoide ayuda a comprimir el arco y a conservar la punta soldadora.

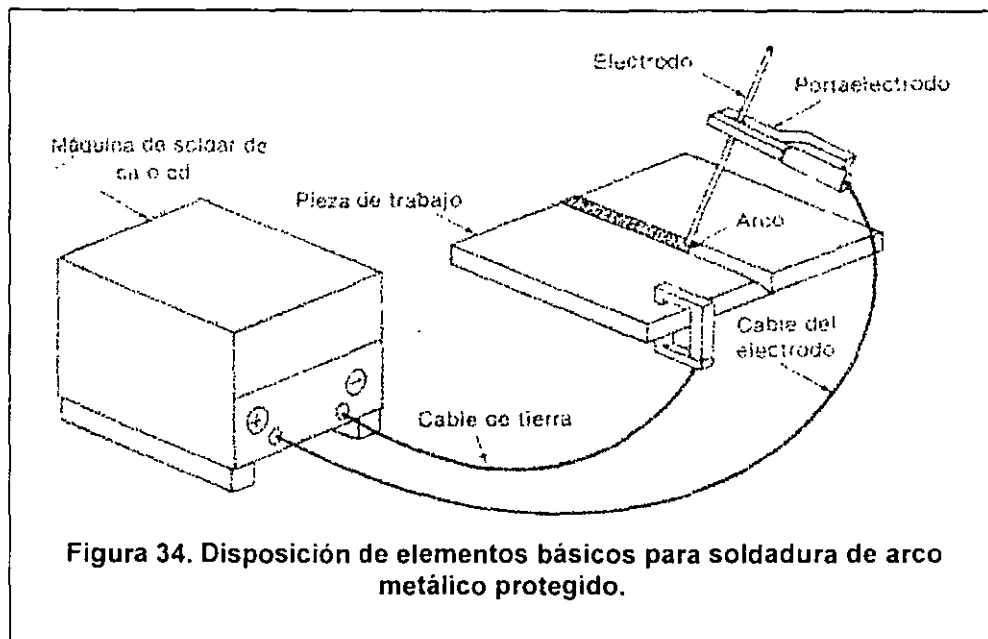
Con el desarrollo de otros métodos más eficientes para soldadura de arco, el de arco de carbón ha caído en desuso. Empero, con frecuencia se combina un dispositivo de arco de un solo carbón con una línea de aire a alta presión, para lograr lo que se conoce como *método de corte con arco de carbón de aire*. El intenso calor del arco funde el metal, y el aire lo dispersa con un soplo, produciendo el corte. De hecho, en la actualidad, la mayor utilización del arco de carbón tiene lugar en operaciones de corte o de ranurado tipo gubia.

## Soldadura de Arco Metálico Protegido

El proceso principal de soldadura sigue siendo en todo el mundo la soldadura por arco metálico protegido, con electrodos revestidos de fundente. Al igual que en los otros procesos eléctricos, se utiliza el calor del arco para llevar la pieza de trabajo y un electrodo consumible al estado de fusión. El circuito se establece ordinariamente como se ilustra en la figura 34.

En este proceso, el arco acarrea en realidad pequeñísimos glóbulos de metal fundido, procedentes de la punta del electrodo, hacia la zona fundida que se forma sobre la superficie de la pieza de trabajo. El principio clave de este proceso es, sin embargo, la protección, la cual se obtiene por la descomposición del recubrimiento del electrodo en el arco. El recubrimiento desempeña una o las tres funciones siguiente:

1. La creación de una atmósfera inerte que protege el metal fundido del contacto con el oxígeno y el nitrógeno (u otros contaminantes) del aire.
2. La adición de desoxidantes o limpiadores para refinar la estructura granular del metal de la soldadura.
3. La formación de una película de escoria, de endurecimiento rápido, que protege la zona fundida de soldadura.



Se han desarrollado diversos electrodos y recubrimientos para atacar ciertos problemas específicos de la soldadura. Por tanto, por lo que toca al soldador, la soldadura de arco metálico protegido consiste en seleccionar el electrodo correcto, ajustar su máquina al amperaje adecuado, establecer y mantener el arco, y poder soldar en la posición apropiada para el trabajo.

La soldadura de arco metálico con núcleo de fuente es una versión especializada de este proceso, en el cual el electrodo es un alambre hueco relleno de fundente alimentado en forma continua. La composición y la función del fundente son, en esencia, las mismas que en el caso del electrodo recubierto. La ventaja de este proceso radica en su adaptabilidad a los métodos de aplicación semiautomático y automático.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

**MÓDULO II: MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS DE  
POTENCIA**

**TEMA:**

**TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA**

**ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL  
PALACIO DE MINERÍA  
ENERO – FEBRERO 2000**

**DIPLOMADO EN  
INGENIERIA DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESION  
TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA**

**Expositor: Ing. Miguel Alonso Castillo Hoil  
Tema: EL AGUA**

El agua es un compuesto químico constituido por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno y que se expresa por la fórmula  $H_2O$ .

Debido a sus propiedades es considerado como solvente universal, por lo que no se encuentra puro en la naturaleza.

El volumen de agua existente en la naturaleza es una cantidad constante, por lo que no es ampliable a voluntad.

#### **ORIGEN Y CARACTERISTICAS DEL AGUA**

El agua proviene de cuatro fuentes principales:

- Agua de lluvia y superficial
- Agua de manantiales y ríos
- Agua de pozos y perforaciones
- Agua de mar

El agua de estas fuentes que no ha recibido ningún tratamiento se le conoce como **AGUA CRUDA**.

Algunas de las características del agua por lo que se utiliza en la industria, son:

- No sufre alteraciones químicas por calentamiento dentro del rango de temperaturas encontradas.

El agua es una sustancia fundamental en muchos procesos industriales en los que interviene como :

Materia principal de un proceso, disolvente, diluyente o medio de transporte de otras materias; también como sistema auxiliar para lavado, para limpieza, etc. Medio de transporte térmico, como es el caso de calderas o generadores de vapor.

El objetivo del **TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA**, es el de reducir y evitar los problemas asociados a la generación de vapor.

Para conseguir dicho objetivo, el agua debe someterse a un tratamiento externo que reduzca la cantidad de contaminantes que contenga, a un nivel conveniente para el repuesto del agua en las calderas o generadores de vapor.

Estos contaminantes, también denominados impurezas, se encuentran en el agua y son causas potenciales de problemas por lo que se hace necesaria su eliminación mediante un tratamiento adecuado.

## IMPUREZAS DEL AGUA

Algunas de las principales impurezas que se encuentran generalmente en el agua, se relacionan con los problemas que pueden causar y se hacen necesarios algunos tratamientos físico químicos para su eliminación.

**Dureza:** Sales de Calcio y Magnesio expresadas como  $\text{CaCO}_3$ .

- Esta impureza es la principal fuente de incrustación en equipos de intercambio de calor.
- Se elimina por suavización, desmineralización, destilación, tratamiento interno, etc.

**Alcalinidad:** Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3$ ), e Hidróxidos ( $\text{OH}$ ).

- Causa espuma y arrastre de sólidos en la producción de vapor. - Fragilización del acero en calderas. El  $\text{CO}_3$  produce  $\text{CO}_2$  al calentarse. (Este gas es corrosivo).

**Acidez mineral :** Acidos libres ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HCl}$ ), expresados como  $\text{CaCO}_3$ .

- Causa corrosión general .
  - Se elimina neutralizando con álcalis.
- pH :** Concentración de iones. Hidrógeno.
- El pH varía de acuerdo a la acidez o a la alcalinidad del agua. (El pH del agua natural oscila de 6.0 a 8.0 ).
  - El pH puede ser regulado con álcalis o ácidos, para subirlo o bajarlo respectivamente.

**Cloruros:** ( $\text{Cl}^-$ )

- Con el Calcio y el Magnesio, forma sales incrustantes.
- Incrementa los sólidos disueltos en el agua y su carácter es corrosivo.
- Se elimina por desmineralización, destilación, ósmosis inversa, etc.

**Sílice:**  $\text{SiO}_2$  .

- Causa incrustación en el agua de calderas.
- Se vaporiza en las calderas y se deposita en los álabes de una turbina.
- Se elimina con tratamientos en caliente con sales de magnesio, por adsorción con resinas de intercambio iónico fuertemente básica, por destilación, ósmosis inversa, etc .ó

**Aceites y grasas:** Se expresa como materia extractable por cloroformo.

- Causa depósitos, lodos y espuma en calderas.
- Decrementa la transmisión de calor.
- Es indeseable en la mayor parte de los procesos.
- Se elimina por separación mecánica, coagulación y filtración (tierra diatomacea).

**Oxígeno:** ( $\text{O}_2$ )

- Causa corrosión en líneas de agua, equipo de intercambio de calor, calderas, retorno de condensado, etc.

**Conductividad.**

- Se expresa en micromhos por cm. (mmhos/cm).
- Es el resultado de los sólidos ionizables en solución.
- Una alta conductividad incrementa las características corrosivas del agua.
- Se elimina con cualquier proceso que disminuya el contenido de sales disueltas: desmineralización, ósmosis inversa, etc.

## ANÁLISIS DEL AGUA

El análisis del agua es un análisis físico-químico que se efectúa para valorar su calidad para su utilización.

Las principales impurezas del agua las constituyen los sólidos disueltos, que se disocian en iones con carga positiva (CATIONES) y con carga negativa (ANIONES).

Los cationes más comunes en el agua son: Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) y Sodio ( $\text{Na}^+$ ).  
Los aniones más comunes en el agua son: Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), Carbonato ( $\text{CO}_3^{--}$ ), Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfatos ( $\text{SO}_4^{--}$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y, en aguas contaminadas, los Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ).

La sílice es otro compuesto que se encuentra presente en forma de silicatos solubles y en ocasiones, en estado coloidal.

Otras impurezas importantes son los gases disueltos como el Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), el Oxígeno ( $\text{O}_2$ ), el Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), etc.

Los problemas de corrosión e incrustación o de depositación, debidos a las impurezas del agua se deben principalmente a: La solubilidad de cada impureza, a la temperatura, al pH y a las condiciones de oxidación o reducción presentes.

Cuando el agua se evapora, las impurezas se concentran y se depositan cuando se excede el límite de solubilidad, debido a la temperatura o al pH.

Basándose en la solubilidad, los minerales comunes en el agua natural forman grupos : Compuestos de Ca y Mg , de Na,  $\text{SiO}_2$  , de Fierro (Fe) y Manganeseo (Mn).

Como las impurezas que se encuentran en el agua, están en cantidades muy pequeñas, el resultado de un análisis se expresa en partes por millón ( ppm ) o en partes por billón (ppb ). Esto en vez de expresarlas en porcentos.

Una parte por millón significa una parte de la sustancia en un millón de partes de agua, independientemente de la unidad que se utilice. Por ejemplo:

1 gramo en un millón de gramos .

1 libra en un millón de libras.

Como la densidad del agua es de 1 gr/ ml, tenemos:

1ppm = 1 mg /lt , o también 1ppm = 1 gr/m<sup>3</sup>

La ppb es mil veces menor que la ppm , es decir : 1ppb = 1 mg /m<sup>3</sup>

Para facilitar el manejo aritmético de los resultados de los análisis del agua , se suelen convertir a una base común. Generalmente se utiliza el  $\text{CaCO}_3$  , cuyo peso molecular es de 100.



## TRATAMIENTO EXTERNO DEL AGUA

Las impurezas del agua ocasionan problemas de corrosión e incrustación, principalmente en los equipos de intercambio de calor y en tuberías, causando pérdidas de eficiencia y fallas en los equipos con los consiguientes paros costosos por reemplazos de partes, reparaciones, además de la falta del suministro que se cause.

Para depurar el agua, generalmente es preciso utilizar uno o combinar varios tratamientos, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas y, cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar, la materia en suspensión, después las coloidales y por último las sustancias disueltas (minerales u orgánicas).

Finalmente se corregirán ciertas características.

Todo esto dependerá de:

La calidad del agua disponible, el uso del agua acondicionada o tratada y la calidad necesaria de esta agua a utilizar.

Lo anterior se le conoce como "tratamiento externo del agua".

Algunos de los tratamientos elementales a mencionar, son:

Decantación o flotación, filtración, coagulación y floculación, precipitación (cal/coagulante en frío, cal/carbonato en caliente), suavización, desmineralización, separación por membranas (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis), destilación o evaporación.

Diversas sustancias sólidas constituyen indudablemente, la parte más importante y aparente de la contaminación. La separación de estas partículas sólidas puede hacerse de dos maneras: decantación o flotación o, filtración o tamizado.

En la decantación se aprovecha la acción directa de la pesantez y por flotación se fijan sobre las partículas burbujas de aire introducidas sistemáticamente en la suspensión.

El primer proceso puede acelerarse artificialmente mediante la intervención de la fuerza centrífuga (hidrociclones o centrifugadoras).

El primer proceso puede acelerarse artificialmente mediante la intervención de la fuerza centrífuga hidrociclones o centrifugadoras).

El cuadro siguiente, relaciona ciertos materiales y organismos, con su tamaño medio, así como el orden de magnitud del tiempo necesario para que estas partículas, recorran verticalmente un metro de agua, únicamente por la influencia de su peso.

Diámetro de la partícula (mm)	Tiempo de sedimentación
-------------------------------	-------------------------

para 1m de caída

Material

---

En efecto, un litro de agua de buena calidad puede contener varias decenas de millones de partículas del orden de una micra, aunque estas partículas pesen, en total, menos de 0.1 mg.

## **FILTRACION**

La filtración es un procedimiento en el que se utiliza el paso de una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar los líquidos (filtrado).

Si las materias en suspensión que deben separarse tiene una dimensión superior a la de los poros, quedarán retenidas en la superficie del filtro. La filtración, en este caso, se denomina superficial o en torta o sobre soporte.

En caso contrario de que las materias queden retenidas en el interior de la masa porosa, la filtración se denomina en volumen, en profundidad o sobre lecho filtrante.

Los filtros retienen, en la superficie o en el seno de la masa filtrante, las partículas que contiene un líquido.

## **COAGULACION Y FLOCULACION**

Para permitir la separación de una suspensión coloidal en condiciones de velocidad satisfactorias por sus pesantes, es necesario aglomerar los coloides para formar partículas de tamaño mucho mayor.

Esta aglomeración se efectúa por medios artificiales, que resulta de dos acciones diferentes:

### **COAGULACION:**

Una desestabilización, producida generalmente, por la adición de reactivos químicos, que anulan las fuerzas repulsivas o actúan sobre la hidrofilia de las partículas coloidales.

### **FLOCULACION:**

Una aglomeración de los coloides “descargados”, hasta la obtención de un tamaño de 0.1 micra aproximadamente y después por agitación mecánica, las conduce a un tamaño suficiente de los flóculos.

Los reactivos correspondientes serán “coagulantes” y “floculantes” respectivamente.

La separación sólido-líquido del flóculo formado y del agua puede hacerse por filtración, por decantación o flotación y filtración (opcional).

## PRECIPITACIÓN

Una vez que el agua ha sido extraída de su fuente, donde pudo haberse encontrado en un estado de equilibrio, suele exponerse a bombeo, aereación, calentamiento, etc., que pueden cambiar su estabilidad y producir corrosión o incrustación.

Esto puede conocerse encontrando el Índice de Estabilidad del Agua. Un factor importante para este cálculo es el producto de solubilidad del Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y la concentración de ciertos iones en el agua.

El proceso de precipitación emplea el producto de solubilidad de un compuesto que contiene un ion o radical que es considerado perjudicial y que, por lo tanto, debe ser eliminado antes de utilizar el agua.

El caso más común es la reducción de la concentración de iones de Calcio<sup>++</sup> y Magnesio<sup>++</sup> por precipitación como  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{Mg}(\text{CO}_3)$ .

Por precipitación química se entiende, la formación por la acción de los reactivos apropiados de compuestos insolubles de los elementos indeseables.

El mecanismo de la precipitación del Carbonato cálcico y el hidróxido de magnesio; para el primer caso ( $\text{CaCO}_3$ ), la reacción de la cal sobre el agua cruda es extraordinariamente lenta, en ausencia de "gérmenes de cristalización".

Por el contrario, cuando el agua y la cal se ponen en contacto con una masa suficiente de cristales de  $\text{CaCO}_3$  ya precipitados, la reacción alcanza su equilibrio en unos minutos.

## CAL-COAGULANTE EN FRIO

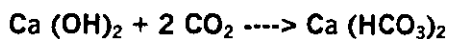
Este tratamiento se efectúa a temperatura ambiente, elimina la turbidez, el color y materia en suspensión, por esto, se les denomina a los equipos de este tratamiento floculadores y clarificadores también.

La dureza constituida por las sales de Ca y Mg, son reducidas en este tratamiento, por el proceso de precipitación, que predomina en este tratamiento, como  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  respectivamente.

Puesto que la alcalinidad de casi toda el agua cruda esta formada por bicarbonatos y generalmente contiene  $\text{CO}_2$ , la precipitación del Carbonato de Calcio requiere la conversión del  $\text{CO}_2$  del  $\text{HCO}_3$ , de acuerdo con las siguientes reacciones químicas:



para el  $\text{CO}_2$ :



De esta manera, se han convertido las sales solubles a sales insolubles (precipitado que se separa por asentamiento).

Dado que la dureza de Ca y Mg puede ser "de Carbonato" o "no Carbonato", las reacciones anteriores convirtieron la "dureza Carbonato".

La "dureza no Carbonato" esta dada por las sales de Ca y Mg, derivadas de ácidos minerales (sulfatos, cloruro, nitratos . . .). Esta se reduce, mediante la adición de carbonato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:



Todos estos equipos producen lodos de la reacción química, que actualmente debe considerarse su disposición, para evitar contaminación.

Deben ponerse fuera de servicio periódicamente, para su limpieza.

Debe llevarse un especial control químico para obtener la calidad del agua deseada, así como de la operación.

Mantenimiento preventivo estricto.

### **CAL CARBONATO EN CALIENTE**

En éste proceso, las reacciones se efectúan en caliente (105 °C aprox.), por lo que suceden a una velocidad considerablemente mayor.

Se obtienen precipitados más grandes, más pesados y el asentamiento es más rápido. No utiliza Coagulante, ni cal para eliminar el  $\text{CO}_2$ .

El efluente se usa generalmente para calderas o evaporadores. Si se desea pulir más, puede hacerse pasar por un suavizador de Zeolita en caliente.

Las reacciones químicas son las mismas que las que se producen en el tratamiento en frío; con la ventaja de que se reduce el contenido de la sílice del agua cruda, con la adición de óxido de Magnesio, que se convierte a hidróxido de Magnesio, el cual retiene la sílice. El  $\text{Mg (OH)}_2$  del agua cruda actúa igual y además funciona como coagulante

La alimentación del agua cruda, de los reactivos y del vapor es por separado por la parte superior del tanque. Ahí se atomiza el agua, de esta manera se desgasifica ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ).

Los lodos se eliminan conforme se forman por la parte inferior del cono.

Este tratamiento requiere de una estricta supervisión y de un control químico cuidadoso.

Debido a la temperatura, las tuberías de alimentación de Cal, se incrustan con frecuencia.

El efluente suele arrastrar  $\text{Ca CO}_3$  y  $\text{Mg (OH)}_2$  hasta los filtros por lo que deben tomarse las medidas pertinentes.

## INTERCAMBIO IONICO

Los intercambiadores de iones son sustancias granulares insolubles, que tienen, en su estructura molecular, radicales ácidos o básicos, capaces de permutar, sin modificación aparente de su aspecto físico y sin alteración alguna o solubilización, los iones positivos o negativos, fijados previamente a estos radicales, por otros iones del mismo signo, que se encuentran en solución en el líquido puesto en contacto con ellos.

Mediante esta permutación, llamada INTERCAMBIO IONICO, puede modificarse la Composición iónica del líquido a tratar, sin alterar el número total de iones existentes en este líquido, al iniciarse el tratamiento.

Este intercambiador de iones, tiene una capacidad limitada de iones almacenados en su esqueleto. A esta se le llama "Capacidad de intercambio"; en virtud de esto, llegará finalmente a saturarse con iones indeseables.

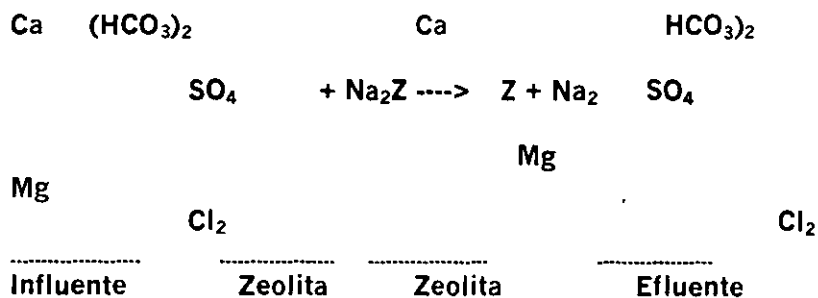
➤ Esta operación es un proceso químico cíclico y el ciclo completo incluye normalmente:

- Retrolavado
- Regeneración
- Enjuagado
- Servicio

## SUAVIZACION

El intercambio que sucede durante la operación, produce un efluente con sales de sodio, en vez de las sales de Ca y Mg del influente.

La dureza en el efluente puede llegar hasta 2 a 4 ppm, dependiendo de la dureza del influente. (Generalmente se obtiene agua de dureza cero). Las reacciones químicas que se suscitan en el equipo suavizador, son las siguientes:





Cuando las necesidades de agua desmineralizada son elevadas, es aconsejable disponer de dos o tres sistemas o trenes de desmineralización.

Uno de los principales problemas de las resinas es que suelen contaminarse con algunas sustancias, con la consiguiente pérdida de la capacidad de intercambio.

Otro tipo de fallas son las mecánicas en distribuidores y toberas.

También las producidas por corrosión, dadas las características de los regenerantes, en particular el ácido sulfúrico.

Debido a esto se deberá contar en la planta, con las refacciones necesarias y con la resina suficiente para reponer en caso de pérdida.

Algunas consideraciones sobre el tratamiento de los desechos:

➤ Un factor importante en la selección de cualquier proceso de intercambio iónico es la disposición del desecho producido por la regeneración de las unidades.

En algunas ocasiones, es reutilizable el desecho catiónico y el aniónico. Generalmente, se almacenan ambos en una fosa de construcción especial, para recibir ambos desechos, alternativamente.

## **OSMOSIS INVERSA**

La osmosis es un proceso en el cual un solvente fluye a través de una membrana permeable separando una solución más fuerte de una solución más débil. El solvente fluye en la dirección que reducirá la concentración de la solución más fuerte.

La OSMOSIS INVERSA es un proceso de membrana permeable que actúa como un filtro molecular para eliminar del agua:

- Minerales disueltos.
- Compuestos orgánicos disueltos.
- Materia Coloidal.
- Bacterias.

En este proceso de O.I., el agua es introducida a presión a través de una membrana permeable separando en dos partes:

- El filtrado, permeado o producto (diluido).
- El rechazo o no permeado (concentrado).

La O.I., utiliza membranas semipermeables, que dejan pasar el agua, reteniendo del 90 al 99% de todos los minerales disueltos del 95 al 99% de la mayoría de los elementos orgánicos y el 100% de la materia coloidal (bacterias, virus, sílice, coloidal . . . ) .

Tomando en cuenta las variables de comportamiento, para este proceso, podemos mencionar:

➤ El flujo de agua a través de una membrana, es proporcional a la diferencial de presión aplicada a través de la membrana (400 a 1200 lb/pulg<sup>2</sup>).

No siempre es recomendable una alta recuperación por la posibilidad de la precipitación de sólidos disueltos en la membrana, esta baja recuperación oscila entre 40-50% de conversión.

Las membranas no son totalmente impermeables y siempre se tendrá cierta cantidad de materiales disueltos que pasarán a través. A ésta cantidad de material se le conoce como PASO DE SALES.

En la actualidad, se comercializan dos tipos de membranas :

- De acetato de celulosa (mezcla mono, di, triacetato).
- Membranas de poliamidas aromáticas.

Las primeras (A. de C.) proporciona un fuerte caudal por unidad de superficie. Su diseño es tubular, espiral o fibras huecas. Las de poliamida tiene menor caudal específico y para obtener un máximo de superficie por unidad de volumen del permeador, tiene un diseño particular.

Los dos diseños más importantes de Osmosis inversa son:

- Módulos de arrollamiento en espiral:

Las membranas se arrollan por pares sobre un tubo central en el que se colecta el permeado. El agua que será tratada circula paralelamente al tubo central, por los espacios acondicionados entre las dos caras activas de las membranas por medio de unos espaciadores (de plástico).

El producto atraviesa el material y llega al tubo central.

- Módulos de fibras huecas:

Una fibra hueca puede asimilarse a un cilindro poroso de pared gruesa, cuya resistencia es función de la relación diámetro exterior/diámetro interior. Si ésta relación permanece constante cuando sus diámetros decrecen, el cilindro conserva sus propiedades de resistencia aún cuando disminuya el espesor de la pared (de esta manera se aumenta el caudal del agua que la atraviesa). Así se logra tener una membrana de superficie máxima por unidad de volumen, capaz de resistir, sin soporte mecánico, altas presiones.

Las fibras son del grueso de un cabello humano, con un agujero a todo lo largo.

La membrana consiste en un soporte poroso con un centro hueco, una capa soporte de polímero poroso y en el exterior un forro delgado densamente empacado.

La separación ocurre sobre la superficie de la fibra. La armadura de resina epóxica y fibra de vidrio contiene el material de fibra hueca que los une en cada extremo.

En un permeador de cuatro pulgadas de diámetro hay un millón de fibras proximadamente, que soportan una presión de 400 lb/pulg<sup>2</sup> del agua de alimentación que entra por el tubo central y fluye radialmente pasando por las fibras para fluir por el interior hacia la placa epoxi como producto.



Las sales concentradas salen en el rechazo por el interior del módulo hacia el otro extremo para su desecho.

## **INSTALACIONES DE OSMOSIS INVERSAS**

- **En Paralelo.-** En este tipo de instalaciones todos los módulos trabajan en las mismas condiciones de operación (presión y conversión).

## **TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE CALDERAS**

**Dosificación Química para el Control del Ciclo Agua-Vapor.**

Para evitar que se presenten los daños por impurezas, es necesario llevar un control del ciclo a base de dosificación química y análisis para mantener las concentraciones de las impurezas dentro de los límites de control requeridos para cada unidad dependiendo de sus condiciones de operación.

- A) TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE CALDERA, y**
- B) TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE ALIMENTACION.**

**Control por fosfatos:**

Para evitar que las sales de calcio y magnesio formen una incrustación en la caldera, el tratamiento interno, debe precipitarlos como lodos, manteniéndose este lodo en forma fluida para eliminarlos mediante purgas.

La eliminación del calcio se considera más problemática que la del magnesio ya que este es rápidamente precipitado por la alcalinidad del agua de caldera formando hidróxido de magnesio.

La dosificación del fosfato, se debe efectuar directamente al domo superior.

**A) Tratamiento Cáustico:** Se controla el pH para prevenir la formación de incrustación mediante la inyección de sosa cáustica y fosfato trisódico.

**B) Control Coordinado ph- fostatos:** Utilizando en unidades operando a una presión de 600 psig., en adelante, con el objeto de reducir al mínimo la corrosión cáustica.

**C) Control Congruente:** Se han propuesto varias explicaciones a ello y la más aceptable establece que al precipitar el fosfato de una solución sobresaturada, no lo hace exclusivamente como fosfato trisódico

sino como fosfato trisódico y disódico con el resultado de que el agua de caldera contendrá un exceso de hidróxido de sodio libre.

**Tratamiento Volátil:**

Es el control de pH del agua de caldera mediante productos volátiles tales como la hidrazina, amoníaco, morfolina y ciclohexilamina.

**Tratamiento Químico del Agua de Alimentación:**

Este se efectúa con la finalidad de eliminar principalmente el oxígeno que trae consigo. La presencia de este oxígeno ya en la caldera, ocasionará la corrosión por picaduras.

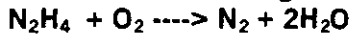
Aparte este oxígeno puede favorecer otros tipos de corrosión como la corrosión de cobre por amoníaco. Es esencial la eliminación del oxígeno para evitar la corrosión del generador de vapor.

#### **Sulfito de sodio:**

El sulfito de sodio se ha utilizado desde hace mucho tiempo como un eliminador de oxígeno en agua de calderas. Reacciona rápido particularmente a elevadas temperaturas formando sulfato de sodio de acuerdo a la siguiente reacción:  $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{Calor} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{SO}_2$

#### **Hidrazina:**

Para calderas de alta presión se emplea como agente reductor la hidrazina ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ). Reacciona con el oxígeno disuelto del agua de acuerdo a la siguiente reacción:



#### **Aminas neutralizantes:**

Normalmente se denominan aminas neutralizantes o volátiles y actúan neutralizando el ácido carbónico, elevando el pH. La morfolina y la ciclohexilamina, son las aminas neutralizantes más comúnmente usadas.

#### **Aminas fílmicas:**

Forman sobre la superficie metálica una película que actúa como barrera entre el metal y el condensado, protegiendo al primero del ataque del oxígeno y el bióxido de carbono

#### **Muestreo y Análisis:**

Para llevar un adecuado control de la concentración de impurezas en el ciclo agua-vapor así como de las especies químicas inyectadas para evitar problemas de corrosión e incrustación, es imprescindible la toma de muestras en distintos puntos del ciclo para su análisis.

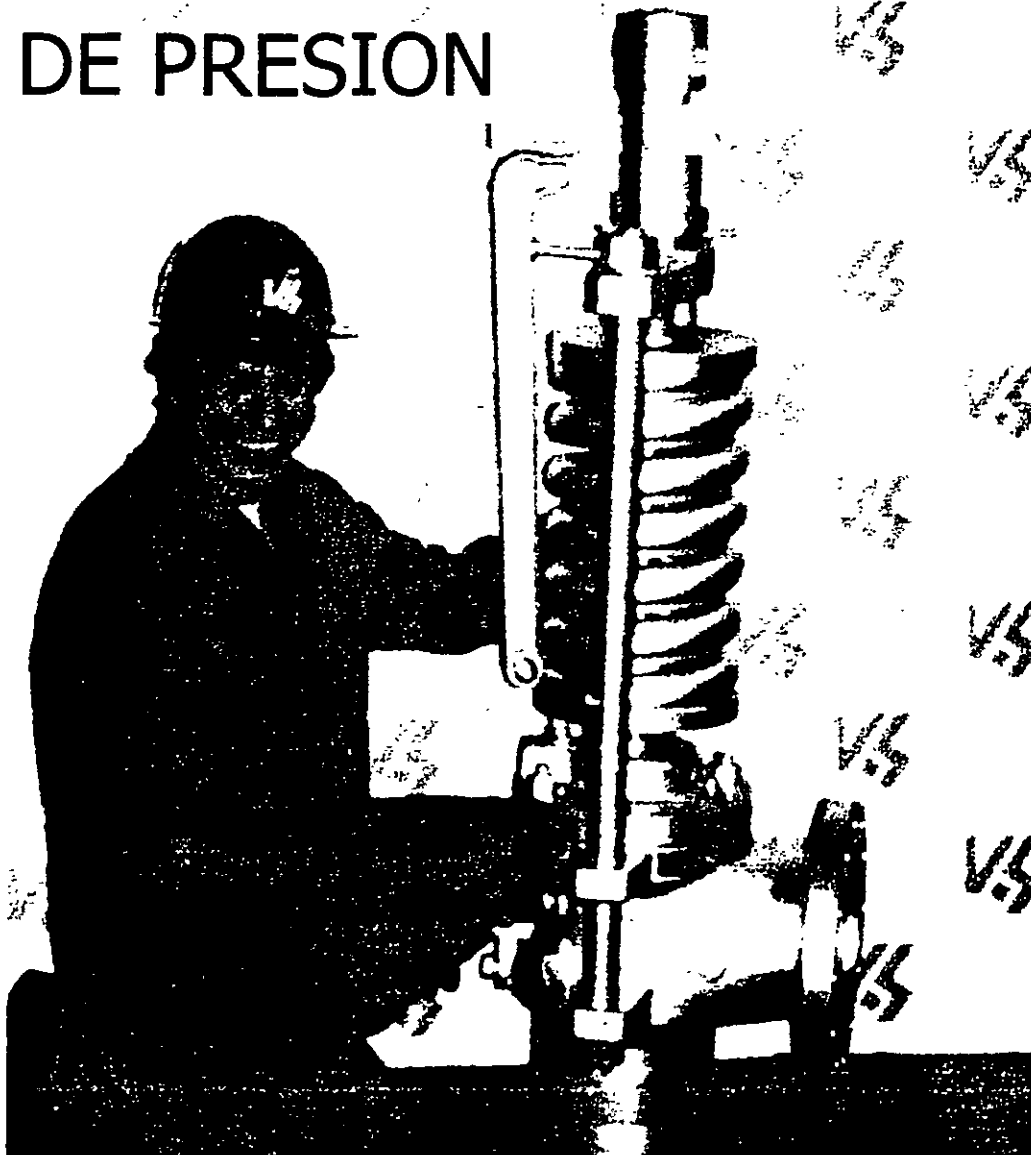
• **Colección de Muestras:** Una parte importante del trabajo analítico, es la colección de muestras representativas, las cuales deben ser preservadas en su estado original hasta que pueda hacerse el análisis.

Muchas gracias.

# DIPLOMADO EN CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION

**VASESA**

## VALVULAS DE RELEVO DE PRESION



## Válvulas de Relevo de Presión



FUNDAMENTOS DE  
OPERACIÓN DE  
LAS VÁLVULAS DE RELEVO  
DE PRESIÓN  
OPERADAS POR RESORTE

SI es de SEGURIDAD de VASESA

No. 1 de 100

---

---

---

---

---

---

---

---

## ¿QUÉ HACE UNA VRP?

- ◆ ABRE (OPERA) A UNA PRESIÓN PREDETERMINADA, QUE SE CONOCE COMO PRESIÓN DE AJUSTE.
- ◆ DESCARGA UNA CANTIDAD ESTABLECIDA DE FLUIDO (CAPACIDAD DE DESCARGA).
- ◆ Y CIERRA CUANDO EL SISTEMA HA DESCENDIDO A UN NIVEL DE PRESIÓN SEGURO, POR DEBAJO DE LA PRESIÓN DE AJUSTE.

SI es de SEGURIDAD de VASESA

No. 2 de 100

---

---

---

---

---

---

---

---

## ¿Por qué se Necesita?

- 1 PROTECCIÓN DEL PERSONAL, LAS INSTALACIONES Y EL PROCESO.
- 2 SATISFACER REQUERIMIENTOS DE CODIGOS Y NORMAS

SI es de SEGURIDAD de VASESA

No. 3 de 100

---

---

---

---

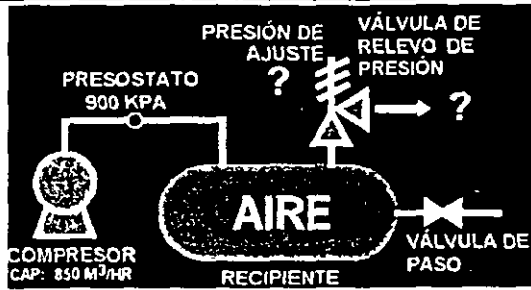
---

---

---

---

### EJEMPLO DE APLICACIÓN



Si es de SEGURIDAD es VASESA

Fig. 2 de 1-08

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Causas Más comunes de Sobrepresión

- DESCARGA BLOQUEADA
- EXPOSICIÓN A FUEGO EXTERNO
- EXPANSIÓN TÉRMICA

Si es de SEGURIDAD es VASESA

Fig. 3 de 1-08

---

---

---

---

---

---

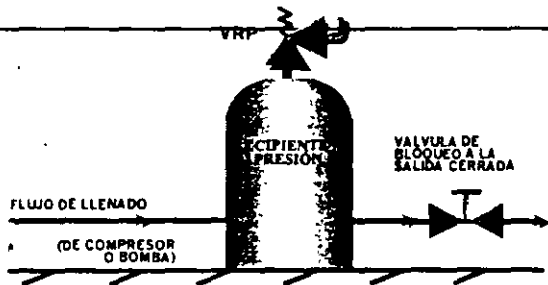
---

---

---

---

### Descarga Bloqueada



Si es de SEGURIDAD es VASESA

Fig. 4 de 1-08

---

---

---

---

---

---

---

---

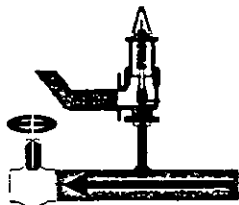
---

---

## APLICACIONES DE LAS VRP

### ♦ CASO I: DESCARGA BLOQUEADA

EN EL CASO DE UN BLOQUEO ACCIDENTAL O INESPERADO EN LA SALIDA DE DESCARGA EN UN RECIPIENTE, EL INCREMENTO DE PRESIÓN RESULTANTE, REQUIERE DE UNA VRP (Válvula de Relevo de Presión) PARA PROTEGER EL SISTEMA.



SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 7 de 140

---

---

---

---

---

---

---

---

## Fuego Externo



SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 9 de 140

---

---

---

---

---

---

---

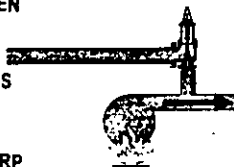
---

## APLICACIONES DE VRP

### ♦ CASO II : INCENDIO(Fuego).

EL CALOR INTENSO QUE INCIDE EN UN RECIPIENTE DURANTE UN INCENDIO, EVAPORA LOS LÍQUIDOS O EXPANDE LOS GASES QUE CONTIENE EL RECIPIENTE MUY RÁPIDAMENTE.

ESTE CASO REQUIERE DE UNA VRP PARA PREVENIR UNA EXPLOSIÓN HASTA QUE EL INCENDIO SEA CONTROLADO.



SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 9 de 140

---

---

---

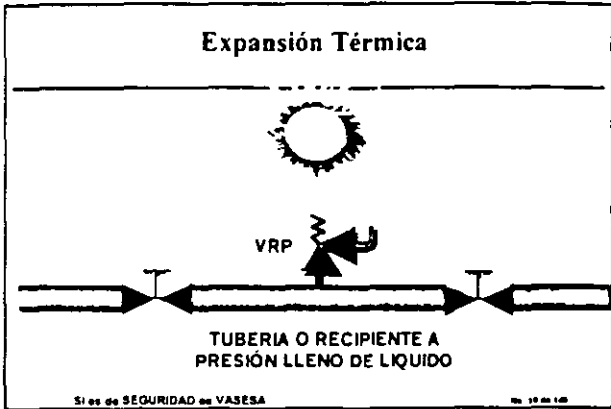
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### APLICACIONES DE VRP

◆ III: **RELEVO TÉRMICO**(Expansión térmica)

CUANDO UNA SECCIÓN DE TUBERÍA CONTIENE LÍQUIDO, LOS CICLOS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DURANTE EL DÍA, PROVOCAN LA EXPANSIÓN TÉRMICA DEBIDO A LA DILATACIÓN DEL FLUIDO ATRAPADO EN EL TRAMO DE LA TUBERÍA.

ESTA CONDICIÓN REQUIERE DE POCO FLUJO DE DESCARGA A TRAVÉS DE LA VRP PARA LA PROTECCIÓN DE LA TUBERÍA.

SI es de SEGURIDAD de VASESA No. 11 de 1-00

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Se debe considerar la Peor situación**

DESCARGA BLOQUEADA  
 FUEGO EXTERNO  
 EXPANSIÓN TÉRMICA

SI es de SEGURIDAD de VASESA No. 12 de 1-00

---

---

---

---

---

---

---

---

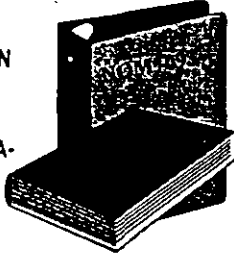
---

---

## FUNDAMENTOS DE DISEÑO

- ◆ EN MEXICO, EL DISEÑO, SELECCIÓN, INSTALACIÓN, OPERACIÓN ...ETC, DE ESTE TIPO DE VÁLVULAS DEBE ESTAR DE ACUERDO CON LA NORMA OFICIAL OBLIGATORIA : NOM-093-SCFI-1994

VALVULAS DE RELEVO DE PRESION  
(SEGURIDAD SEGURIDAD-ALIVIO Y ALMO)  
OPERADAS POR RESORTE Y PILOTO



SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 28 de 199

---

---

---

---

---

---

---

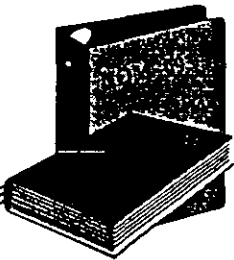
---

---

---

## FUNDAMENTOS DE DISEÑO

EL PROPÓSITO DE LAS VÁLVULAS DE RELEVO DE PRESIÓN (VRP) ES PROTEGER RECIPIENTES Y SISTEMAS EN OPERACIÓN CONTRA UNA SOBREPRESIÓN ANORMAL QUE SE PRESENTE.



SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 28 de 199

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## ¿QUÉ ES UNA VÁLVULA DE RELEVO DE PRESIÓN (VRP)?

- ◆ LA VRP ES UNA VÁLVULA QUE FUNCIONA DE FORMA AUTOMÁTICA . SE UTILIZA PARA CONTROLAR UN INESPERADO EXCESO DE PRESIÓN EN UN RECIPIENTE, PROTEGIENDO CON ELLO LAS INSTALACIONES LOS EQUIPOS, AL MEDIO AMBIENTE Y PRINCIPALMENTE AL PERSONAL.
- ◆ USUALMENTE ES EL ÚLTIMO DISPOSITIVO DE CONTROL PARA PREVENIR ACCIDENTES O EXPLOSIONES CATASTRÓFICAS.

SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 27 de 199

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Dispositivos de Relevo de Presión

- VÁLVULA DE RELEVO DE PRESIÓN
- DISCO DE RUPTURA
- DISCO DE RUPTURA BAJO VRP

---

---

---

---

---

---

---

---

### Válvula de Relevo de Presión (VRP)



- - ABRE A LA PRESIÓN DE AJUSTE REDETERMINADA
- - CIERRA A LA PRESIÓN DE CIERRE REQUERIDA POR EL PROCESO O LA NORMA APLICABLE

---

---

---

---

---

---

---

---

### Disco de Ruptura (DR)



- - SE DETERMINA A UNA PRESIÓN DE RUPTURA EN UN SISTEMA PRESURIZADO
- - ABRE A LA PRESIÓN DE RUPTURA
- - NO CIERRA

---

---

---

---

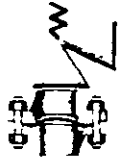
---

---

---

---

### Válvula de Relevo de Presión y Disco de Ruptura



- DR SE ROMPE AL ABRIR
- VRP ABRE INMEDIATAMENTE
- VRP CIERRA A UNA PRESIÓN MENOR A LA DE RUPTURA DEL DR

SI es de SEGURIDAD es VASESA

no 23 de 19

---

---

---

---

---

---

---

---

### Máxima Presión de Trabajo Permisible

Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)

- "PRESIÓN DE DISEÑO"
- UTILIZADA NORMALMENTE CON RECIPIENTES DE PROCESO Y TUBERÍA ASOCIADA
- ES NORMALMENTE LA PRESIÓN DE AJUSTE DE LA VRP O LA PRESIÓN DE RUPTURA DEL DR

SI es de SEGURIDAD es VASESA

no 23 de 19

---

---

---

---

---

---

---

---

### Máxima Presión de Operación Permisible

Maximum Allowable Operating Pressure (MAOP)

- "PRESIÓN DE DISEÑO"
- UTILIZADA NORMALMENTE EN TRANSMISIÓN DE GAS NATURAL Y SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN
- DEPENDE DEL MATERIAL DE LA TUBERÍA, TEMPERATURA AMBIENTE Y DEL GAS, LOCALIZACIÓN DE LA TUBERÍA (AREAS LIBRES O DE ALTA DENSIDAD DE POBLACIÓN)

SI es de SEGURIDAD es VASESA

no 23 de 19

---

---

---

---

---

---

---

---

## El Factor de Seguridad para componentes contenedores de Presión es 4:1

EJEMPLOS: ESPESOR DE PARED DE CUERPO  
ESPESOR DE PARED DE BONETE CERRADO  
BIRLO DE BONETES  
BILOS DE BONETE ROSCADOS AL CUERPO

---

---

---

---

---

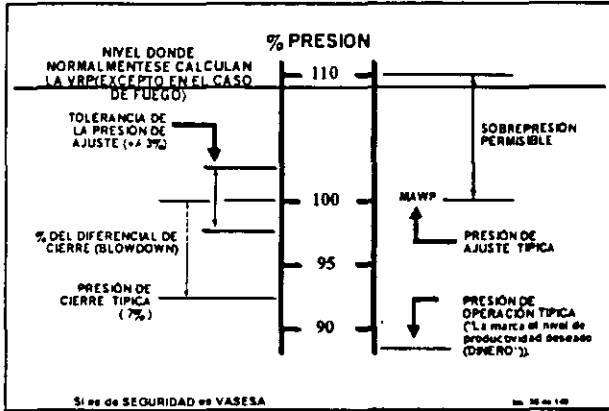
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

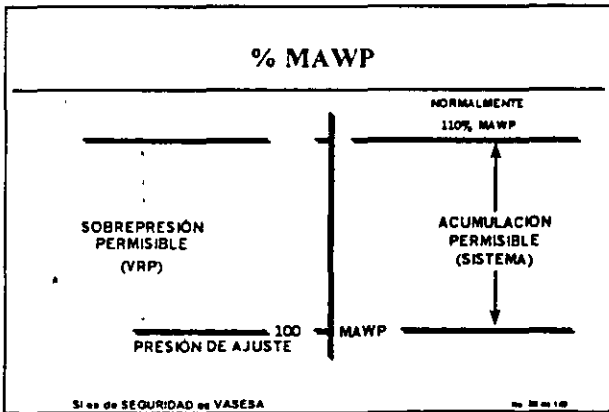
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

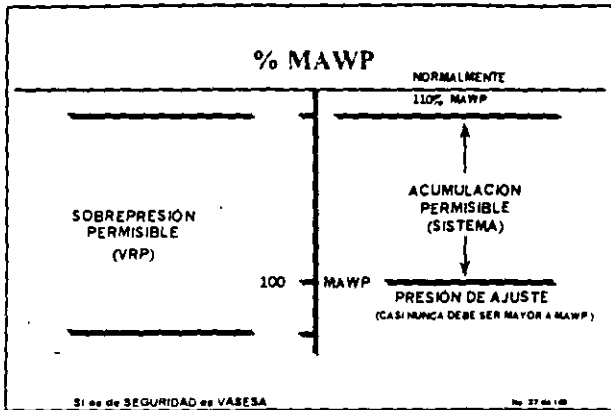
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

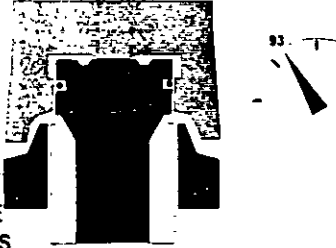
---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

EL INCREMENTO DE PRESIÓN EN EL SISTEMA SIGUE EN AUMENTO, LA FUERZA DEL RESORTE SOBRE LOS ASIENTOS ES MÍNIMA



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 42 de 149

---

---

---

---

---

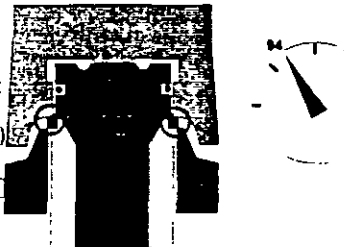
---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

APROXIMADAMENTE AL 94% DE LA PRESIÓN DE AJUSTE COMIENZA A ESCUCHARSE UN SISEO QUE SE CONOCE COMO PREAPERTURA (SIMMER) ES EL GAS QUE ESCAPA DE ENTRE LOS ASIENTOS HACIA LA CÁMARA DE PRESIÓN SECUNDARIA.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 41 de 149

---

---

---

---

---

---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

SE PRESURIZA LA CÁMARA SECUNDARIA QUE INCREMENTA EL ÁREA DEL ASIENTO UNAS SIETE VECES.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 43 de 149

---

---

---

---

---

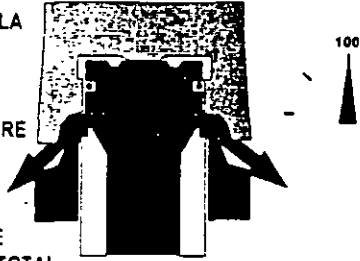
---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

AL LLEGAR A LA PRESIÓN DE AJUSTE, LA VÁLVULA DISPARA Y ABRE LLEVANDO AL DISCO HASTA UN 60 - 75% DE SU CARRERA TOTAL.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 63 de 198

---

---

---

---

---

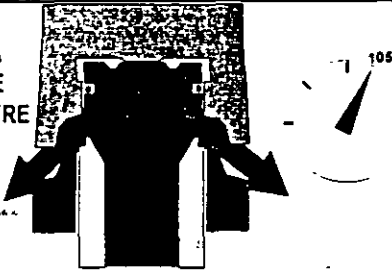
---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

LA APERTURA COMPLETA SE ALCANZA ENTRE UN 5% Y 7% DESPUÉS DEL DISPARO.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 64 de 198

---

---

---

---

---

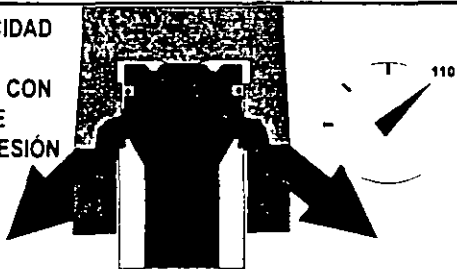
---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

LA CAPACIDAD TOTAL SE ALCANZA CON UN 10% DE SOBREPRESIÓN DESPUÉS DEL DISPARO.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 65 de 198

---

---

---

---

---

---

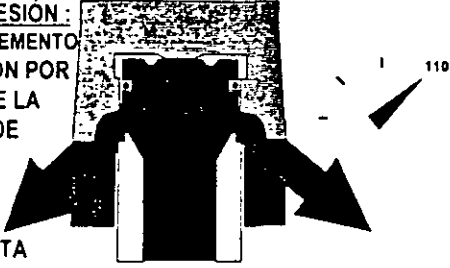
---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

**SOBREPRESIÓN :**  
ES EL INCREMENTO  
DE PRESIÓN POR  
ENCIMA DE LA  
PRESIÓN DE  
AJUSTE

CUANDO  
LA VRP. ESTA  
DESCARGANDO



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 46 de 148

---

---

---

---

---

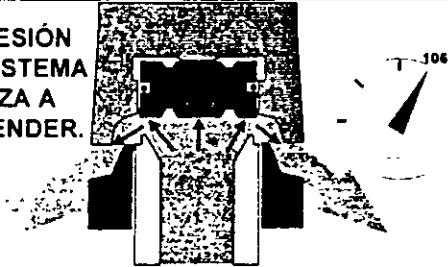
---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

LA PRESIÓN  
DEL SISTEMA  
EMPIEZA A  
DESCENDER.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 47 de 148

---

---

---

---

---

---

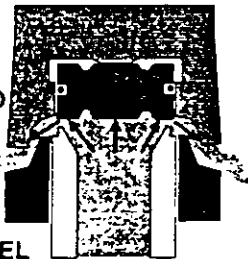
---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

LA VÁLVULA  
VA CERRAN-  
DO (PERO NO  
CIERRA EN  
EL MISMO

NIVEL DE  
PRESIÓN EN EL  
QUE ABRIÓ).



LA PRESIÓN  
EN EL RECIPIENTE  
DESCIENDE

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 48 de 148

---

---

---

---

---

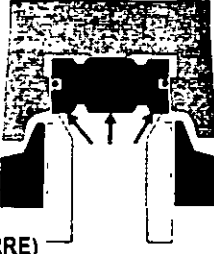
---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

LA VÁLVULA  
CIERRA ENTRE  
UN 7% - 10% POR  
DEBAJO DE  
LA PRESIÓN  
DE AJUSTE



(PRESIÓN DIFE-  
RENCIAL DE CIERRE)

---

---

---

---

---

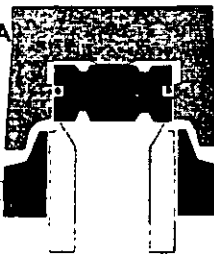
---

---

---

### SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA VRP

SE NORMALIZA  
LA PRESIÓN  
DEL SISTEMA  
LA CONTIN-  
GENCIA HA  
SIDO  
CONTROLADA  
POR LA VRP.



---

---

---

---

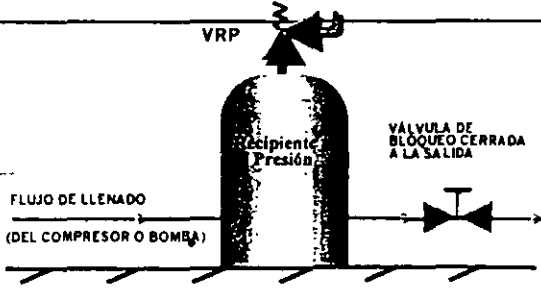
---

---

---

---

### Descarga Bloqueada



---

---

---

---

---

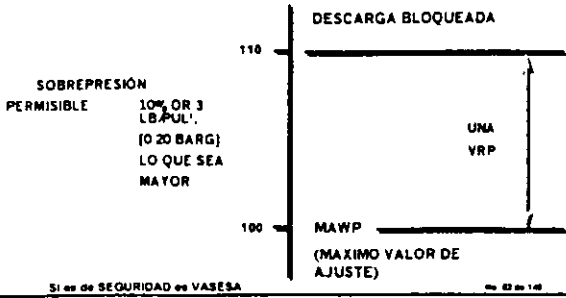
---

---

---



### ASME Sección VIII, % MAWP




---

---

---

---

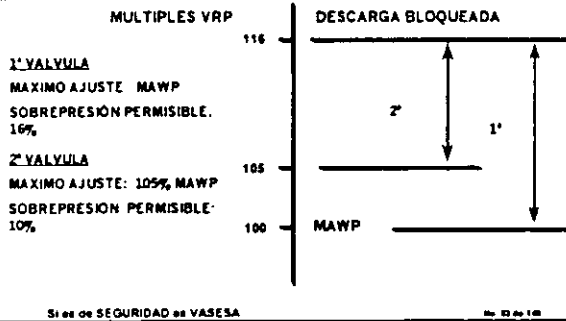
---

---

---

---

### ASME Sección VIII, % MAWP




---

---

---

---

---

---

---

---

### Fuego externo




---

---

---

---

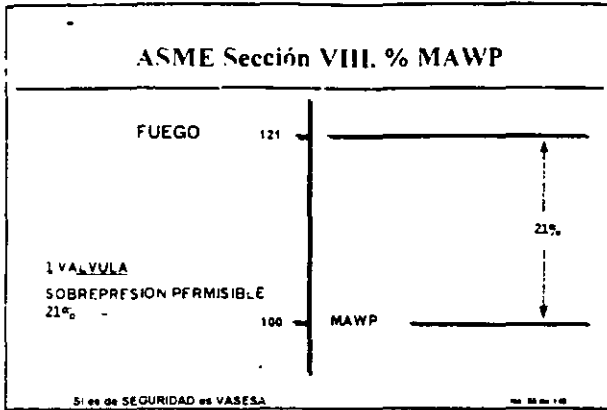
---

---

---

---

### ASME Sección VIII. % MAWP




---

---

---

---

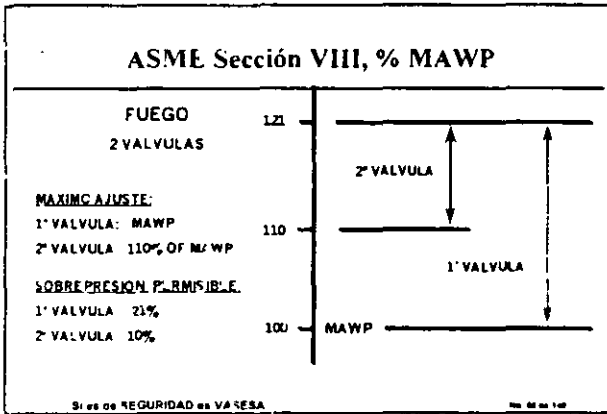
---

---

---

---

### ASME Sección VIII, % MAWP




---

---

---

---

---

---

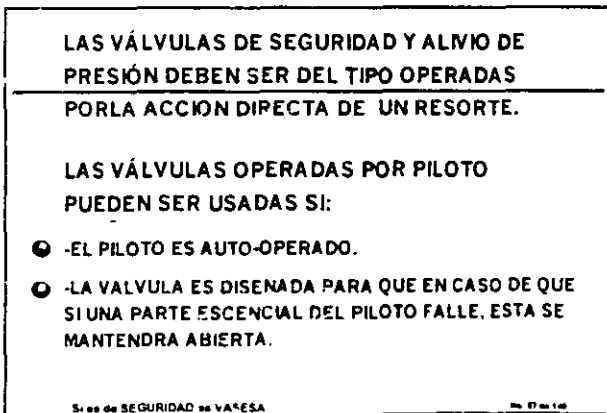
---

---

**LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO DE PRESIÓN DEBEN SER DEL TIPO OPERADAS POR LA ACCIÓN DIRECTA DE UN RESORTE.**

**LAS VÁLVULAS OPERADAS POR PILOTO PUEDEN SER USADAS SI:**

- -EL PILOTO ES AUTO-OPERADO.
- -LA VALVULA ES DISEÑADA PARA QUE EN CASO DE QUE SI UNA PARTE ESCENCIAL DEL PILOTO FALLE, ESTA SE MANTENDRA ABIERTA.




---

---

---

---

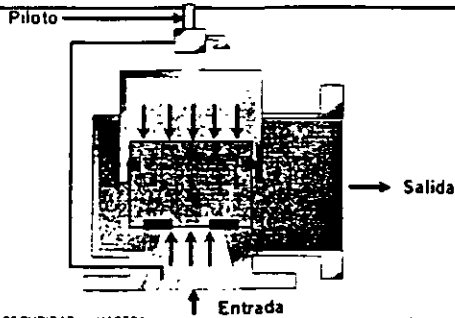
---

---

---

---

### Válvulas de Relevo de Presión Operadas por Piloto



Si es de SEGURIDAD es VASESA

De 00 de 10

---

---

---

---

---

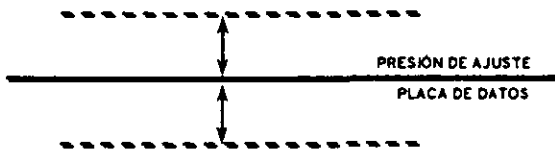
---

---

---

### Tolerancias en la Presión de Ajuste de las VRP

Hasta 70 lb./pul<sup>2</sup> [4.83 barg] de Ajuste — ± 2 psig [0.14 barg]  
 Sobre 70 lb./pul<sup>2</sup> [4.83 barg] de Ajuste — ± 3%



Si es de SEGURIDAD es VASESA

De 00 de 10

---

---

---

---

---

---

---

---

**LA PRESIÓN DE AJUSTE DE LA VRP PUEDE SER REAJUSTADA EN ± 5% DE LO QUE SE INDICA EN LA PLACA DE DATOS SIN CAMBIO DE PARTES Y SIN MODIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DE LA VALVULA (DE LO CONTRARIO, SE PUEDE PROVOCAR INESTABILIDAD EN LA VALVULA, Y EL QUE NO PUDIERA LOGRARSE EL LEVANTE TOTAL DEL DISCO AL 10% DE SOBREPRESIÓN).**

EJEMPLO:

P.AJUSTE EN PLACA = 1000 LB./PUL<sup>2</sup> [69 barg]  
 PUEDE SER REAJUSTADA ENTRE =  
 950 - 1050 Lb./pul<sup>2</sup> [66-72 barg]

Si es de SEGURIDAD es VASESA

De 00 de 10

---

---

---

---

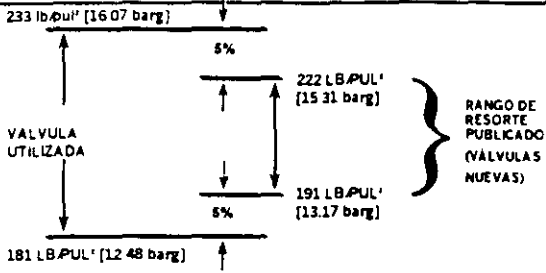
---

---

---

---

### Válvula de Tobera Completa de Resorte 3K4



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 01 de 10

---

---

---

---

---

---

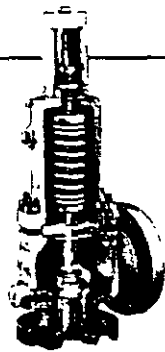
---

---

---

---

Puede ser reajustada en  $\pm 5\%$  de lo que marca la placa de datos



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 02 de 10

---

---

---

---

---

---

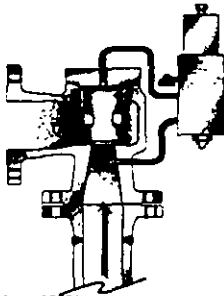
---

---

---

---

El área de la tubería de entrada debe ser por lo menos del mismo valor que el de la entrada de la válvula



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 03 de 10

---

---

---

---

---

---

---

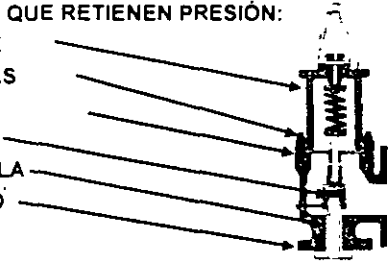
---

---

---

## ¿CUALES SON LAS PRINCIPALES PARTES DE UNA VRP?

- ◆ PARTES QUE RETIENEN PRESIÓN:
- ◆ BONETE
- ◆ TUERCAS
- ◆ BIRLOS
- ◆ DISCO
- ◆ BOQUILLA
- ◆ CUERPO



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 33 de 1-88

---

---

---

---

---

---

---

---

## ZONA PRIMARIA

- ◆ PARTES EN CONTACTO CON EL FLUIDO DURANTE LA OPERACIÓN NORMAL.
- ◆ LA ZONA PRIMARIA SE COMPONE DE:

- DISCO
- BOQUILLA O TOBERA



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 33 de 1-88

---

---

---

---

---

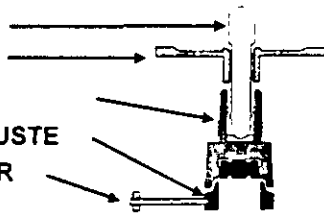
---

---

---

## PARTES DE LA ZONA SECUNDARIA NO HUMEDAS

- ◆ RETEN GUÍA
- ◆ PLATO GUÍA
- ◆ PORTADISCO
- ◆ ANILLO DE AJUSTE
- ◆ TORN. FIJADOR DEL ANILLO



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 33 de 1-88

---

---

---

---

---

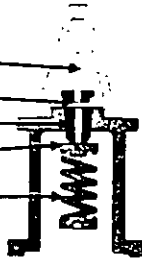
---

---

---

## PARTES DEL BONETE

- ◆ PARTES DE LA CALIBRACIÓN:
- ◆ VÁSTAGO
- ◆ CONTRATCA.
- ◆ TORNILLO DE AJUSTE
- ◆ RETEN RESORTE
- ◆ RESORTE



SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 02 de 10

---

---

---

---

---

---

---

---

## ANILLO DE AJUSTE

- ◆ CONTROLA EL SISEO O PREAPERTURA (SIMMER) EN LA CÁMARA SECUNDARIA.
- ◆ SU POSICIÓN DETERMINA EL DIFERENCIAL DE CIERRE (BLOWDOWN).
- ◆ LA POSICIÓN PREAJUSTADA DE FÁBRICA, ES CRÍTICA PARA UN CORRECTO FUNCIONAMIENTO.

SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 03 de 10

---

---

---

---

---

---

---

---

## FUNCIÓN DEL ANILLO DE AJUSTE

- ◆ MODIFICA EL ÁREA DE LA CÁMARA SECUNDARIA.
- ◆ CONTROLA LAS CARACTERÍSTICAS DE APERTURA Y CIERRE.
- ◆ SE AJUSTA DESDE LA PARTE EXTERIOR DEL CUERPO.
- ◆ NO TIENE EFECTO EN LÍQUIDOS.

SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 04 de 10

---

---

---

---

---

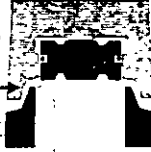
---

---

---

## ANILLO DE AJUSTE A TOPE SUPERIOR (A CERO)

- ◆ EN ESTA POSICIÓN SE OBTIENE LA MÁXIMA RESTRICCIÓN DE LA CÁMARA SECUNDARIA.
- ◆ EL DISPARO ES INMEDIATO SIN PREAPERTURA.
- ◆ SE OBTIENE UN DIFERENCIAL DE CIERRE ENTRE 15 Y 20 % (TÍPICO).
- ◆ ES LA POSICIÓN TEMPORAL DE PRUEBA QUE SE USA EN EL BANCO DE CALIBRACIÓN.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 70 de 100

---

---

---

---

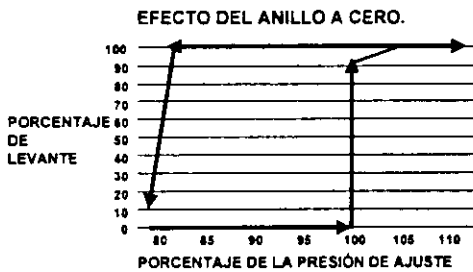
---

---

---

---

## POSICIÓN DEL ANILLO DE AJUSTE.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 71 de 100

---

---

---

---

---

---

---

---

## AJUSTES DEL ANILLO

### DEJAR LIBRE EL ANILLO



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 72 de 100

---

---

---

---

---

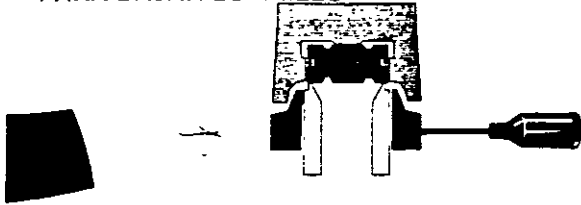
---

---

---

## AJUSTES DEL ANILLO

USAR UN DESARMADOR  
PARA BAJAR EL ANILLO



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 73 de 1-88

---

---

---

---

---

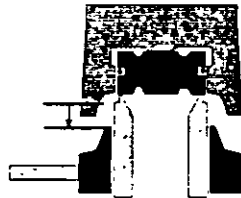
---

---

---

## ANILLO DE AJUSTE EN LA POSICION MAS BAJA

- ◆ RESTRICCIONES MÍNIMAS DEL ÁREA SECUNDARIA.
- ◆ SISEO LARGO
- ◆ NO SE OBTIENE EL LEVANTE NI LA CAPACIDAD.
- ◆ EVITAR ESTE AJUSTE



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 74 de 1-88

---

---

---

---

---

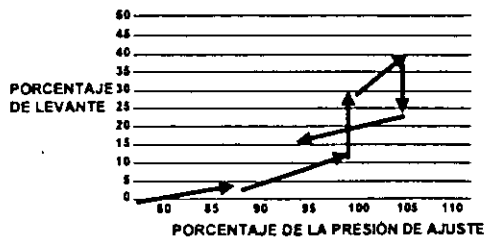
---

---

---

## POSICIÓN DEL ANILLO DE AJUSTE

ANILLO DE AJUSTE EN SU POSICIÓN MÁS BAJA



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 75 de 1-88

---

---

---

---

---

---

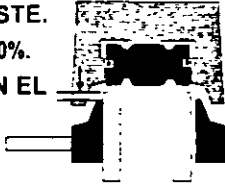
---

---



### POSICIÓN CORRECTA DEL ANILLO

- ◆ PREAPERTURA A 93 - 95% DE LA PRESIÓN DE AJUSTE.
- ◆ DIFERENCIAL DE CIERRE 7-10%.
- ◆ LEVANTE DEL 65-75% EN EL PUNTO DE AJUSTE.
- ◆ APERTURA COMPLETA ANTES DEL 10% DE SOBREPRESIÓN



---

---

---

---

---

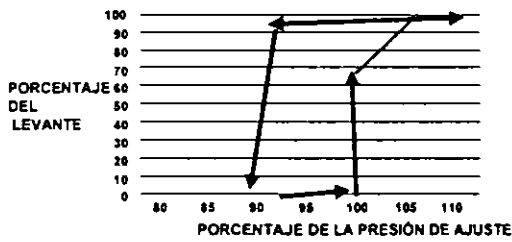
---

---

---

### AJUSTES DEL ANILLO

EFFECTO DEL ANILLO EN LA POSICIÓN CORRECTA



---

---

---

---

---

---

---

---

### ANILLO DE AJUSTE EN LÍQUIDOS

- ◆ POSICIÓN: DE 1 A 3 RANURAS HACIA A BAJO.
- ◆ DIF. CIERRE NO AJUSTABLE (20 - 25%).
- ◆ EL DIFERENCIAL DE CIERRE ESTA EN FUNCIÓN DEL LEVANTE DEL DISCO.
- ◆ LA APERTURA COMPLETA SE OBTIENE AL 10% DE SOBREPRESIÓN.
- ◆ LA PRESIÓN DE AJUSTE SE DETERMINA CUANDO EXISTE UNA DESCARGA CONTINUA (APROX. DIAM. DE UN LÁPIZ).

---

---

---

---

---

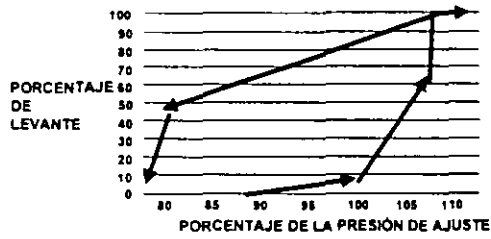
---

---

---

## AJUSTES DEL ANILLO

### EFFECTO DEL ANILLO EN LIQUIDOS



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No 76 de 198

---

---

---

---

---

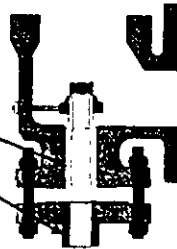
---

---

---

## DISEÑO DE TOBERA

- ◆ BOQUILLA O TOBERA COMPLETA
- ◆ CONTRABRIDA



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No 80 de 198

---

---

---

---

---

---

---

---

## Contra Presión



ES LA PRESIÓN QUE ESTA A LA SALIDA DE LA VALVULA DE RELEVO DE PRESION

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No 81 de 198

---

---

---

---

---

---

---

---

## CONTRAPRESIÓN

- ♦ LA CONTRAPRESIÓN SE PRESENTA CUANDO EXISTE PRESIÓN A LA SALIDA DE LA VÁLVULA.
- ♦ EXISTEN DOS TIPOS: GENERADA Y SOBREPUESTA.
- ♦ LA CONTRAPRESIÓN PUEDE CREAR PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO A LA VÁLVULA DE RELEVO DE PRESIÓN.

SI es de SEGURIDAD es VASESA

no 02 de 140

---

---

---

---

---

---

---

---

## EFFECTOS DE LA CONTRAPRESIÓN

- ♦ LA CONTRAPRESIÓN PUEDE CAUSAR:
- ♦ INCREMENTO DE LA PRESIÓN DE AJUSTE EN VÁLVULAS CONVENCIONALES NO BALANCEADAS (SIN FUELLE).
- ♦ REDUCCIÓN DE LA CAPACIDAD.
- ♦ INESTABILIDAD Y TRAQUETE. ATAQUE CORROSIVO A LOS COMPONENTES DEL BONETE.

SI es de SEGURIDAD es VASESA

no 02 de 140

---

---

---

---

---

---

---

---

Contrapresión Generada

↑ DESCARGA



LA VRP ESTA ABIERTA Y  
ESTA DESCARGANDO

SI es de SEGURIDAD es VASESA

no 04 de 140

---

---

---

---

---

---

---

---

## CONTRAPRESIÓN GENERADA

- ♦ LA PRESIÓN QUE SE ORIGINA A LA SALIDA, DEBIDO AL FLUJO DE LA APERTURA DE LA VRP ES CONOCIDA COMO CONTRAPRESIÓN GENERADA.
- ♦ PUEDE CAUSAR PROBLEMAS DE TRAQUETE O INESTABILIDAD EN LA OPERACIÓN.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 06 de 10

---

---

---

---

---

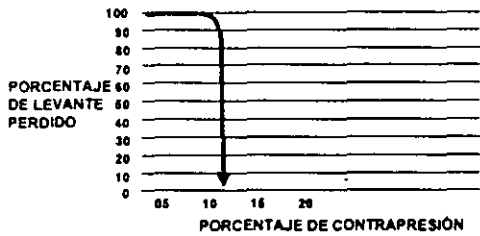
---

---

---

## CONTRAPRESIÓN GENERADA

### EFFECTO EN VÁLVULAS CONVENCIONALES



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 06 de 10

---

---

---

---

---

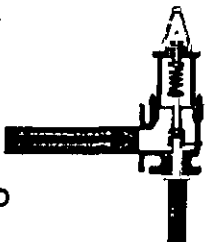
---

---

---

## CONTRAPRESIÓN SOBREPUESTA

- ♦ A LA PRESIÓN EXISTENTE A LA SALIDA DE LA VÁLVULA ANTES DE QUE ESTA DISPARE SE LLAMA CONTRAPRESIÓN SOBREPUESTA.
- ♦ PUEDE SER CONSTANTE O VARIABLE.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 07 de 10

---

---

---

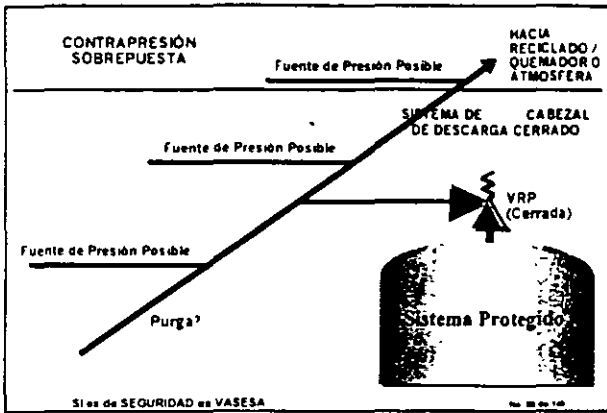
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

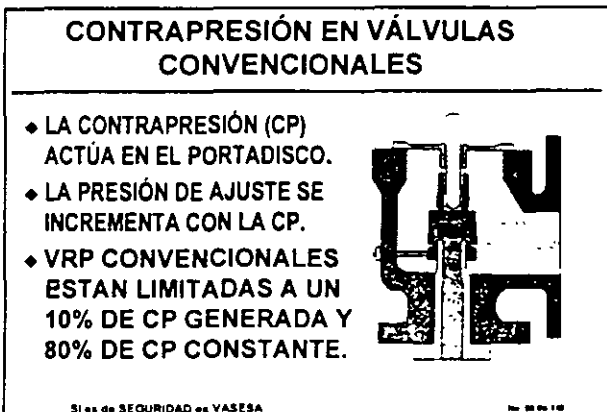
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

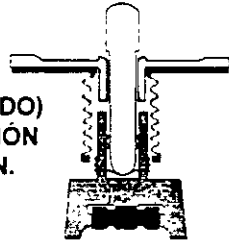
---

---



## CONTRAPRESIÓN VARIABLE

- ◆ EL FUELLE (BALANCEADO) COMPENSA LA VARIACIÓN DE LA CONTRAPRESIÓN.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 34 de 18

---

---

---

---

---

---

---

---

## ¿CÓMO TRABAJA EL FUELLE?

- ◆ TIENE LA MISMA ÁREA EFECTIVA QUE EL ASIENTO.
- ◆ AISLA LA PARTE SUPERIOR DEL PORTADISCO.
- ◆ GARANTIZA LA ESTABILIDAD DE LA PRESIÓN DE AJUSTE.

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 35 de 18

---

---

---

---

---

---

---

---

## VÁLVULAS BALANCEADAS

- ◆ LA PRESIÓN DE AJUSTE ES ESTABLE.
- ◆ SE COMIENZA A TENER PÉRDIDA DE LEVANTE AL 30% DE LA CP GENERADA.
- ◆ SI LA CONTRAPRESIÓN ES MUY ALTA, SE PROVOCAN DAÑOS MECÁNICOS AL FUELLE.
- ◆ SI LA CP ES MAYOR AL 50% DE LA PRESIÓN DE AJUSTE, LA VÁLVULA ES INESTABLE.



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 36 de 18

---

---

---

---

---

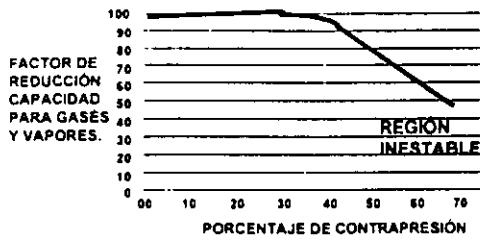
---

---

---

## CONTRAPRESIÓN GENERADA

### EFFECTO EN VÁLVULAS BALANCEADAS



SI es de SEGURIDAD es VASESA

No 07 de 148

---

---

---

---

---

---

---

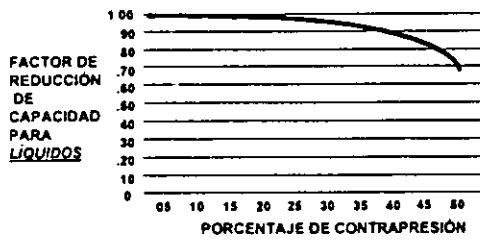
---

---

---

## CONTRAPRESIÓN GENERADA

### EFFECTO EN VÁLVULAS BALANCEADAS (LÍQUIDOS)



SI es de SEGURIDAD es VASESA

No 08 de 148

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## LIMITACIONES DE FUELLES...

- ◆ SI LA CONTRAPRESIÓN ES  $>50\%$ .
- ◆ SI LA REDUCCIÓN DE CAPACIDAD RESULTA EN INSUFICIENTE PROTECCIÓN.
- ◆ SI EXISTE VIBRACIÓN O TRAQUETEO.
- ◆ SI EL BONETE NO PUEDE SER VENTILADO A UN LUGAR QUE NO REPRESENTE RIESGO.
- ◆ SI SE EXCEDEN LOS LÍMITES MECÁNICOS DEL MISMO.

SI es de SEGURIDAD es VASESA

No 09 de 148

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## OTROS USOS PARA LOS FUELLES

- ◆ AISLAR LOS COMPONENTES DE LA CÁMARA DEL BONETE DEL FLUIDO DEL PROCESO, DE LOS VAPORES DE LA DESCARGA Y DE LA CORROSIÓN.
- ◆ ALARGA LA VIDA DEL RESORTE.
- ◆ REDUCE LA CORROSIÓN QUE INDUCE FALLAS.

Si es de SEGURIDAD de VASESA

No. 100 de 100

---

---

---

---

---

---

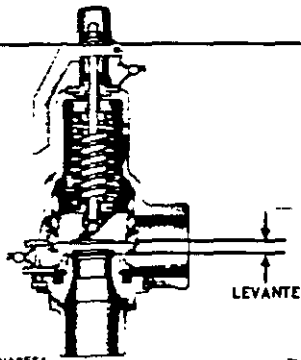
---

---

---

---

## Levante



Si es de SEGURIDAD de VASESA

No. 100 de 100

---

---

---

---

---

---

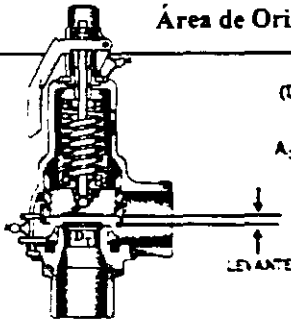
---

---

---

---

## Área de Orificio



$A_n = \text{AREA DE } D_T$   
(DIAMETRO DE TOBERA),  
O  
 $A_c = \text{CIRCUN. DE } D_T \times \text{LEV.}$   
['AREA DE CORTINA']  
EL QUE SEA  
**MENOR**

Si es de SEGURIDAD de VASESA

No. 100 de 100

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Válvula de Seguridad

● LA VRP ACTUA POR LA PRESIÓN ESTÁTICA

● APERTURA RÁPIDA (ACCIÓN DE DISPARO)



● UTILIZADAS EN FLUIDOS COMPRESIBLES (GAS, VAPORES, VAPOR DE AGUA)

---

---

---

---

---

---

---

---

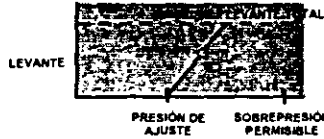
---

---

## Válvula de Alivio

● LA VRP ACTUA POR LA PRESIÓN ESTÁTICA

● ABRE GENERALMENTE EN PROPORCIÓN AL INCREMENTO DE PRESIÓN



● UTILIZADA NORMALMENTE EN FLUIDOS INCOMPRESIBLES (LIQUIDOS)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Válvula de Seguridad-Alivio (VSA)

● UNA VRP QUE PUEDE TRABAJAR TANTO COMO VÁLVULA DE SEGURIDAD O COMO VÁLVULA DE ALIVIO CON UN DESEMPEÑO SATISFACTORIO

---

---

---

---

---

---

---

---

---

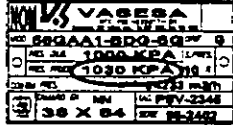
---



## PRESIÓN DE PRUEBA EN FRÍO

### EJEMPLO: ALTA TEMPERATURA.

- ◆ PA 1000 kPa.
- ◆ COMPENSACIÓN POR TEMPERATURA = 3%
- ◆ PPF = 1030 kPa



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 110 de 149

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

RECIPIENTES NO EXPUESTOS A FUEGO DIRECTO

APERTURA COMPLETA: 10% DE SOBREPRESIÓN

PRESIÓN DE CIERRE: 7% A 10% POR DEBAJO DE LA PRESIÓN DE AJUSTE

### TOLERANCIAS

PRESIÓN DE AJUSTE

TOLERANCIAS

DE 103 KPA A 483 KPA:  
(de 15 Lb/pulg<sup>2</sup> A 70 Lb/pulg<sup>2</sup>)

± 14 KPA  
(± 2 Lb/pulg<sup>2</sup>)

DE 484 KPA EN ADELANTE:  
(de 7 Lb/pulg<sup>2</sup> en ADELANTE)

± 3% DE LA PRESIÓN DE AJUSTE

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 110 de 149

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

CALDERAS DE POTENCIA (GENERADORES DE VAPOR)

APERTURA COMPLETA: 3% DE SOBREPRESIÓN

PRESIÓN DE CIERRE 4% POR DEBAJO DE LA PRESIÓN DE AJUSTE

### TOLERANCIAS

DE 103 KPA A 483 KPA  
(de 15 Lb/pulg<sup>2</sup> A 70 Lb/pulg<sup>2</sup>)

± 14 KPA  
(± 2 Lb/pulg<sup>2</sup>)

DE 484 KPA HASTA 2069 KPA  
(de 7 Lb/pulg<sup>2</sup> A 300 Lb/pulg<sup>2</sup>)

± 3% DE LA PRESIÓN DE AJUSTE

DE 2070 KPA A 6896 KPA  
(de 301 Lb/pulg<sup>2</sup> A 1000 Lb/pulg<sup>2</sup>)

± 89 KPA  
(± 10 Lb/pulg<sup>2</sup>)

DE 6897 KPA EN ADELANTE  
(de 1001 Lb/pulg<sup>2</sup> EN ADELANTE)

± 1% DE LA PRESIÓN DE AJUSTE

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 110 de 149

---

---

---

---

---

---

---

---

---

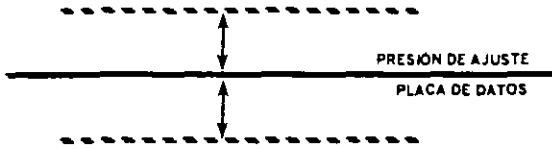
---

---

---

### Tolerancias en la Presión de Ajuste de las VRP

Hasta 70 lb.pul' (4.83 barg) de Ajuste  $\pm 2$  psig (0.14 barg)  
 Sobre 70 lb.pul' (4.83 barg) de Ajuste  $\pm 3\%$



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 114 de 198

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**LA VRP PUEDE SER REAJUSTADA DE LO QUE SE INDICA EN LA PLACA DE DATOS EN  $\pm 5\%$  SIN CAMBIO DE PARTES Y SIN MODIFICAR EL FUNCIONAMIENTO (PROVOCAR INESTABILIDAD, Y NO MODIFICAR EL LEVANTE TOTAL AL 10% DE SOBREPRESIÓN).**

EJEMPLO:

P.AJUSTE EN PLACA = 1000 LB.PUL' [69 barg]

PUEDA SER REAJUSTADA ENTRE =

950 - 1050 LB.PUL' [66-72 barg]

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 114 de 198

---

---

---

---

---

---

---

---

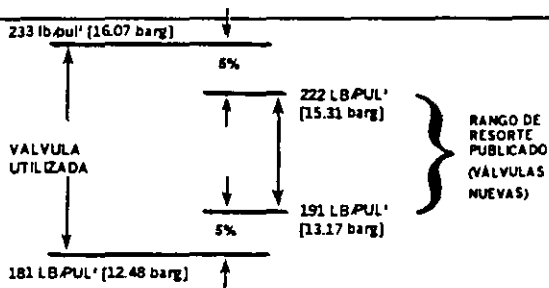
---

---

---

---

### Válvula de Tobera Completa de Resorte 3K4



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 114 de 198

---

---

---

---

---

---

---

---

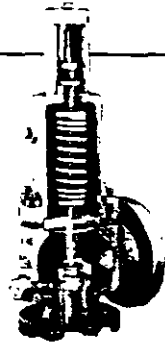
---

---

---

---

Puede ser reajustada en  
 $\pm 5\%$  de lo que marca la  
placa de datos



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 116 de 148

---

---

---

---

---

---

---

---

ASME REQUIRES A LIFT LEVER  
FOR SERVICES ON:

- AIR
- STEAM
- HOT WATER (> 140°F) [> 60°C]

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 116 de 148

---

---

---

---

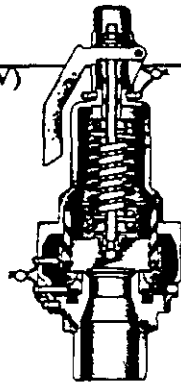
---

---

---

---

Lift Lever  
(Direct Spring PRV)



Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 117 de 148

---

---

---

---

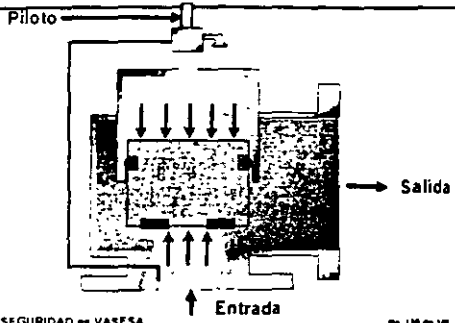
---

---

---

---

Válvulas de Relevo de Presión Operadas por Piloto



SI se de SEGURIDAD de VASESA

de 110 de 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### INSTALACIÓN DE LAS VRP

- ◆ LAS VRP DEBEN CONEXCTARSE LO MÁS CERCA DEL RECIPIENTE QUE PROTEGE.
- ◆ LA INSTALACIÓN DE LAS VRP DEBE SER EN FORMA VERTICAL PARA NO INDUCIR DESALINEAMIENTOS EN LAS SUPERFICIES DE SELLO.
- ◆ LAS TUBERÍAS DE CONEXIÓN DE ENTRADA Y SALIDA A LA VRP DEBEN SER DEL MISMO DIÁMETRO NOMINAL O MAYOR QUE EL DE LAS CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE LA VRP.

SI es de SEGURIDAD es VASESA

De 12 de 14

---

---

---

---

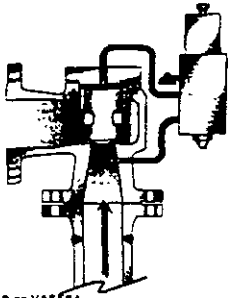
---

---

---

---

El área de la tubería de entrada debe ser por lo menos del mismo valor que el de la entrada de la válvula



SI es de SEGURIDAD es VASESA

De 12 de 14

---

---

---

---

---

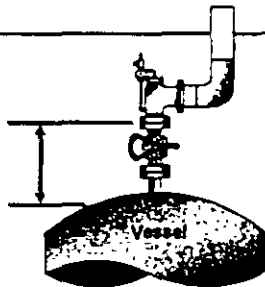
---

---

---

INLET PIPING PRESSURE DROP MUST NOT REDUCE PRD CAPACITY BELOW THAT REQUIRED OR ADVERSELY AFFECT PRV OPERATION.

(NOT 3% MAXIMUM)



SI es de SEGURIDAD es VASESA

De 12 de 14

---

---

---

---

---

---

---

---



### INSTALACIÓN DE LAS VRP

- ♦ LA PÉRDIDA DE PRESIÓN MÁXIMA ENTRE EL RECIPIENTE Y LA VRP NO DEBE SER MAYOR DEL 3% DE LA PRESIÓN DE AJUSTE.
- ♦ NO DEBEN CONECTARSE PROCESOS LATERALES EN LA TUBERÍA DE CONEXIÓN HACIA LA VRP.



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### INSTALACIÓN DE LAS VRP

- ♦ NO SE RECOMIENDA CONECTAR VÁLVULAS DE BLOQUEO EN LA TUBERÍA DE ENTRADA DE LA VRP.
- SI SE CONECTA
- ▶ DEBE SER DE PASO COMPLETO
  - ▶ SE DEBE PODER ASEGURAR EN LA POSICIÓN ABIERTA
  - ▶ SI SE CIERRA, UNA PERSONA DEBE MONITOREAR EL SISTEMA EN TODO MOMENTO MIENTAS PERMANEZCA CERRADA.



---

---

---

---

---

---

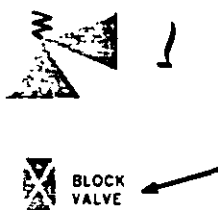
---

---

---

---

### Block Valves are Permitted for Inspection or Maintenance Only



FULL AREA

LOCKED IN OPEN POSITION

IF CLOSED - PERSON SHALL REMAIN AT VALVE TO MONITOR SYSTEM PRESSURE

---

---

---

---

---

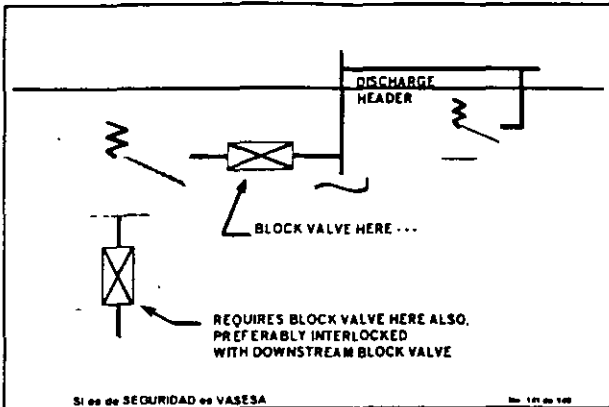
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**PRD Discharge Piping**

- MUST NOT REDUCE PRD CAPACITY BELOW THAT REQUIRED
- MUST NOT ADVERSELY AFFECT THE PRV OPERATION

SI es de SEGURIDAD es VASESA

No. 102 de 100

---

---

---

---

---

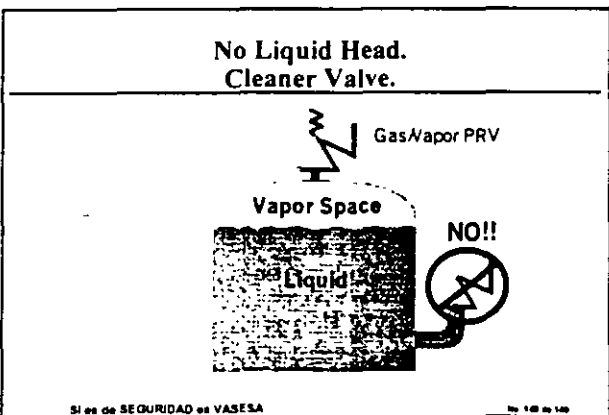
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

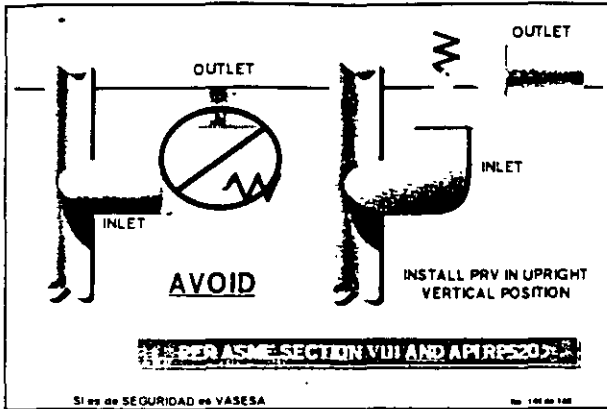
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Liquid Service**

EFFECTIVE 1-1-85, PRV'S FOR ALL LIQUID SERVICE MUST HAVE CAPACITY AND OPERATION CERTIFIED ON WATER. VALVE MANUFACTURER MUST:

- SET THE VALVE ON WATER.
- STAMP NAMEPLATE CAPACITY IN 'GPM WATER'.
- ONLY 10% OVERPRESSURE IS ALLOWED (NOT PREVIOUS 25%).

SI ee de SEGURIDAD ee VASESA No. 148 de 148

---

---

---

---

---

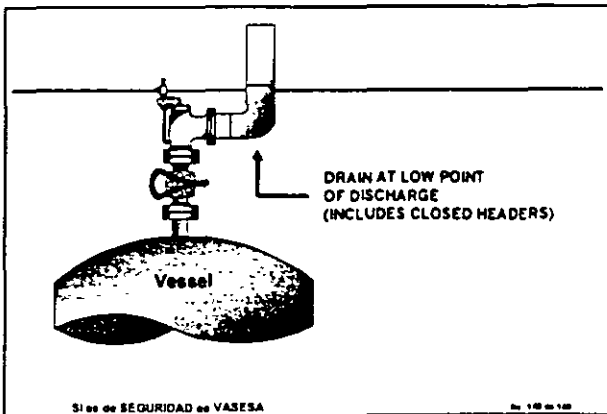
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### INSTALACIÓN DE LAS VRP

- ◆ LAS VRP NO DEBEN INSTALARSE EN DONDE EXISTAN TURBULENCIAS, POR EJEMPLO DESPUÉS DE VÁLVULAS REGULADORAS O DE GLOBO, CODOS AMORTIGUADORES DE PULSACIONES, ETC.
- ◆ EN ESTOS CASOS LA VRP SE INSTALA A UNA DISTANCIA DE 10 A 25 VECES EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE LA FUENTE DE PRESIÓN COMO MÍNIMO.

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 147 de 148

---

---

---

---

---

---

---

---

### INSTALACIÓN DE LAS VRP

- ◆ PARA VÁLVULAS BALANCEADAS (CON FUELLE) EL BONETE DEBE ESTAR VENTILADO, YA QUE SI SE TAPA LA CONEXIÓN DEL BONETE PUEDE CAUSAR GRAVES DAÑOS AL FUELLE Y CAUSAR PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO A LA VRP.

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 148 de 148

---

---

---

---

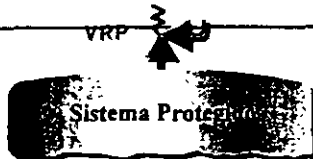
---

---

---

---

### La VRP Ideal



- SIN FUGAS HASTA LA PRESIÓN DE AJUSTE
- ABRE A LA PRESIÓN DE AJUSTE
- RELEVA SOLO LA PRESIÓN RECIBIDA EN EL SISTEMA PROTEGIDO
- ESTABLE DURANTE EL CICLO DE RELEVO
- RECIERRA A LA PRESIÓN DE AJUSTE (OY, DIFERENCIA DE CIERRE (BLOWDOWN))

Si es de SEGURIDAD es VASESA

No. 149 de 148

---

---

---

---

---

---

---

---



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

**MÓDULO II: MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS DE  
POTENCIA**

**TEMA:**

**CUIDADO DE CALDERAS E INSTALACIONES TÍPICAS**

**ING. GIL ZARATE AGUILAR  
PALACIO DE MINERÍA  
ENERO – FEBRERO 2000**

# DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN

## MODULO II MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS DE POTENCIA

### TEMA 2: CUIDADO DE CALDERAS.

#### Contenido:

- a) Procedimiento para la puesta en marcha de calderas.
- b) Precauciones durante el proceso de arranque.
- c) Indicadores importantes en la operación de calderas.
- d) Recomendaciones para el cuidado de las calderas.

Antes de iniciar el desarrollo del tema, les quiero mostrar a través de diapositivas, lo que le sucede a las calderas al no tener cuidado en su operación y/o mantenimiento.

Vamos a dar inicio a nuestro tema, considerando que tenemos instalada una caldera nueva tipo tubos de fuego y que ya fue probada en fábrica. Además que tiene su equipo auxiliar completo y que durante su montaje e instalación, se cumplió con los siguientes requisitos:

**Requisitos legales.** Actualmente se tiene la norma oficial mexicana NOM-122-STPS-1996. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor ó calderas que operen en los centros de trabajo.

#### Puntos a considerar:

- 1.- Tener por escrito un manual de seguridad e higiene para la operación y mantenimiento de la caldera, sus accesorios y dispositivos.
- 2.- La caldera debe ser instalada en lugares en donde los riesgos sean mínimos.

3.- La caldera se encuentre en piso firme y nivelado capaz de soportar el peso muerto de la misma.

4.- El equipo debe de estar libre de impactos, con suficiente ventilación. Para una ventilación adecuada, el cuarto de calderas deberá estar provisto de áreas de escape de aire caliente en la parte superior del cuarto de calderas, y de áreas para la admisión de aire fresco, necesario para ventilación del mismo y para la combustión.

5.- Debe contar con iluminación general y complementaria:

En caldera 60 Luxes como mínimo.

En quemador 100 Luxes como mínimo.

En cabezal de vapor 60 Luxes como mínimo.

Área de manómetros 100 Luxes como mínimo.

6.- Espacio mínimo de 1.5 m entre el techo y la parte más alta de la caldera.

7.- Espacio mínimo de 1.0 m alrededor de la caldera.

### **Requisitos técnicos del equipo.**

1.- Tener espacio suficiente ya sea por la parte delantera o trasera, para poder cambiar los tubos flux.

2.- Es necesario que el cuarto de calderas cuente con un sistema de drenaje, con registros en: centro de la caldera, en la zona del equipo suavizador y en las trincheras en caso de que existan.

3.- Para la descarga de las purgas, se recomienda un tanque separador centrífugo o una fosa de purgas.

4.- Dentro del tablero de la caldera tener una copia del diagrama eléctrico de la misma.

## **REVISIÓN DE LA INSTALACIÓN**

La Instalación comprende:

### **1.- Sistema de alimentación de agua.**

1.1.- Toma de agua a una presión de 2 a 3 Kg/cm<sup>2</sup> ( ver manómetro )

1.2.- Equipo suavizador de agua ( simple o doble )

1.3.- Tanque de condensados con sus accesorios y altura adecuada, para producir así una carga positiva en la succión de la bomba y evitar la evaporación del agua al funcionar ésta. Se sugieren las siguientes alturas del tanque de condensados con respecto a la línea de centros de la bomba, cuando la temperatura del agua exceda a 82°C (180°F).

Temperatura en °C	Altura en m.
82 a 93	1.80 o más
93 a 96	2.40 o más
96 a 100	3.90 o más

1.4.- Bomba de alimentación de agua. La conexión entre el tanque de condensados y la bomba, deberá ser de por lo menos el mismo diámetro de succión de la bomba, teniendo un filtro lo mas cercano a ésta y una válvula tipo compuerta.

1.5.- Tubería de alimentación de agua desde la bomba hasta la toma de la caldera conservando el mismo diámetro de descarga de la bomba; Además debe contar con una válvula tipo globo lo mas cercano a la caldera y junto a ésta una o dos válvulas de retención.

## **2.- Sistema de alimentación de combustible.**

### **2.1.- Utilizando combustóleo.**

2.1.1.- Tanque(s) de almacenamiento general. Su instalación se rige por la norma oficial mexicana NOM-005-STPS-1993

2.1.2.- Bomba de trasiego. Tubería aislada con la tubería que conduce el vapor para el precalentador del tanque de combustóleo.

2.1.3.- Tanque de día.

2.1.4.- Bomba de alimentación de combustible al quemador de la caldera, incluye filtro en la succión y válvulas de control manual.

2.1.5.- Precalentador de vapor y eléctrico ( pueden estar separados o en una sola pieza ), con accesorios y controles para el control automático del vapor y de la temperatura la cual se eleva a 93°C, esta temperatura puede variar dependiendo del tipo de quemador.

2.1.6.- Línea de atomización, dependiendo del fabricante de la caldera, ésta puede ser con aire o vapor.

2.1.7.- Se utiliza piloto de gas L.P. o natural.

### **2.2.- Utilizando gas natural. ( Las instalaciones de gas natural se rigen por la norma oficial mexicana NOM-SECRE-002-1997 ).**

2.2.1.- En la caseta que esta dentro de las instalaciones de la empresa se regula el gasto y la presión requerida; Se conduce hasta el cuarto de calderas.



2.2.2.- Dentro del cuarto de calderas, se tiene: Una válvula de corte manual, un manómetro de rango adecuado y un regulador que nos baja la presión del gas a la requerida por el quemador.

2.2.3.- Después del regulador esta el tren principal de gas y el quemador.

2.2.4.- Se utiliza piloto de gas natural.

**2.3.- Utilizando gas L.P. ( Las instalaciones de gas L.P. se rigen por el proyecto de norma oficial mexicana NOM-004-SEDG-1998, D.O. del 20 de enero de 1999.**

2.3.1.- Tanque(s) de almacenamiento.

2.3.2.- Vaporizador(es) con su tanque trampa. (Si son necesarios)

2.3.3.- Banco de regulación. Se baja la presión del gas L.P. normalmente a 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

2.3.4.- Se conduce el gas L.P. a la presión mencionada hasta dentro del cuarto de calderas.

2.3.5.- Dentro del cuarto de calderas se tiene un segundo regulador llamado de 2a. Etapa que baja la presión del gas L.P. a la requerida por el quemador de la caldera.

2.3.6.- Antes del regulador mencionado, se encuentra instalada una válvula de corte manual, un filtro y un manómetro de rango adecuado.

2.3.7.- Después del regulador de 2a. Etapa, se encuentra el tren principal de gas L.P. y el quemador de la caldera.

2.3.8.- Se utiliza piloto de gas L.P.

**2.4.- Utilizando diesel o gasóleo.**

2.4.1.- Tanque(s) de almacenamiento general. Su instalación se rige por la norma oficial mexicana NOM-005-STPS-1993.

2.4.2.- Bomba de alimentación de combustible al quemador. Entre la bomba y el tanque va instalada una válvula de corte manual y un filtro; A la descarga de la bomba va un manómetro de rango adecuado y dependiendo del tamaño y tipo de quemador va una válvula de alivio con línea de retorno de combustible.

2.4.3.- Dependiendo del fabricante y del tamaño del quemador; Se puede atomizar mecánicamente, con aire o vapor.

2.4.4.- Dependiendo del tamaño del quemador puede llevar piloto de gas L.P. o de diesel.

### **3.- Sistema de salida de gases.**

- 3.1.- Termómetro de 100 a 500°C con carátula del diámetro adecuado.
- 3.2.- Chimenea del mismo diámetro al de la caldera y altura adecuada.
- 3.3.- Puertos de muestreo de acuerdo al instructivo CCAT-FF-001 de la SEDESOL.
- 3.4.- Plataforma ( si es necesario ).

### **4.- Sistema de purgas.**

- 4.1.- La(s) purga(s) de fondo deben contar con una válvula de cierre lento tipo " Y " , y una válvula de cierre rápido seleccionadas a la presión adecuada. Instaladas en el orden descrito a partir de la salida de la caldera.
- 4.2.- En la purga de la columna de nivel, va una válvula tipo globo seleccionada a la presión adecuada.
- 4.3.- Las descargas de la purga del cristal de nivel y la purga del tren de controles, se pueden unir y conectarse en la tubería de descarga de la columna de nivel.
- 4.4.- La descarga de la purga de la columna de nivel, se puede unir a la descarga de la(s) purga(s) de fondo.
- 4.5.- La descarga de la(s) purga(s) de fondo, va a una fosa o a un tanque separador centrifugo.

### **5.- Sistema de energía eléctrica.**

- 5.1.- Para el correcto funcionamiento del equipo eléctrico, es conveniente que el voltaje se mantenga lo más constante posible. Esto es de vital importancia para el circuito de control, el cual no admite variaciones en + o - 10% de los 110 volts nominales.
- 5.2.- Para el correcto funcionamiento y protección del control programador, se utiliza un transformador tipo seco de ½ KVA de 220 o 440 V a 110 V.
- 5.3.- Todos los motores deben estar protegidos con arrancadores magnéticos.

## **6.- Sistema de vapor**

6.1.- Inmediatamente después de la salida de vapor de la caldera, va una válvula tipo globo seleccionada para la presión adecuada. Toda tubería de vapor deberá estar debidamente aislada y dependiendo de su longitud tendrá juntas de expansión.

6.2.- En sistemas intercomunicados de vapor con igual presión de trabajo, se deben instalar válvulas de retención a la salida de cada caldera y cuando haya diferentes presiones instalarlas en las calderas de baja presión.

6.3.- Si se utiliza cabezal de vapor, deberá de contar con: Válvula de seguridad, manómetro de rango adecuado, trampa de vapor con descarga al tanque de condensados. Además estará aislado.

6.4.- La descarga de la(s) válvula(s) de seguridad serán independientes y deben soportarse en una forma tal que evite cualquier esfuerzo sobre la(s) válvula(s).

Antes de iniciar el proceso de arranque se recomienda, destapar la caldera por ambos lados y realizar una prueba hidrostática a la presión de diseño, además revisar los refractarios para verificar que no sufrieron ningún daño durante el transporte y montaje de la misma.

A continuación, veremos como se realiza una prueba hidrostática de acuerdo a la sección No. I del código ASME.

## **PROCEDIMIENTO PARA LA PUESTA EN MARCHA DE CALDERAS Y PRECAUCIONES DURANTE EL PROCESO DE ARRANQUE**

- 1) Realizar una inspección ocular a todo el exterior de la caldera, para verificar que no haya sufrido algún daño en su cuerpo o en alguno de sus controles y accesorios, durante el transporte y montaje.
- 2) Revisar que haya energía eléctrica en el tablero de control de la caldera y en el arrancador de la bomba de agua (voltaje adecuado).
- 3) Revisar que el acoplamiento entre el motor y la bomba de agua se encuentre debidamente alineado.
- 4) Revisar el sentido de la rotación del ventilador, bomba de agua y en su caso de la bomba de combustible que sea el adecuado.

- 5) Revisar que el tanque de condensados tenga agua y que este al nivel adecuado.
- 6) Revisar que todas las válvulas de alimentación de agua estén abiertas, retirar el manómetro en la descarga de la bomba para verificar que circula el agua y eliminar el aire que había en la tubería tanto de succión como de descarga. Cuando salga agua sin burbujas colocar de nuevo el manómetro.
- 7) Revisar que la presión de agua a la entrada del equipo suavizador sea la adecuada ( 2 a 3 Kg/cm<sup>2</sup> ).
- 8) Abrir la válvula de venteo de la caldera.
- 9) Revisar que las válvulas de purga de fondo, purga de columna de nivel, purga del cristal de nivel, purga del tren de controles, salida principal de vapor y purga de superficie ( si cuenta con ella ), estén cerradas.
- 10) Retirar la tapa del control principal de nivel, revisar que no este obstruido el flotador y que las cápsulas de mercurio estén en buen estado y en su lugar.
- 11) Verificar que los grifos de prueba del control principal de nivel estén cerrados.
- 12) Verificar que las válvulas del cristal de nivel estén abiertas.
- 13) Revisar que el control de presión límite y el control de presión modulante estén ajustados a la presión que va trabajar la caldera, así como su diferencial.
- 14) Revisar en la placa de la(s) válvula(s) de seguridad la presión a la cual esta calibrada. Ésta debe ser mayor a la presión de trabajo pero no mas que la presión de diseño.
- 15) Revisar el electrodo de ignición que no se haya dañado durante el transporte y montaje de la caldera.
- 16) Verificar que el voltaje que está recibiendo el motor modutrol sea el adecuado ( 24 V ).

- 17) Arrancar la bomba de alimentación de agua colocando el selector de tres posiciones, en automático, verificando el amperaje del motor.
- 18) Verificar que la bomba esta inyectando agua dentro de la caldera, sintiendo el paso en la tubería de descarga de la misma. También se puede verificar tocando la descarga de la válvula de venteo o escuchar el ruido que produce el aire al salir de la caldera.
- 19) Revisar la tubería y conexiones del agua de alimentación para corregir posibles fugas.
- 20) Observar en la mirilla de cristal, el nivel del agua dentro de la caldera y marcar el nivel cuando se pare la bomba automáticamente. Este nivel normalmente es de 63 mm medido a partir de su base.
- 21) Purgar la caldera por el fondo, marcar en la mirilla de cristal, el nivel donde arranca la bomba automáticamente. Aproximadamente es de 44 mm medido a partir de su base.
- 22) Colocar el selector de la bomba de agua en la posición de apagado y seguir purgando la caldera por el fondo, marcar en la mirilla de cristal, el nivel de corte del quemador ( actúa una alarma auditiva ). Aproximadamente es de 38mm medido a partir de su base.
- 23) Verificar que el control de baja presión de aire para la combustión este ajustado a la presión requerida y que funcione correctamente.
- 24) De acuerdo al tipo de combustible, revisar que no estén bloqueados los controles eléctricos de seguridad con que cuenta la caldera.

**A.- Utilizando gas natural o L.P.**

- Control por baja presión de gas.
- Control por alta presión de gas.

**B.- Utilizando combustóleo.**

- Microswitch de arranque.

- Control por baja presión de aire para atomización.
- Control por baja presión de combustible.
- Control por baja temperatura de combustible.
- Control por alta temperatura de combustible.

**C.- Utilizando diesel o gasóleo.**

- Microswitch de arranque.
- Control por baja presión de aire para atomización.
- Control por baja presión de combustible.

25) Abrir todas las válvulas manuales de alimentación de combustible desde el tanque de almacenamiento hasta el quemador de la caldera.

26) Si se utiliza retorno de combustible, también abrir todas las válvulas.

27) Abrir la válvula manual que alimenta el gas al piloto, verificar la presión la cual debe ser de 5 a 10 pulgadas columna de agua.

28) Cuando se utiliza combustóleo, en algunas calderas el arranque en frío se hace con diesel y se atomiza con aire; Ya que se tiene vapor a  $3 \text{ Kg/cm}^2$ , se abren todas las válvulas manuales que controlan el paso de vapor a: tanque de almacenamiento general y tanque de día, al llegar a las temperaturas recomendadas (  $30^\circ \text{ C}$  en el tanque de almacenamiento general y  $60^\circ \text{ C}$  en el tanque de día ), se arranca la bomba de trasiego para circular el combustóleo entre el tanque general y el de día.

Se apaga la caldera y se abren las válvulas del combustóleo que hay entre el tanque de día y el quemador, se cierran las válvulas del diesel.

Se arranca la bomba de alimentación de combustible para circular el combustóleo entre el tanque de día y el quemador, se abre la válvula que controla el paso del vapor al precalentador y se enciende el precalentador eléctrico para elevar la temperatura del combustóleo a  $93^\circ \text{ C}$  y pueda funcionar el quemador. Algunas calderas atomizan con vapor en este momento se hace el cambio.

29) En las calderas que utilizan combustibles líquidos y que tienen línea de retorno, se puede poner a funcionar la bomba de combustible para revisar y ajustar las presiones requeridas por el quemador de la caldera.

Presión de combustible líquido recomendada en operación de alta alimentación, utilizando atomización con aire o vapor:

Presión de abastecimiento: 5.0 Kg/cm<sup>2</sup>

Presión de entrada al quemador: 2.5 a 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>

Presión de retorno: Aprox. 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> de diferencia con respecto a la presión de entrada.

Presión de atomización con aire:

Sin flujo de combustible la presión mínima es de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>

Con combustible en fuego bajo sube a 0.80 Kg/cm<sup>2</sup>

Con combustible en fuego alto no debe sobrepasar los 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>

Presión de atomización con vapor: Dentro del rango de 0.8 a 1.4 Kg/cm<sup>2</sup>

La presión de combustible líquido utilizando atomización mecánica es de 7 Kg/cm<sup>2</sup>.

- 30) La presión de combustible en calderas que utilizan gas L.P. o natural, es baja y depende del tamaño del quemador y del lugar donde este instalado. Se mide en pulgadas columna de agua, en onzas/ pulg<sup>2</sup> o en gr./cm<sup>2</sup>
- 31) Todos los valores de presión y temperatura mencionados en los puntos anteriores se dan como referencia para poder arrancar la caldera. Los valores reales nos lo dará el análisis de gases que se hace a la caldera en operación para dejarla dentro de norma.
- 32) Hasta este punto se tiene la caldera lista para iniciar el proceso de arranque.
- 33) Encender la caldera iniciando el ciclo del control de flama modulante, el cual tiene la siguiente secuencia:
  - Se energiza el motor del ventilador y el motor modutrol iniciando un tiempo de prepurga que tiene una duración de 70 segundos, en este lapso la compuerta del aire pasa de fuego bajo a fuego alto y viceversa.
  - A los 70 segundos se energiza el transformador de ignición y la válvula solenoide del piloto de gas, estableciéndose el encendido del piloto.
  - La fotocelda registra la señal de la flama del piloto. Periodo no mayor a 10 segundos.

- Se energiza la válvula principal de combustible, encendiendo la caldera.
- Después de un período de 15 segundos para verificar la presencia de la flama principal, se apaga el piloto.
- A los 105 segundos se tiene el fin del ciclo de encendido, el programador se para. El quemador modula hasta que la carga de demanda es satisfecha, regresando a fuego bajo.
- Para el quemador. Hay un periodo de pospurga cortándose la corriente al motor del ventilador a los 120 segundos.
- El sistema queda listo para iniciar otro ciclo.

34) Ya que se tiene la caldera encendida se mantiene en fuego bajo y se le da un calentamiento inicial lento de la siguiente manera:

Trabaje la caldera por 10 minutos y apágela por 5 minutos, repita lo anterior tres veces más. Después déjela trabajando en fuego bajo hasta que llegue a una presión de vapor de 3.0 Kg/cm<sup>2</sup>, Durante este periodo se recomienda apretar nuevamente los registros pas-mano, el registro pasa-hombre y las tapas de la caldera. Posteriormente se puede pasar a automático, verificando que se apague la caldera a la presión a la cual está ajustado el control de presión límite.

35) Se recuerda que cuando empieza a salir vapor por la válvula de venteo, ésta se cierra.

36) Antes de que una caldera nueva sea puesta en servicio, debe limpiarse cuidadosamente a fin de eliminar la grasa y otras materias orgánicas, óxidos, escamas de laminación, fundentes de soldadura y cualquier otro material inherente a la fabricación y al montaje.

El objetivo a lograr durante la limpieza de una caldera nueva es producir una superficie metálica limpia en todas las partes de la misma que están en contacto con el agua y el vapor durante la operación.

Se recomienda que ésta limpieza química la realice la compañía que esta a cargo del tratamiento del agua.

37) Después que se realizo el lavado químico, se arranca la caldera hasta que pare por presión. Abra lentamente la válvula principal de salida de vapor y verifique que la caldera encienda a la presión que esta ajustado el diferencial del control de presión límite.



38) Verifique que actúan las protecciones de seguridad de la caldera, las cuales son:

**-Paro por alta presión de vapor.-** Esta prueba se realizó en el punto No. 34

**-Paro por bajo nivel de agua.-** Estando la caldera en operación, apagar la bomba de agua y purgar la caldera por el fondo. Viendo la mirilla de cristal revisar que el quemador se apague en el nivel que tenemos marcado por corte de bajo nivel.

**- Paro por falla de flama.-** Teniendo en operación la caldera, retirar la fotocelda del quemador y tapanla, dependiendo del control de flama y del tipo de detección, la caldera debe apagarse en un tiempo corto ( seg. ).

39) Por ultimo, verificar o en su caso ajustar que la caldera este bien carburada desde fuego bajo hasta fuego alto, tomando lecturas de los gases con equipo autorizado por SEMARNAP. La norma oficial mexicana que rige es la NOM-085-ECOL-1994 en su tabla No. 5

40) Caldera lista para su operación normal.

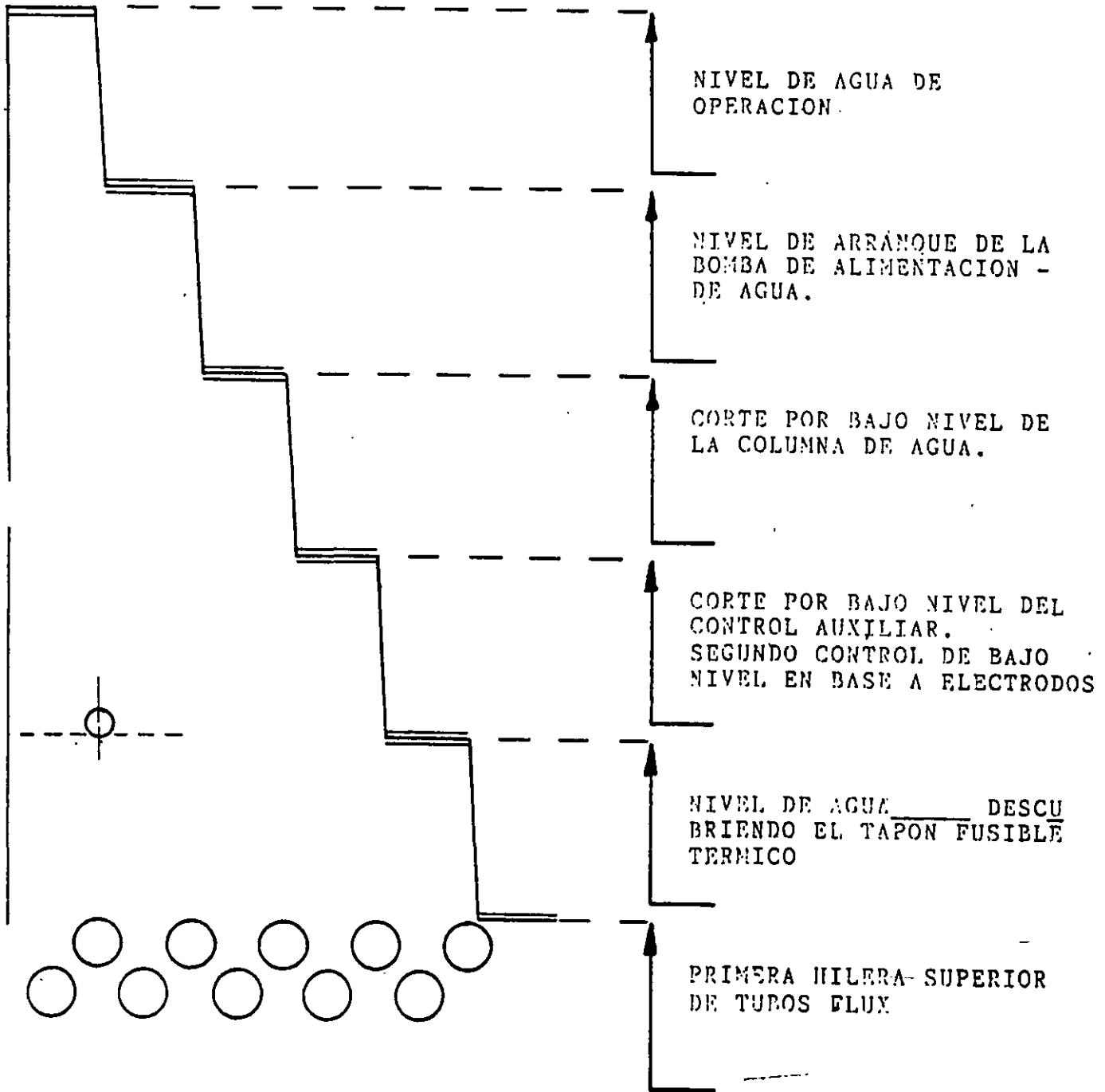
## **INDICADORES IMPORTANTES EN LA OPERACIÓN DE CALDERAS**

### **I.- CONTROL DE NIVEL.**

Se puede decir que éste es uno de los controles más importantes de las calderas, el tipo de control más usual es el de cápsulas de mercurio líquido.

En la parte superior trae una cabeza donde van alojadas dos cápsulas de mercurio, una es de dos hilos la cual controla la bomba que alimenta el agua a la caldera; La otra cápsula es de tres hilos, es la que manda cortar el quemador y activa una alarma sonora al mismo tiempo cuando ocurre un bajo nivel dentro de la caldera.

Como la falla de éste control es la causa más frecuente de siniestros hoy en día, algunos fabricantes de calderas, además del control principal de nivel le instalan un segundo control del tipo de varillas; Y hasta un tercer control: el tapón fusible ( en si éste es un indicador ).



CALISE

La práctica ha demostrado que estos intentos de doble protección no son la solución. Si no se purga correctamente la columna de nivel y al lavarse interiormente la unidad, no se hace con esmero ni se inspeccionan cuidadosamente las condiciones reales de funcionamiento de sus partes, por mas controles que se instalen va a ocurrir la falla.

## **2.- MANÓMETRO PRINCIPAL DE VAPOR.**

La caldera debe tener un manómetro graduado en Kg/cm<sup>2</sup>, Kpa o bar, éste manómetro se calibrará periódicamente, está instalado en la zona de vapor y forma parte de lo que se llama tren de controles. Cuidar que la presión de trabajo se ubique dentro del tercio medio de la carátula y que ésta sea del tamaño adecuado al tamaño de la caldera, para poder leer desde el frente de la caldera la presión del vapor sin ningún problema.

Para especificar un manómetro se requiere:

- Rango de la presión
- Diámetro de carátula
- Posición de la conexión
- Diámetro de la conexión
- Tipo de fluido que va a manejar

## **3.- CONTROL DE FLAMA**

En la actualidad, el tipo de control y de detección de flama se rige por la norma oficial mexicana NOM-027-SEDG-1996:

Los fabricantes de calderas deben de cumplir con esta norma. Toda la norma se resume a dos tablas:

Tabla 1.- Clases de controles de seguridad de flama según el ciclo de trabajo.

Tabla 2.- Sistemas de detección de flama.

Esta norma tiene algunas fallas, como son:

Acepta calderas que trabajen solo con una flama hasta capacidades de 70 c.c.

Acepta calderas que utilicen varilla detectora como medio de detección hasta capacidades de 473 c.c.

A continuación se presenta una tabla de controles de flama de la marca Honeywell ( más común en calderas ), donde se indica dentro de que clase entran de acuerdo a la norma y de acuerdo a la practica, hasta que capacidad de caldera se recomiendan.

NOM-027-SE/SG-1996

SISTEMA DE DETECCION DE FLAMA

SISTEMA	TIPO	COMBUSTIBLE	CAPACIDAD MAXIMA Ms/hr (Kcal/hr) (C.C.)	MAR
AI.	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE CADMIO	DIESEL.	1675 (400,000) (47.34)	HON
BL	TUBO ELECTRONICO AL VACIO (FOTODIODO)	DIESEL	8375 (2'000,000) (236.70)	HON
BG	VARILLA DETECTORA DE IONIZACION DE FLAMA	GAS	16750 (4'000,000) (473.37)	HON
CDN	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE PLOMO SIN AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	16750 (4'000,000) (473.37)	HON
DDN	FOTOTUBO SENSIBLE A RADIACION ULTRAVIOLETA SIN AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	16750 (4'000,000) (473.37)	HON
CDD	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE PLOMO CON AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	SIN LIMITE	HON
DDD	FOTOTUBO SENSIBLE A RADIACION ULTRAVIOLETA CON AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	SIN LIMITE	HON

NOTA: A PARTIR DE INSTALACIONES CUYA CAPACIDAD DE LIBERACION DE CALOR SOBRE PASE LOS 157 (37,500 Kcal/hr) (4.44 C.C.), INDEPENDIEMENTE DEL TIPO DE COMBUSTIBLE QUE UTILICEN; SE DEBERA DE UTILIZAR CONTROL DE SEGURIDAD CONTRA FALLA DE FIAMA CON DETECCIÓN DE FLAMA POR MEDIOS ELECTRONICOS (NO TERMICO)

**CONTROLES DE FLAMA MARCA HONEYWELL MÁS COMUNES PARA CALDERAS**

Modelo	Servicio	Respuesta a falla de flama	Base	Fotocelda	Amplificador	Pre-purga Seg.	Post-purga Seg.	Combustible	Recomendado para caldera c.c.	
RA890F1346 (Clase 2 B) <i>12 p.e.</i>	Una o dos flamas	3.0 segundos	Q270A1024	C7013A1003 Rectificación	Integrado			Diesel	Hasta 40	
				Varilla Detectora				Gas	Hasta 20	
RA890G1260 (Clase 2 A) <i>9 p.e.</i>	Una o dos flamas	3.0 segundos	Q270A1024	C7027A1023 (Ultravioleta)	Integrado			Gas	Hasta 40	
R4795A1016 (Clase 8 B) <i>(71 p.e.)</i>	Una o dos flamas	0.8 segundos	Q270A1024	C7013A1003 Rectificación	R7289A1012 (Color verde)	7,10,30,60 o 90		Diesel	Hasta 60	
				C7027A1023 (Ultravioleta)	R7290A1019 (Color violeta)			Gas		
R4140L1147 (Clase 14 A)	Modulante (Levas)	2 a 4 segundos	Q520A1089	C7015A1076 (Infrarroja)	R7248A1004 (Color rojo)	60	15	Líquido	80 cc en adelante	
R4140G1171 (Clase 14 A)	Modulante (Levas)	2 a 4 segundos	Q521A1089	C7027A1023 (Ultravioleta)	R7249A1003 (Color violeta)	70	25	Gas		
* CB-20 (R4140G1023) (Clase 14 A)	Modulante (Levas)	2 a 4 segundos	Q520A1170	C7015A1118 (Infrarroja)	R7248A1046 (Color rojo)	72	16	Todos		
BC7000L1000 (Clase 14 A) (1)	Modulante (Electrónico)	2 a 4 segundos	Q520A1089	De acuerdo a el modulo programado puede utilizar detección infrarroja o ultravioleta.						Todos
* CB-70 (BC7000L1018) (Clase 14 A) (1)	Modulante (Electrónico)	2 a 4 segundos	Q520A1170	De acuerdo a el modulo programado puede utilizar detección infrarroja o ultravioleta.						Todos

\* Modelo exclusivo calderas marca Cleaver Brooks.  
(1) Autoverificación Dinámica.

GZA



**NOM-027-SEDG-1996**  
**SISTEMAS DE DETECCIÓN DE FLAMA**

SISTEMA	TIPO	MARCA Y MODELO	CAPACIDAD MÁXIMA Mj/hr (Kcal/hr) (c.c.)	COMBUSTIBLE
AL	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE CADMIO	HONEYWELL C554A CONTROL DE FLAMAS IC515	1675 (400,000) (47.34)	DIESEL
BL	TUBO ELECTRÓNICO AL VACÍO (FOTODIODO) (RECTIFICACIÓN)	HONEYWELL C7013A CONTROL DE FLAMAS 922	8375 (2'000,000) (236.70)	DIESEL
BG	VARILLA DETECTORA DE IONIZACIÓN DE FLAMA (RECTIFICACIÓN)	HONEYWELL C7008A CONTROL DE FLAMAS C7008A	16750 (4'000,000) (473.37)	GAS
CDN	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE PLOMO SIN AUTOVERIFICACIÓN DINÁMICA	HONEYWELL C7015A CON AMPLIFICADOR R7248A	16750 (4'000,000) (473.37)	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO
DDN	FOTOTUBO SENSIBLE A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SIN AUTOVERIFICACIÓN DINÁMICA	HONEYWELL C7027A CON AMPLIFICADOR R7249A CONTROL DE FLAMAS IC2200	16750 (4'000,000) (473.37)	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO
CDD	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE PLOMO CON AUTOVERIFICACIÓN DINÁMICA	HONEYWELL C7015A CON AMPLIFICADOR R7248B	SIN LIMITE	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO
DDD	FOTOTUBO SENSIBLE A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA CON AUTOVERIFICACIÓN DINÁMICA	HONEYWELL C7076A CON AMPLIFICADOR R7476A	SIN LIMITE	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO

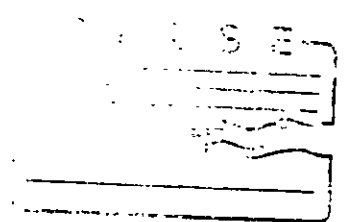
**Nota:** a partir de instalaciones cuya capacidad de liberación de calor sobrepase los 157 MJ/hr (37,500 kcal/hr) (4.44 c.c.) , independientemente del tipo de combustible que utilicen, se deberá de utilizar control de seguridad contra falla de flama con detección de flama por medios electrónicos (no térmico)

**GZA**

## NOM-027-SEDG-1996

### NOMENCLATURA DE TABLA No. 1

I.I.=	Ignición intermitente hasta 8.9 c.c. se mantiene energizado todo el tiempo no lleva piloto y solo se utiliza para combustible diesel.
I.T.=	Ignición interrumpida.
P.C.=	Piloto continuo.
P.I.=	Piloto intermitente.
PT=	Piloto interrumpido.
PP=	Piloto probado.
TVA=	Tiempo de verificación en arranque.
TPEF=	Tiempo para establecimiento de flama.
TDPF=	Tiempo para detección de presencia de flama.
TDFE=	Tiempo para detección de falla de flama.
TBS=	Tiempo para bloqueo de seguridad.
TP=	Tiempo de purga.
TPA=	Tiempo de purga en alta.
TPB=	Tiempo de purga en baja.
TCE=	Tiempo para calefacción de electrodos.
TRI=	Tiempo restringido de ignición con bloqueo de señal de flama al circuito sensor.
TPPE=	Tiempo para prueba de piloto encendido.
TAPE=	Tiempo para apagado de piloto encendedor de quemador principal.
TPP=	Tiempo de pospurga.
TACHD=	Tiempo de autoverificación dinámica.



NOM-017-SEDG-1996

TABLA I.- CLASES DE CONTROLES DE SEGURIDAD DE FLAMA SEGUN EL CICLO DE TRABAJO

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	
CLASE	REIGNICION	RECICLO	TVA MAX.	TPEF MAX.	TDPF MAX.	TDFE MAX.	TBS MAX.	TP MIN.	TPA MIN.	TPB MIN.	TCE MIN.	TRI MAX.	TPPE MIN.	TAPE MAX.	TPP MIN.	CONT. DE PASO DE COMBUST.	IGNICION	PILOTO	CAPACIDAD MAX. MJ/h (Kcal/h)	Limitaciones	
1	NO	NO	3	30	30	30	30	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IL	NO HAY	315 (75 000)	SOLO DIESEL	
2A	SI	NO	3	15	3	1	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P C o P I	315 (75 000)	SOLO GAS	
2B	SI	NO	3	15	3	3	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT	P I o F B.	420 (100 000)	SOLO DIESEL	
3	NO	NO	3	15	3	3	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT	P I o F B	630 (150 000)	NO HAY	
4A	NO	NO	3	15	3	3	15	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P I o F B.	1 045 (250 000)	NO HAY	
4B	NO	SI	3	15	3	3	15	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P I o F B.	1 045 (250 000)	NO HAY	
5A	NO	NO	3	5	5	3	15	15	NO	NO	NO	5	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P I o F B	1 675 (400 000)	NO HAY	
5B	NO	SI	3	5	5	3	15	15	NO	NO	NO	5	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P I o F B.	1 675 (400 000)	NO HAY	
6A	NO	NO	3	10	3	3	15	30	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P I o F B.	1 255 (300 000)	NO HAY	
6B	NO	SI	3	10	3	3	15	30	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT/	P I o F B	1 255 (300 000)	NO HAY	
7	NO	NO	3	5	5	3	15	1	NO	NO	NO	5	5	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P P o F B	2 510 (600 000)	NOTA No. 13	
8A	NO	NO	3	5	5	3	15	30	NO	NO	NO	5	5	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P P o F B	2 510 (600 000)	NOTA No. 13	
8B	NO	SI	3	5	5	3	15	30	NO	NO	NO	5	5	NO	NO	NO REQUIERE	IT.	P P o F B	2 510 (600 000)	NOTA No. 13	
9A	NO	NO	3	10	3	3	15	30	NO	NO	5	NO	5	NO	NO	2 PASOS	IT	P P o F B	2 510 (600 000)	NOTA No. 13	
9B	NO	SI	3	10	3	3	15	30	NO	NO	5	NO	5	NO	NO	2 PASOS	IT	P P o F B	2 510 (600 000)	NOTA No. 13	
10A	NO	NO	3	5	5	3	15	30	NO	NO	5	5	5	NO	NO	2 PASOS	IT.	P P o F B	4 185 (1 000 000)	NOTA No. 13	
10B	NO	SI	3	5	5	3	15	30	NO	NO	5	5	5	NO	NO	2 PASOS	IT	P P o F B	4 185 (1 000 000)	NOTA No. 13	
11A	NO	NO	3	10	3	3	15	30	NO	NO	5	NO	10	10	NO	2 PASOS	IT.	P T.	3 350 (800 000)	NOTA No. 13	
11B	NO	SI	3	10	3	3	15	30	NO	NO	5	NO	10	10	NO	2 PASOS	IT.	P T.	3 350 (800 000)	NOTA No. 13	
12A	NO	NO	3	5	5	3	15	30	NO	NO	5	5	10	10	NO	2 PASOS	IT	P P y P T	4 185 (1 000 000)	NOTA No. 13	
12B	NO	SI	3	5	5	3	15	30	NO	NO	5	5	10	10	NO	2 PASOS	IT.	P P y P T	4 185 (1 000 000)	NOTA No. 13	
13A	NO	NO	3	10	3	3	15	45	30	15	X	NO	10	NO	15	MODULANTE	IT.	P I	SIN LIMITE	NOTA No. 13	
13B	NO	SI	3	10	3	3	15	45	30	15	X	NO	10	NO	15	MODULANTE	IT	P I	SIN LIMITE	NOTA No. 13	
14A	NO	NO	3	10	3	3	15	45	30	15	X	NO	10	10	15	MODULANTE	IT	P T.	SIN LIMITE	NOTA No. 13	
14B	NO	SI	3	10	3	3	15	45	30	15	X	NO	10	10	15	MODULANTE	IT	P T.	SIN LIMITE	NOTA No. 13	
15A	NO	NO	3	5	5	3	15	45	30	15	5	5	10	NO	15	MODULANTE	IT	P P	SIN LIMITE	NOTA No. 13	
15B	NO	SI	3	5	5	3	15	45	30	15	5	5	10	NO	15	MODULANTE	IT.	P P	SIN LIMITE	NOTA No. 13	
16A	NO	NO	3	5	5	3	15	45	30	15	5	5	10	10	15	MODULANTE	IT.	P P y P T.	SIN LIMITE	NOTA No. 13	
16B	NO	SI	3	5	5	3	15	45	30	15	5	5	10	10	15	MODULANTE	IT.	P P y P T.	SIN LIMITE	NOTA No. 13	
17	NO	X	3	X	5	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	NOTA No. 13	NOTA No. 13

Miércoles 16 de julio de 1997

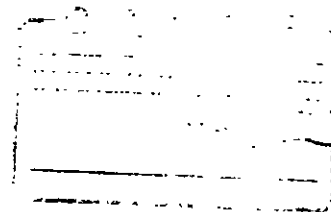
DIARIO OFICIAL



**EQUIVALENCIA DE CONTROLES DE FLAMA DE ACUERDO A DISTINTOS FABRICANTES**

<b>HONEYWELL</b>	<b>FIREYE</b>	<b>CONTROL DE FLAMAS (NACIONAL)</b>
RA890 F	TIPO 29RF5 MODELO 6015	TAC15RL
RA890 G		TAC15RL
R4795 A		TAC5415BNR
R4140 L	TIPO 26RJ8 MODELO 6018	
R4140 G		
* CB-20	* CB - 1	
BC 7000	FLAME-MONITOR	

\* Modelos exclusivos para calderas marca Cleaver Brooks.



#### 4.- TERMÓMETRO DE CHIMENEA

Éste es un indicador de importancia en la operación de las calderas, una alta temperatura puede ser por dos causas:

- Que este hollinada la caldera.
- Que exista fuga de gases por alguna de las mamparas.

La causa más frecuente, es la primera; Cuando tenga 80° C por arriba de la temperatura del vapor, indica que la caldera tiene hollín y/o incrustación, se debe proceder a lavado y deshollinado.

Si la presión de trabajo de la caldera es de 7.0 Kg/cm<sup>2</sup>, de tablas de vapor, la temperatura que corresponde al vapor para ésta presión es de 169.5° C, entonces tenemos:

$$169.5 + 80 = 249.5^{\circ} \text{ C}$$

En una caldera de tubos de fuego, la temperatura normal de los gases en la base de la chimenea es de 200 a 225° C.

Por lo anterior, es muy importante que la caldera este siempre bien carburada en toda su gama de modulación.

En base a la capacidad de la caldera y al tipo de combustible que utilice su quemador, es la frecuencia con la cual se analizan los gases producto de la combustión.

El fabricante del quemador indica cual es el % de CO<sub>2</sub> ( bióxido de carbono ) más idóneo para el funcionamiento eficiente del mismo. En la practica se recomiendan los siguientes valores:

RANGO	Gas L.P. o N.	Diesel o G.	Combustóleo
Excelente	10	12.8	13.8
Bueno	9	11.5	13
Regular	8.5	10	12
Pobre	8 o menos	9 o menos	11.5 o menos

Los resultados de una carburación, deben tener los valores de los siguientes parámetros:

Bióxido de carbono, oxígeno, exceso de aire, monóxido de carbono, temperatura de los gases y eficiencia del quemador.

A continuación tenemos las tablas 5 y 6 de la norma oficial mexicana NOM-085-ECOL-1994.



NOM-085-ECOL-1994 (D.O. 2 - DIC - 1994)

TABLA 5

1o. ENERO DE 1998 EN ADELANTE

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN MJ/h	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	DENSIDAD DE HUMO	PARTÍCULAS (PST) mg/m <sup>3</sup> (kg/10 <sup>6</sup> kcal) (1) (2)			BIÓXIDO DE AZUFRE ppm V (Kg/10 <sup>6</sup> kcal) (1) (2)			ÓXIDOS DE NITRÓGENO ppm V (Kg/10 <sup>6</sup> kcal) (1)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTIÓN % volumen (5)
		Número de mancha u opacidad	ZMCM	ZC (3)	RP	ZMCM	ZC(3)	RP	ZMCM	ZC(4)	RP	
Hasta 5,250 144cc.	Combustoleo o gasoleo	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
149cc. De 5,250 a 43,000 1204cc.	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.497)	450 (0.639)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190 (0.486)	190 (0.486)	375 (0.959)	
De 43,000 a 110,000 308cc.	Líquidos	NA	60 (0.085)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	
Mayor de 110,000	Sólidos	NA	60 (0.090)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.16)	1,100 (4.31)	2,200 (8.16)	110 (0.309)	110 (0.309)	375 (1.052)	25
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.355)	350 (0.497)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	

**TABLA 6**  
**MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN**

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN MJ/h	PARÁMETRO	FRECUENCIA MÍNIMA DE MEDICIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	TIPO DE COMBUSTIBLE
Hasta 5,250 (147 C.C.)	Densidad de humo	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); mancha de hollín	líquido y gas
	CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); ver anexo 3	líquido y gas
	SO <sub>2</sub>	1 vez cada 3 meses	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
De 5,250 (147 C.C.) a 43,000 (1204 C.C.)	Partículas suspendidas totales	una vez por año	isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas (2)	líquido
	NO <sub>x</sub>	una vez por año	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO <sub>2</sub>	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	diario	puntual (3 muestras); ver anexo 3 o equivalente	líquido y gas
De 43,000 a 110,000 (1204 a 3080 C.C.)	Partículas suspendidas totales	una vez por año	isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas	líquido
	NO <sub>x</sub>	una vez cada 6 meses	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO <sub>2</sub>	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	una vez por turno	puntual (3 muestras); ver anexo 3 o equivalente	líquido y gas
Mayor de 110,000 (3080 C.C.)	Partículas suspendidas totales	1 vez cada 6 meses	isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas	sólido, líquido
	NO <sub>x</sub>	permanente (3)	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	sólido, líquido y gas
	O <sub>2</sub>	permanente	continua; campo magnético o equivalente, con registrador como mínimo o equivalente	líquido y gas
	SO <sub>2</sub>	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	sólido, líquido

**NOTAS:**

(1) Ver 6.1.1.4

(2) Ver 6.1.1.5

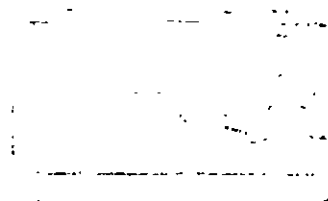
(3) El monitoreo continuo de No<sub>x</sub> será permanente en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey; con una duración de cuando menos 7 días una vez cada tres meses en las zonas críticas; y con una duración de cuando menos 7 días una vez cada seis meses en el resto del país.

(4) Ver 4.13

**ANEXO 3**  
**CONTAMINANTES Y SUS MÉTODOS DE EVALUACIÓN**  
**PARA FUENTES FIJAS Y MÉTODOS EQUIVALENTES**

CONTAMINANTE	MÉTODO DE EVALUACIÓN	MÉTODO EQUIVALENTE	
Densidad de humo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• huella o mancha de hollín</li> <li>• opacidad</li> </ul>	----	
Partículas suspendidas totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• isocinético</li> </ul>	----	
Óxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quimiluminiscencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• infrarrojo no dispersivo</li> </ul>	
Óxidos de carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• infrarrojo no dispersivo</li> <li>• celdas electroquímicas*</li> <li>• orsat (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CO)</li> </ul>	----	
Oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• celdas electroquímicas</li> <li>• paramagnéticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• orsat (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CO)</li> <li>• óxidos de zirconio (celdas electroquímicas)</li> </ul>	
SO <sub>2</sub>	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	Capacidad del equipo de combustión MJ/h	Hasta 5,250: <ul style="list-style-type: none"> <li>• vía húmeda (torino)</li> <li>• infrarrojo no dispersivo</li> <li>• celdas electroquímicas</li> </ul> Mayores de 5,250: <ul style="list-style-type: none"> <li>• vía húmeda</li> <li>• infrarrojo no dispersivo</li> </ul>

Se calcula el valor dado que no se obtiene por medición directa.



## 5.- TRATAMIENTO DEL AGUA Y PURGAS.

El descuido del mantenimiento por el lado del agua trae como resultado la formación de incrustaciones, picaduras, corrosión, espuma, arrastre de humedad y crestas de nivel de agua.

Es importante un tratamiento de agua con procedimiento adecuado de purgas para conservar las superficies de calefacción de la caldera libres de incrustación y prolongar la vida útil de la misma.

Se recomienda consultar a empresas expertas en tratamiento de agua. Ellos analizarán el agua y propondrán el tratamiento adecuado basado en el análisis y cantidad de agua cruda que se usará, también dirán la frecuencia de las purgas para reducir la concentración de sales y lodos dentro de la caldera.

El tratamiento se divide en:

**Externo.-** A través del equipo suavizador, la dureza a la salida debe ser = 0 ppm.

El operador dentro de sus actividades toma muestra del agua a la salida del equipo suavizador y checa su dureza, si le marca algún valor, es el momento para regenerar la resina.

**Interno.-** Dosificación de productos químicos, puede ser en el tanque de condensados o directamente a la caldera. La cantidad y frecuencia la determina el experto en tratamiento de agua.

**PURGAS DE LA CALDERA.-** Normalmente se recomienda purgar la caldera mínimo cada turno ( la frecuencia real la determina el experto en tratamiento de agua ).

Purga de fondo.- Se hace de la siguiente manera:

- Teniendo la caldera con presión ( normalmente la presión de trabajo ), se sube el nivel del agua a la mitad de la mirilla de cristal con la bomba en posición manual.
- Se coloca la bomba de agua en posición de automático.
- Abrir primero la válvula de cierre rápido.
- después se abre la válvula de cierre lento.
- Se espera a que baje el nivel hasta que arranque la bomba de agua.
- Se cierra la válvula de cierre lento.
- Se cierra la válvula de cierre rápido.

Las demás purgas tardan aprox. 5 seg.

## **6.- CONTROL DE PRESIÓN LÍMITE.**

Éste control es muy importante su funcionamiento correcto, en el ajustamos la presión de vapor a al cual va a trabajar la caldera. Tiene dos escalas, la principal es para delimitar la presión de paro del quemador de la caldera, la otra es la diferencial, se indica la presión a la cual enciende de nuevo el quemador.

## **7.- BITÁCORA.**

Éste documento es muy útil ya que en el se lleva el historial de la caldera en cuanto a su operación y mantenimiento, desde que se arranca por primera vez.

En base a ese historial se puede formar un programa de mantenimiento preventivo para la caldera.

## **PARÁMETROS PARA ANOTAR EN UNA BITÁCORA POR TURNO**

1. Fecha.
2. Hora.
3. Presión de vapor.
4. Temperatura de gases productos de la combustión.
5. Temperatura del agua de alimentación.
6. Temperatura de combustible (solo si se utiliza combustóleo):
  - En tanque de almacenamiento general
  - En tanque de día.
  - A la entrada del quemador
7. Presión de atomización con aire o vapor ( comb. Líquido )
8. Presión de combustible ( líquido ):
  - A la salida de la bomba de alimentación
  - A la entrada del quemador
  - De retorno
9. Presión de combustible ( gas ):
  - En el tanque de almacenamiento ( gas L.P. )
  - En alta presión regulada
  - En baja presión
10. Purgas: De fondo, columna de nivel, cristal de nivel, tren de controles y de superficie.

- 11.Tratamiento interno.
- 12.Tratamiento externo.
- 13.Consumo de combustible.
- 14.Pruebas de paro por: alta presión de vapor, bajo nivel de agua y falla de flama.
- 15.Mantenimientos rutinarios.
- 16.Análisis de gases.
- 17.Observaciones.
- 18.Nombre y firma del operador.

## **RECOMENDACIONES PARA EL CUIDADO DE LAS CALDERAS**

Las calderas de prestigio indudablemente son construidas de acuerdo con el código ASME o alguna otra norma de fabricación de reconocida competencia. En forma similar, el quemador y controles son de marcas de prestigio. Consiguientemente la caldera que se tiene es digna de confianza en cuanto a la seguridad de su operación.

**Sin embargo, la seguridad, confiabilidad y eficiencia de operación, solamente pueden conservarse con un programa básico de mantenimiento.**

Se recomienda tener un programa de mantenimiento preventivo de acuerdo al tipo de caldera, combustible utilizado y régimen de trabajo.

A continuación se muestra un programa de mantenimiento preventivo descriptivo, más no limitativo.



## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

### **I.- DIARIO**

1. Realizar las purgas de la caldera por lo menos cada ocho horas de operación.
2. Checar la dureza del agua después del suavizador para saber cuando hay que regenerar la resina. Después de un tiempo de operación se tendrá medida la frecuencia de ésta actividad.
3. Dosificación del tratamiento interno.
4. Si utiliza combustóleo limpiar la boquilla del quemador y el filtro de combustible.
5. Llenar la bitácora con los parámetros de operación.
6. Realizar una inspección ocular a la instalación completa para descubrir cualquier anomalía.
7. Mantener limpia la caldera, sus accesorios y la casa de máquinas.

### **II.- CADA OCHO DÍAS**

1. Si utiliza diesel o gasóleo limpiar la boquilla del quemador y filtro.
2. Comprobar que no hay fugas de gases ni de aire en las juntas de ambas tapas y mirilla trasera.
3. Comprobar la tensión de la banda al compresor y/o ventilador en su caso.
4. Si utiliza atomización con aire limpiar el filtro del compresor.
5. Limpiar el electrodo de ignición del piloto de gas.
6. Apretar las conexiones del cable de ignición.

7. Si utiliza combustóleo, comprobar que los interruptores termostáticos del calentador del combustible operen a la temperatura a que fueron calibrados al hacer la puesta en marcha.
8. Inspeccionar los prensa estopas de la bomba de alimentación de agua.
9. Comprobar que la trampa del calentador de vapor opera correctamente (si se usa Combustóleo). La descarga va al drenaje.
10. Asegúrese que la fotocelda esté limpia, así como el conductor en donde se encuentra colocada.
11. Comprobar el voltaje y amperaje de los motores.

### III.- CADA MES

1. Lavar el filtro que esta en la succión de la bomba de agua.
2. Si utiliza gas L.P. o natural limpiar el filtro de combustible.
3. Comprobar que los niveles de agua son los indicados:
  - 63 mm de nivel máximo.
  - 45 mm arranque de la bomba.
  - 38 mm corte por bajo nivel.
4. Comprobar el corte por bajo nivel de agua.- Bajando el interruptor de la bomba de alimentación, el agua al evaporarse irá disminuyendo el nivel, al llegar a 38 mm la caldera debe apagarse. En el caso de no apagarse, hay que parar inmediatamente la caldera e inspeccionar la cápsula de mercurio de tres hilos ( en el control de nivel ), así como también asegurarse de un correcto funcionamiento del flotador estando la columna excenta de lodos o acumulaciones.

5. Realizar la prueba por falla de flama.
6. Limpiar la malla del ventilador del sistema de aire.
7. Verificar el funcionamiento del piloto de gas.
8. Revisar el apriete del mecanismo de modulación
9. Checar el apriete de las conexiones del tablero de control.
10. Reengrasar los baleros de la bomba de agua.
11. Tirar ligeramente de la palanca de la(s) válvula(s) de seguridad para que escapen y evitar que se peguen en su asiento, ésta actividad se debe realizar estando la caldera a una presión no menor del 75% de la presión de trabajo.

#### IV.- CADA TRES MESES

1. Revisar la carburación del quemador de la caldera tomando lectura de los gases producto de la combustión.
2. Revisión del mecanismo y cápsulas de mercurio del control de nivel.
3. Las válvulas solenoide deben ser examinadas. Observe la flama cuando el quemador deba apagar. Si la flama no se apaga súbitamente en el momento preciso, puede significar falla o desgaste de la válvula solenoide. Reemplace la válvula para evitar serios problemas.

#### V.- CADA SEIS MESES

Estando la caldera fría realizar un servicio de limpieza general, el cual consiste en :

1. Retirar tubo del piloto de gas.
2. Retirar el quemador.
3. Destapar la caldera por ambos lados.
4. Retirar los empaques de ambas tapas y de las mamparas.
5. Limpiar los fluxes por el lado del hollín con un escobillón, que se debe de pasar a todo lo largo de los mismos.
6. Limpiar ambos espejos con un cepillo de alambre.
7. Se inspecciona el refractario del hogar, tapa intermedia y tapa trasera que no tenga grietas o que esté desprendido el material. Si es necesario se le aplica un resane.
8. Ya que está limpia por el lado de los gases se procede a hacer el lavado lado agua. Se tira toda el agua que tenga la caldera.
9. Estando completamente vacía, se retiran los registros de mano y el registro de hombre.
10. Se retira el tapón que esta en la entrada de agua a la caldera y los que tiene el control de nivel en sus cruces superior e inferior, además se retira la cabeza del control de nivel para descubrir el flotador.
11. Se retiran los controles de presión y el manómetro principal de vapor, dejando al descubierto la tubería del tren de controles.
12. A la descarga de la bomba de agua se instala una toma para conectar una manguera y se cierra la llave de alimentación de agua a la caldera.
13. Se arranca la bomba de agua, por la manguera saldrá un chorro de agua con cierta presión, se introduce ésta por cada uno de los registros con objeto de lavar los tubos flux por el lado del agua,

todos los lodos saldrán por los registros inferiores y una vez que el agua sale clara indicará que ha quedado limpia.

14. Con el mismo procedimiento se limpia: el interior del control de nivel, la toma de alimentación de agua, la tubería del tren de controles y las cruces de la columna de nivel.
15. Cambiar el empaque del flotador de la columna de nivel, a los tornillos se les pone una mezcla de grafito con aceite para que no se peguen.
16. Cambio del tapón fusible ( si la caldera lo tiene ).
17. Colocar los controles de presión y el manómetro principal en el tren de controles.
18. Instalar los tapones macho de las cruces de la columna de nivel y de la entrada de alimentación de agua a la caldera, también se le pone la mezcla de grafito con aceite.
19. Cambio de la mirilla de nivel con sus empaques.
20. Cambio de empaques a los registros de mano y al registro de hombre, si son de asbesto se cubren con grafito.
21. Llenar la caldera con agua y realizar prueba hidrostática a la presión de operación para verificar que no haya fuga en los registros.
22. Tapar la caldera por ambos lados cambiando sus empaquetaduras, a todos los tornillos se les aplica la mezcla de grafito con aceite.
23. Colocar el quemador y conectar el piloto de gas.
24. Se tiene la caldera lista para su arranque y revisión de la carburación.
25. Prueba de la(s) válvula(s) de seguridad automáticamente.

# **CALDERAS Y SERVICIOS ESPECIALIZADOS**

## **VI.- FALLAS MÁS COMUNES**

### **EL QUEMADOR NO INICIA SU CICLO DE ENCENDIDO**

Verifique que haya energía eléctrica en el tablero de control de la caldera.  
Verifique que los controles limite se encuentren cerrados. Ejemplo: Control de presión de vapor, control de nivel de agua, relevadores bimetálicos de los arrancadores, control de combustión sin restablecer o averiado, control contra baja presión de aire en el quemador, control de baja presión de gas L.P., control de alta presión de gas L.P., terminales eléctricas principales flojas.

### **EL QUEMADOR INICIA SU CICLO PERO NO HAY CHISPA**

Electrodo con porcelana fisurada o dañada.  
Electrodo aterrizado, descalibrado o con carbón en su punta.  
Transformador de ignición dañado o con cable de ignición flojo en sus terminales.

### **EL QUEMADOR INICIA CICLO HAY CHISPA PERO NO PRENDE**

Exceso de aire por compuerta muy abierta.  
Falta gas L.P. en el piloto  
Presión en el piloto de gas insuficiente  
Impurezas en la línea de gas L.P. del piloto  
Válvula solenoide del piloto de gas L.P. dañada u obstruida  
Regulador del piloto de gas L.P. dañado o desajustado  
Control de presión modulante no manda cerrar la compuerta del aire en el arranque  
Compuerta del aire atorada o mecanismo del damper desajustado

### **PRENDE EL PILOTO, PERO SE SEPARA LA FLAMA DE LA BOQUILLA**

Demasiada presión de gas L.P. en la línea del piloto.  
Regulador de presión de gas L.P. del piloto dañado

### **PILOTO ENCENDIDO, PERO NO PRENDE LA FLAMA PRINCIPAL**

Flama del piloto de poca intensidad  
Válvula principal de combustible no opera  
Filtro de combustible tapado  
Falla en el control programador  
Detector de flama sucio, defectuoso, obstruido o que no apunte a la flama principal  
Falso contacto en el amplificador o que este dañado  
Válvula mariposa o moduladora de gas L.P. atorada u obstruida  
Control de baja presión de aire dañado  
Controles de alta o baja presión de gas L.P. dañados

### **EL QUEMADOR SOLO TRABAJA EN FLAMA BAJA**

Interruptor selector de flama baja dañado  
Control de presión modulante dañado  
Motor modutrol dañado  
Mecanismo de modulación trabado

# **CALDERAS Y SERVICIOS ESPECIALIZADOS**

## **QUEMADOR SE APAGA SIN RAZÓN APARENTE**

Falta combustible o baja presión de gas L.P.  
Detector de flama averiado  
Cápsula de mercurio en el control de presión límite defectuosa  
Mecanismo de modulación trabado  
Leva de modulación con tornillos desajustados o sea desajuste en la carburación  
Alta presión de gas L.P.  
Falta de aire para la combustión, actúa el control del aire, posiblemente rotas las bandas que mueven el ventilador.

## **MOTOR MODULANTE NO OPERA**

Selector de modulación dañado  
Mecanismo de modulación atorado o dañado  
Transformador de 24 V dañado  
Control de presión modulante sucio o dañado

## **MOTOR MODULANTE NO ABRE O CIERRA DURANTE LA PRE-PURGA**

Revisar sujeción de contactos  
Potenciómetro invertido o dañado  
Cables invertidos entre motor y control modulante

## **EXPLOSIONES EN EL HOGAR DE LA CALDERA**

Impurezas o falta de presión para el piloto de gas L.P.  
Presión de combustible inestable  
Impurezas en la válvula principal de combustible  
Compuerta de aire trabada o motor modulante dañado  
Averías en la leva dosificadora de combustible, alterando la relación aire-combustible  
Manipulación del control de flama

## **PRESENCIA DE HUMO BLANCO EN LA CHIMENEA**

Falta de combustible o exceso de aire

## **PRESENCIA DE HUMO NEGRO EN LA CHIMENEA**

Exceso de combustible o falta de aire

## **FALTA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN**

Impurezas en el tanque de condensados  
Filtro de agua tapado  
Trampas de vapor averiadas, por lo que regresa vapor vivo al tanque de condensados y eleva demasiado la temperatura del agua, la bomba trabaja pero no inyecta el agua. Si la bomba trabaja por tiempos largos en estas condiciones se dañará. La temperatura normal de operación es de 60° C.  
Altura reducida entre el tanque de condensados y la bomba del agua.  
Posible obstrucción a la entrada del agua en la caldera  
Bomba de agua dañada

# **CALDERAS Y SERVICIOS ESPECIALIZADOS**

## **ALTA TEMPERATURA DE GASES DE COMBUSTIÓN**

Hollinamiento de los tubos flux por mala combustión  
Mamparas dañadas

## **NO SE RECUPERA EL NIVEL DE AGUA EN LA CALDERA**

Filtro de agua sucio  
Falta de agua en el tanque de condensados  
Control de nivel averiado  
Bomba de agua averiada  
Falta de energía eléctrica  
Demanda súbita de vapor sin alimentar agua  
Tubería de alimentación de agua incrustada u obstruida.

## **CALDERA INCRUSTADA**

Falla en el tratamiento del agua  
Purgas inadecuadas  
Falta de purgas

A continuación se presenta un resumen de la norma para calderas NOM-122-STPS-1996.



# **Resumen de la Norma Oficial Mexicana NOM-122-STPS-1996 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas que operen en los centros de trabajo.**

## **1. Objetivo**

Esta norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos de seguridad e higiene con que deben contar los recipientes sujetos a presión y los generadores de vapor o calderas que se instalen en los centros de trabajo, así como las características de las inspecciones que se realicen con el fin de vigilar el cumplimiento de esta Norma.

## **2. Campo de aplicación.**

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en los centros de trabajo donde se utilicen los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas a que la misma se refiere.

## **5. Obligaciones**

### **5.1. Obligaciones del Patrón.**

5.1.1. Tener autorizados por la Secretaría los equipos y conservar su vigencia de autorización de funcionamiento durante la vida útil de los equipos, así como el documento señalado en el numeral 6.1, del anexo II.

5.1.4. Contar con el personal capacitado para la operación y mantenimiento de los equipos.

5.1.5. Elaborar y establecer por escrito un manual de seguridad e higiene para la operación y mantenimiento de los equipos, sus accesorios y dispositivos, conforme al artículo 130 párrafo tercero del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

El manual debe contener: Medidas de seguridad durante el arranque, operación, paro, y para el mantenimiento de los equipos, dispositivos, accesorios y equipos auxiliares, así como los procedimientos para el control y manejo en situaciones de emergencia y retorno a condiciones normales.

5.1.6. Difundir el manual entre los trabajadores encargados de la operación, mantenimiento y seguridad.

5.1.7. Marcar o pintar en un lugar visible del equipo, el número de control que la Secretaría le asignó y entregó por escrito al momento de su autorización. Queda prohibido alterar, cambiar o desaparecer dicho número.

5.1.8. Aislar, proteger e identificar los equipos y tuberías que se encuentren a temperaturas extremas en las áreas de tránsito de los trabajadores y en las áreas de operación de los equipos, conforme a las Normas Oficiales Mexicanas NOM-028-STPS-1993 y NOM-114-STPS-1993.

5.1.9. Dar aviso a la Dirección o a la Delegación correspondiente cuando se pretenda modificar la instalación o las condiciones de operación de los equipos, de acuerdo al artículo 33 del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

5.1.10. Conservar el registro por cada equipo o grupos de ellos interconectados, conforme al artículo 37 del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, ver anexo IV.

5.1.11. Solicitar la continuidad de la vigencia de la autorización de funcionamiento de los equipos en los términos del punto 6.2 de esta Norma.

5.1.12. Solicitar al fabricante del equipo el certificado de fabricación, la memoria de cálculo y dibujo indicados en el numeral 6.1 del anexo II.

5.1.13. En caso de que el patrón no cuente con la documentación anterior, para los efectos de la autorización deberá presentar constancia de la memoria de cálculo y dibujo del equipo, elaborados por un ingeniero calificado, con base a los datos técnicos del equipo.

5.2. Obligaciones de los trabajadores.

5.2.1. Participar en los cursos de capacitación y adiestramiento para el manejo de los equipos.

5.2.2. Realizar las anotaciones correspondientes que señala el punto 5.1.9. consignando y reportando las condiciones de operación de los equipos, así como cualquier alteración que pueda causar algún accidente o desperfecto.

5.2.3. Operar los equipos de conformidad con lo establecido en los manuales de procedimiento de seguridad proporcionados por el patrón.

6.1.3. La autorización de funcionamiento a que se refiere el punto 6.1 tendrá una vigencia de 10 años para equipos nuevos y de 5 años para equipos usados.

## **7. Condiciones de seguridad e higiene.**

7.3 La presión de operación de los equipos no deben exceder a la presión de calibración de las válvulas de seguridad señalada en la autorización de los mismos.

7.4. Los equipos deben instalarse libres de impactos y vibraciones, con iluminación y ventilación permanente, adecuadas a los procesos que realicen conforme a las NOM-016-STPS-1993, NOM-024-STPS-1993 y NOM-025-STPS-1993.

7.5. Los pisos y accesos a los equipos deben mantenerse libres de obstáculos y materiales que entorpezcan el libre acceso, de tal manera que sea posible realizar fácilmente maniobras en su cercanía.

7.6. Los accesos a los dispositivos de seguridad y equipos auxiliares deben mantenerse libres en todo momento.

7.7. Los generadores de vapor o calderas deben ser instalados en locales o áreas destinadas específicamente para ellos.

7.8. Los generadores de vapor o calderas deben instalarse de tal manera que cuenten con un espacio mínimo de 1.5 m entre el techo del local y la parte más alta del equipo, a fin de permitir efectuar reparaciones, inspecciones, ajustes y pruebas.

7.9. Los generadores de vapor o calderas deben instalarse entre ellos o entre las divisiones que limitan el local, con un espacio mínimo de un metro a partir del cuerpo de la caldera o del accesorio más sobresaliente, de tal manera que permita al personal efectuar la operación y las reparaciones sin dificultad.

7.10. Los depósitos de combustible para el abastecimiento de los generadores de vapor o calderas deben cumplir las condiciones de seguridad de acuerdo a las NOM-002-STPS-1993, NOM-005-STPS-1993 y NOM-022-STPS-1993.

7.11. El generador de vapor o caldera, independientemente de que opere en forma manual o automática, debe estar vigilado permanentemente durante el tiempo que esté en operación.

## **8. De los dispositivos de seguridad en los equipos.**

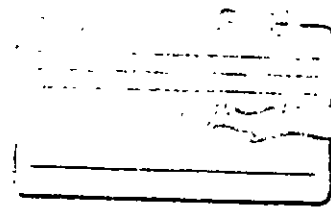
8.1. Los generadores de vapor o calderas deben contar cuando menos con una válvula de seguridad calculada técnicamente para evitar riesgos durante la operación del equipo, cuyas características estén de acuerdo con las condiciones de operación.

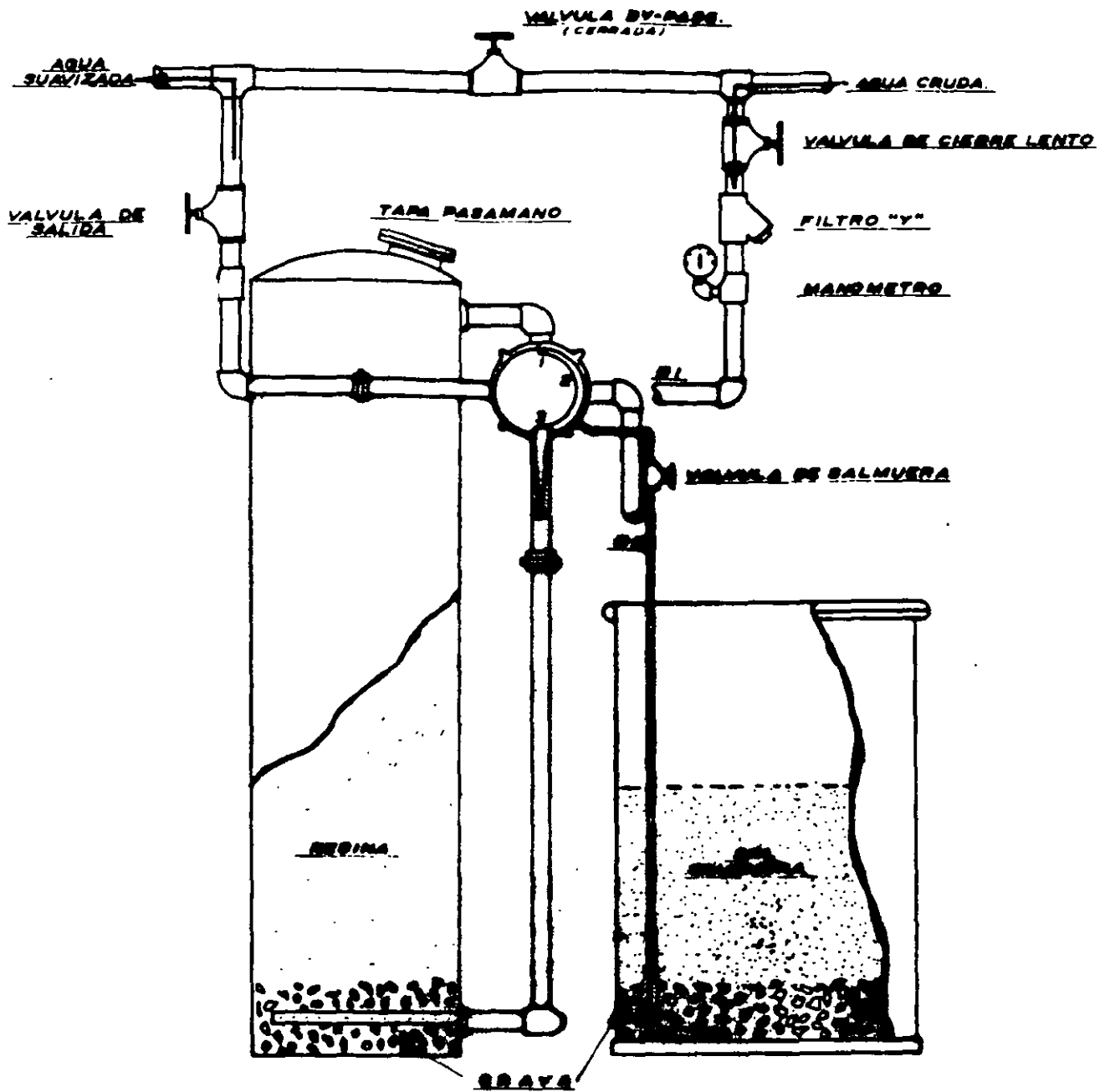
8.2. Las válvulas de seguridad de los generadores de vapor o calderas deben instalarse en la parte superior de los mismos y tener la capacidad de descarga acorde al flujo de desfogue teórico.

8.3. La presión de la calibración de las válvulas de seguridad utilizadas en ningún caso debe rebasar la presión de trabajo máxima permisible.

8.4. Los generadores de vapor o calderas deben tener al menos un manómetro graduado en Kg/cm<sup>2</sup>: kPa O bar, calibrado periódicamente, conectado a la cámara de vapor de tal manera que no esté sujeto a vibraciones y ofrezca una visión clara y libre de obstáculos.

8.5. La presión de operación debe estar ubicada en el tercio medio de la escala de la carátula del manómetro.

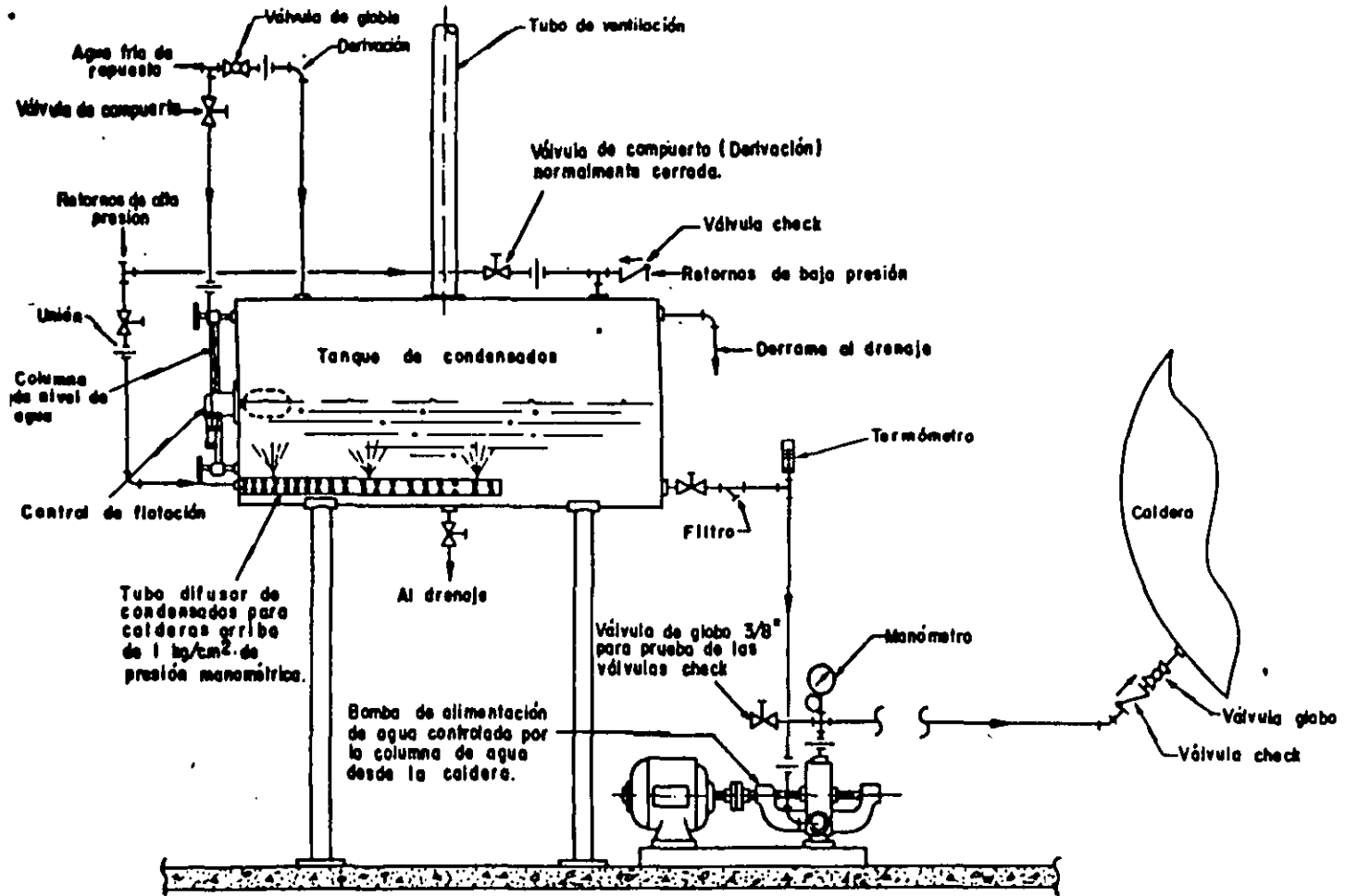


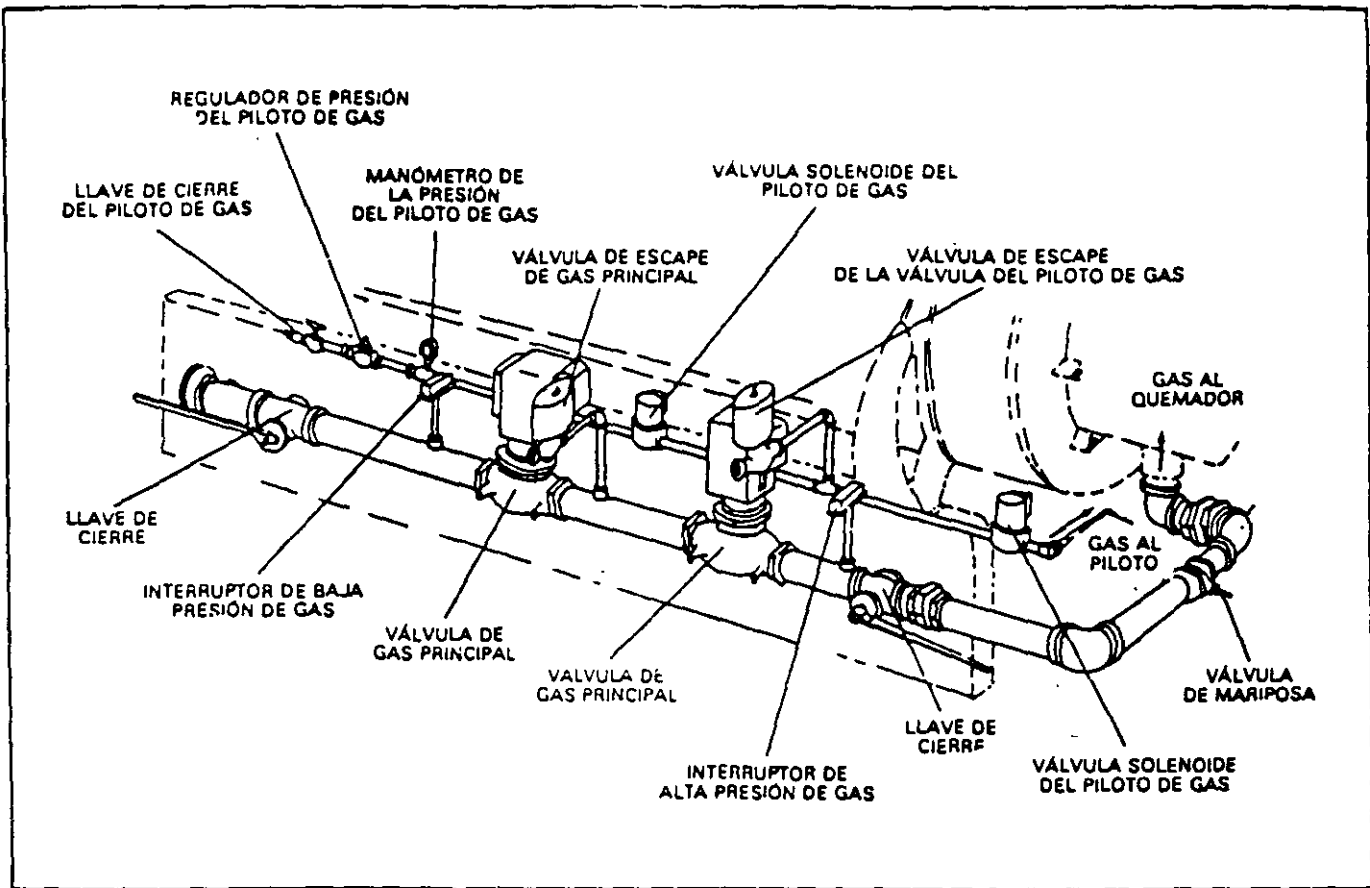


# 1: La entrada de agua dura a la válvula de puertos múltiples es por la parte trasera de la misma.

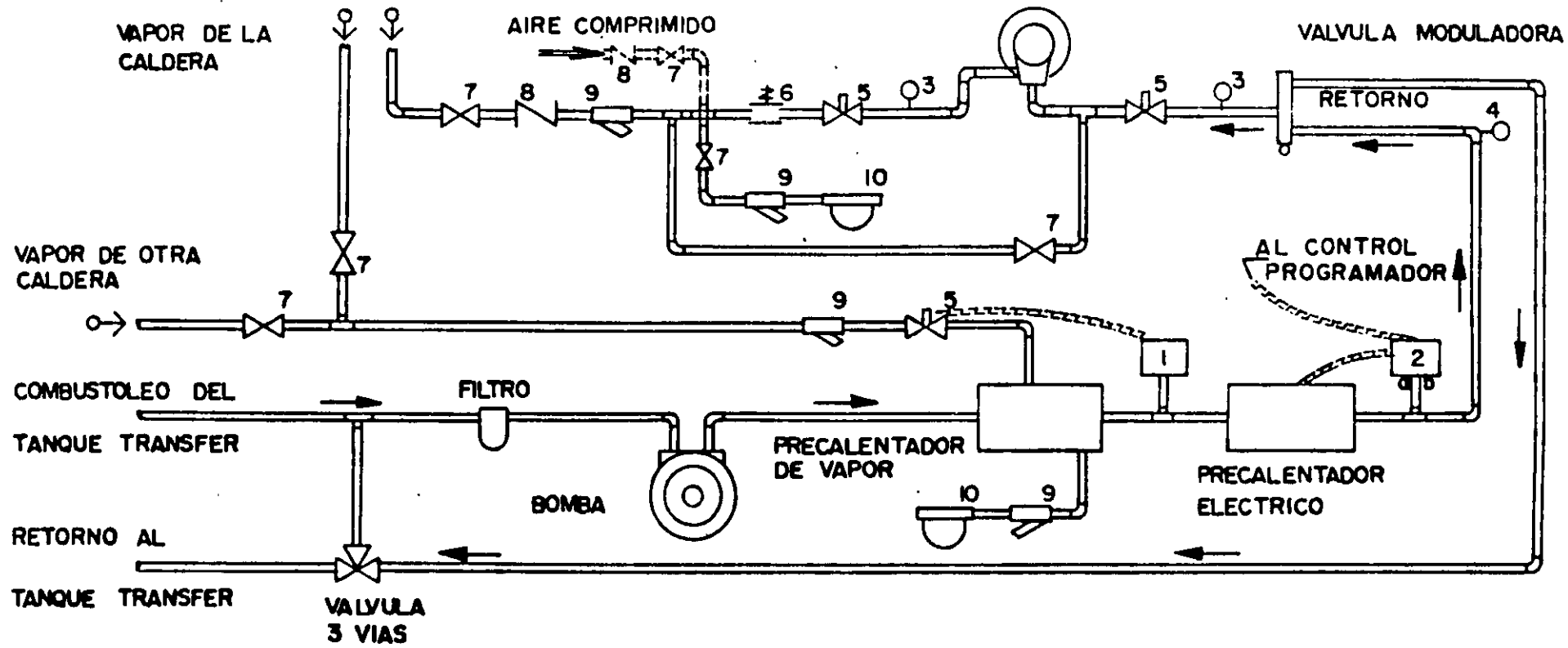
# 2: Purga e drenaje.

Tipico arreglo del tanque de condensados con tapas planas y bomba de agua de alimentaci3n.





CONJUNTO BÁSICO DEL GAS

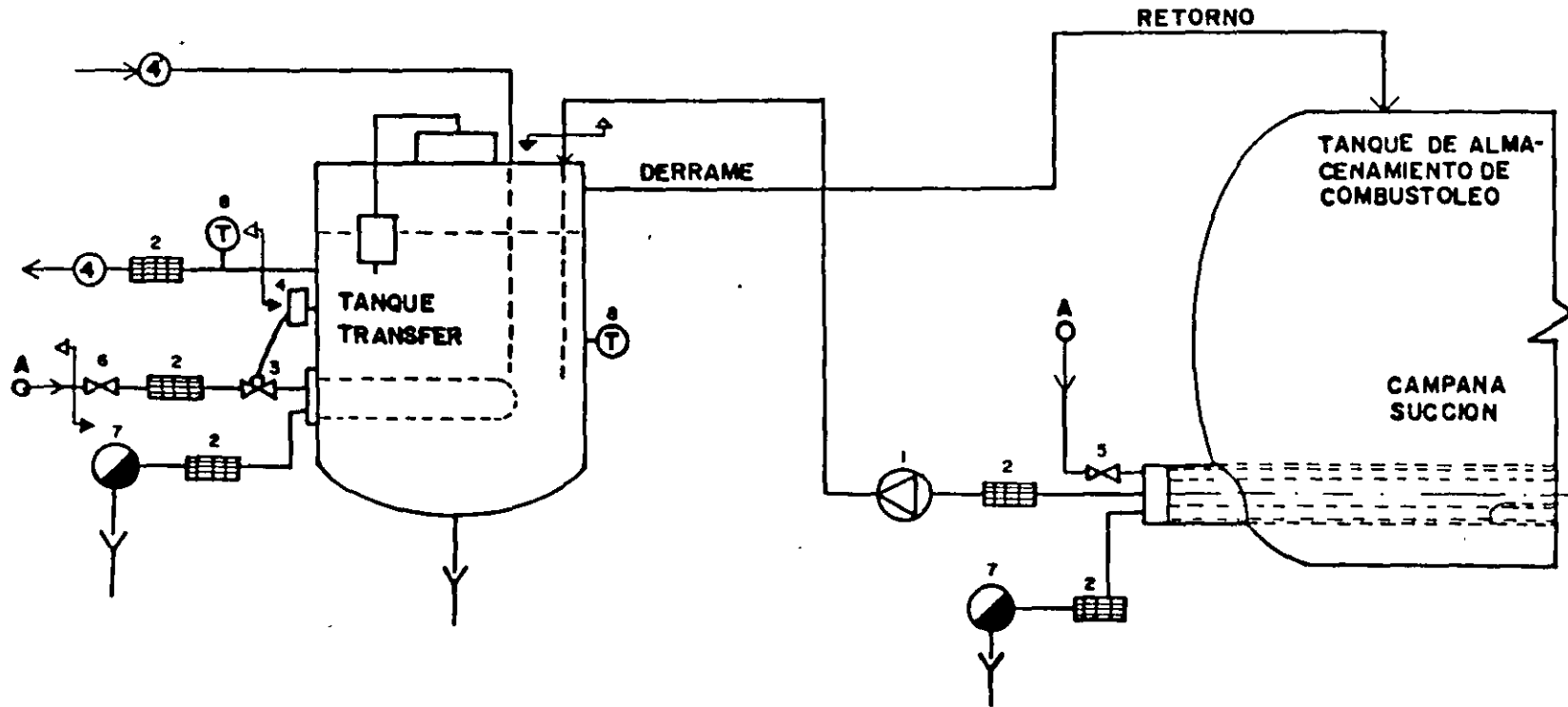


- COMBUSTOLEO
- AIRE COMPRIMIDO
- → VAPOR

- 1- CONTROL DE TEMPERATURA  
a) ACCIONA LA VALVULA SOLENOIDE DE VAPOR.
- 2- CONTROL DE TEMPERATURA DUAL  
a) ACCIONA EL PRECALENTADOR ELECTRICO  
b) ACCIONA LA VALVULA SOLENOIDE DE COMBUSTOLEO
- 3- INDICADOR DE PRESION
- 4- INDICADOR DE TEMPERATURA
- 5- VALVULA SOLENOIDE
- 6- REGULADORA DE PRESION
- 7- VALVULA DE GLOBO MANUAL
- 8- VALVULA DE RETENCION
- 9- FILTRO VAPOR / AIRE
- 10- TRAMPA DE VAPOR

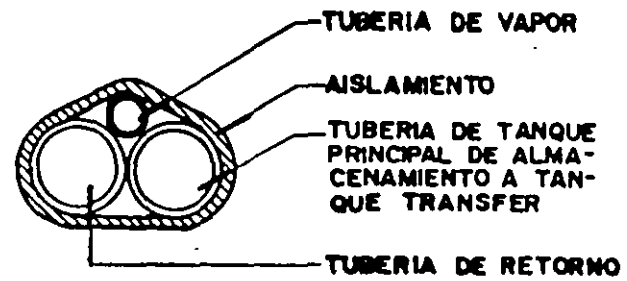
## SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTOLEO LIGERO N° 6 - MODULANTE -





- → A VAPOR DEL CABEZAL
- ← ④ ALIMENTACION COMBUSTOLEO
- ④ RETORNO COMBUSTOLEO
- 1 BOMBA TRASIEGO
- 2 FILTRO
- 3 VALVULA SOLENOIDE
- 4 CONTROL DE TEMPERATURA
- 5 VALVULA DE AGUJA
- 6 VALVULA
- 7 TRAMPA
- 8 INDICADOR DE TEMPERATURA

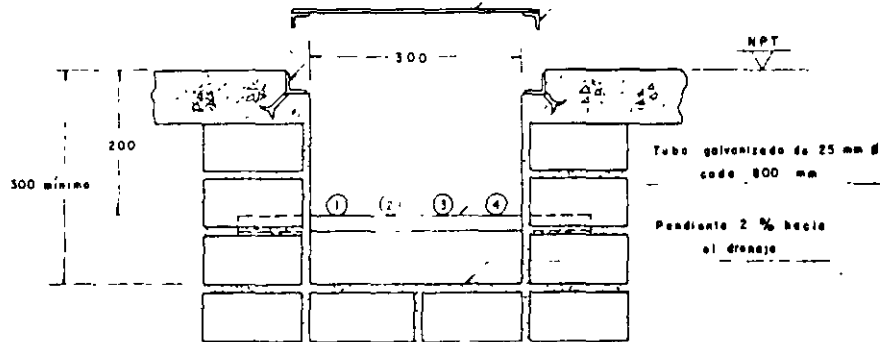
DETALLE DE GUIA DE TUBERIAS EN TRINCHERA



Fº ángulo corrida de 32 x 32  
x 3 mm (con anclas)

Lámina antiderripena  
o rejilla

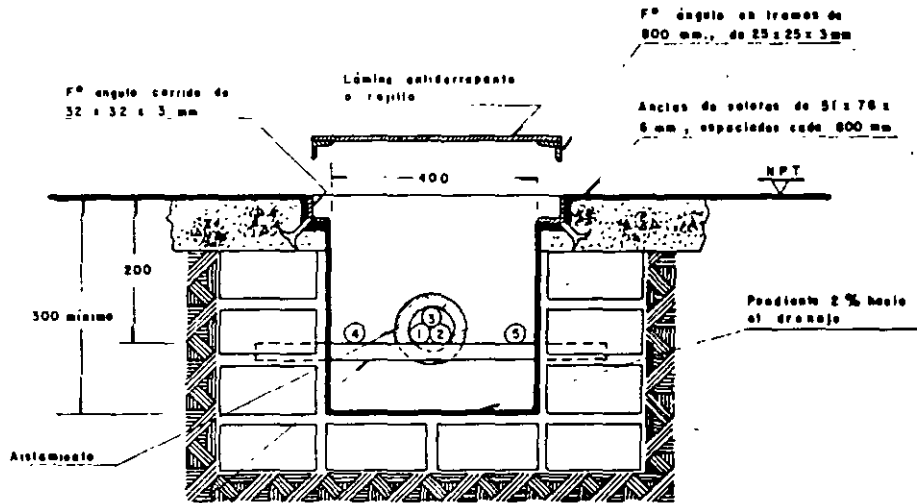
Fº ángulo en tramos de 800 mm,  
de 25 x 25 x 3 mm



- 1 - Alimentación de combustible a la(s) caldera(s)
- 2 - Retorno de combustible al tanque
- 3 - Tubería de de purgas de la(s) caldera(s)
- 4 - Alimentación de agua a la(s) caldera(s).

## DETALLE TRINCHERA

### DIESEL

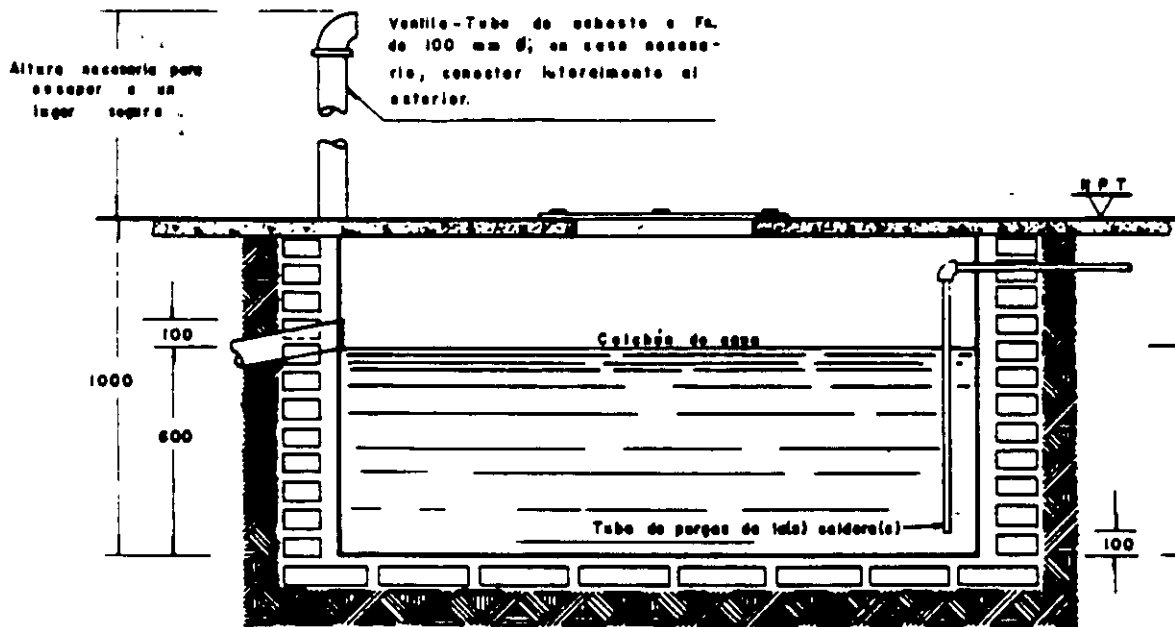
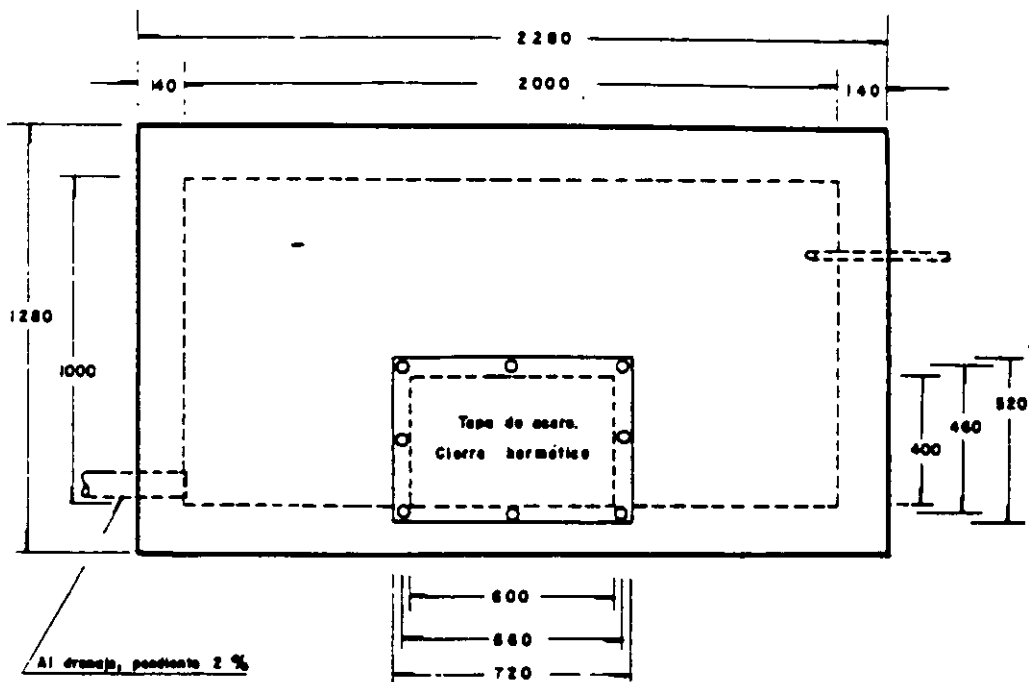


Tubo galvanizado de  
25 mm Ø, cada 800 mm

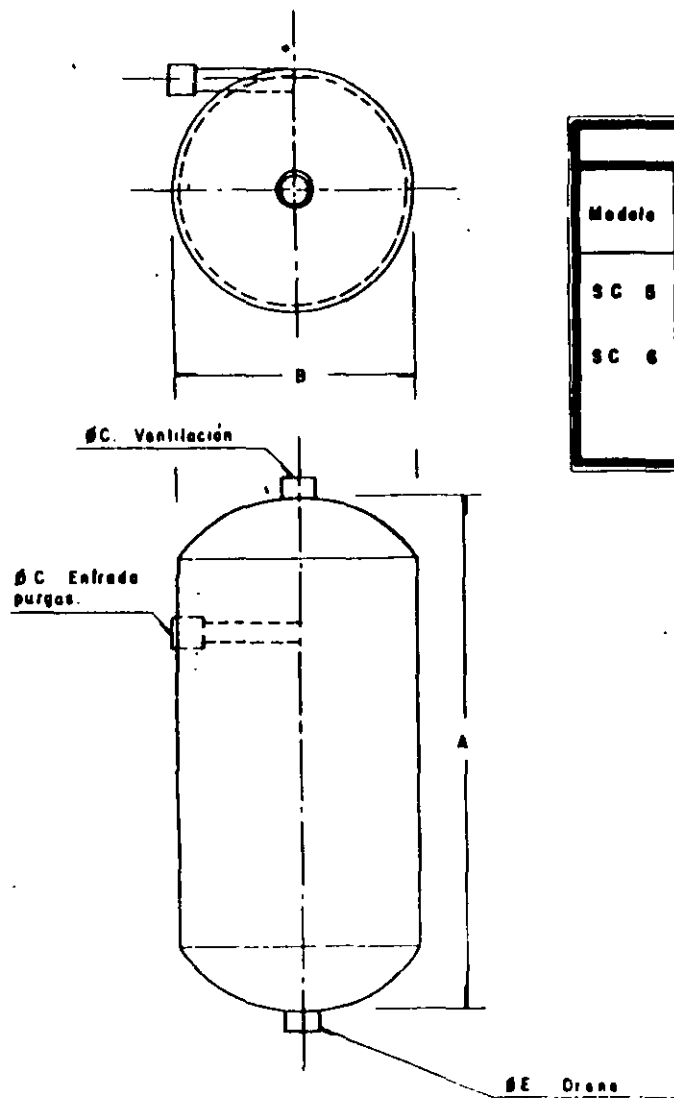
- 1 - Alimentación de combustible a la(s) caldera(s)
- 2 - Retorno de combustible al tanque de almacenamiento
- 3 - Tuba de vapor al tanque de almacenamiento
- 4 - Tubería de purgas de la(s) caldera(s).
- 5 - Alimentación de agua a la(s) caldera(s)

## DETALLE TRINCHERA

### PETROLEO PESADO



# FOSA DE PURGAS



DIMENSIONES DEL SEPARADOR CENTRIFUGO									
Modelo	Ceballos Caldera	Presión Kg/cm <sup>2</sup> (lbs/pulg <sup>2</sup> )	Volumen Lit.	Esesor placa mm (")	A mm	B mm	C mm (")	D mm (")	E mm (")
SC 5	125 a 350	10.5 (150)	75	7.0 (5/16)	864	356	38 (1-1/2)	152 (6)	102 (4)
SC 6	125 a 350	21.0 (300)	141	9.5 (3/8)	1422	356	38 (1-1/2)	152 (6)	152 (6)

## SEPARADOR CENTRIFUGO

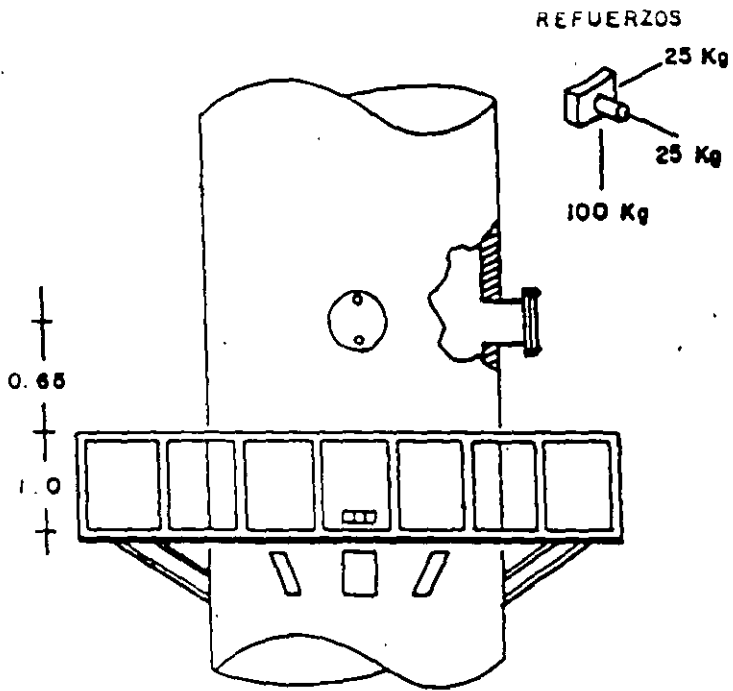


FIG. 4

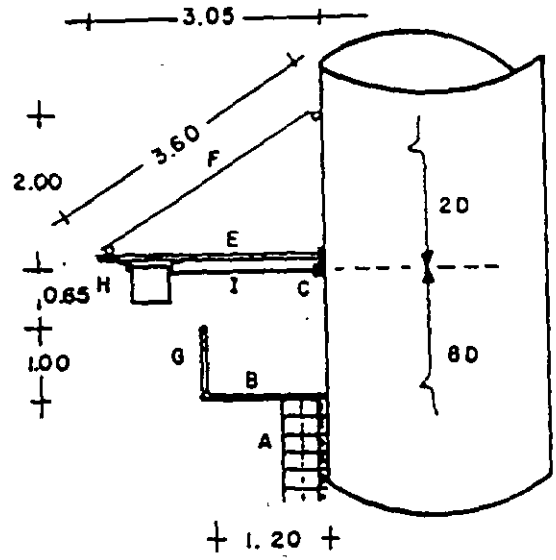


FIG. 5

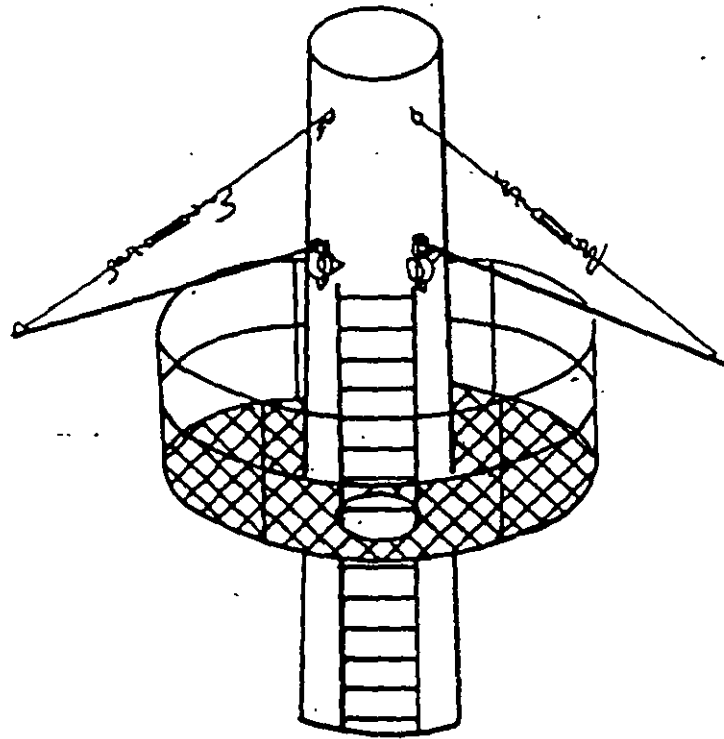
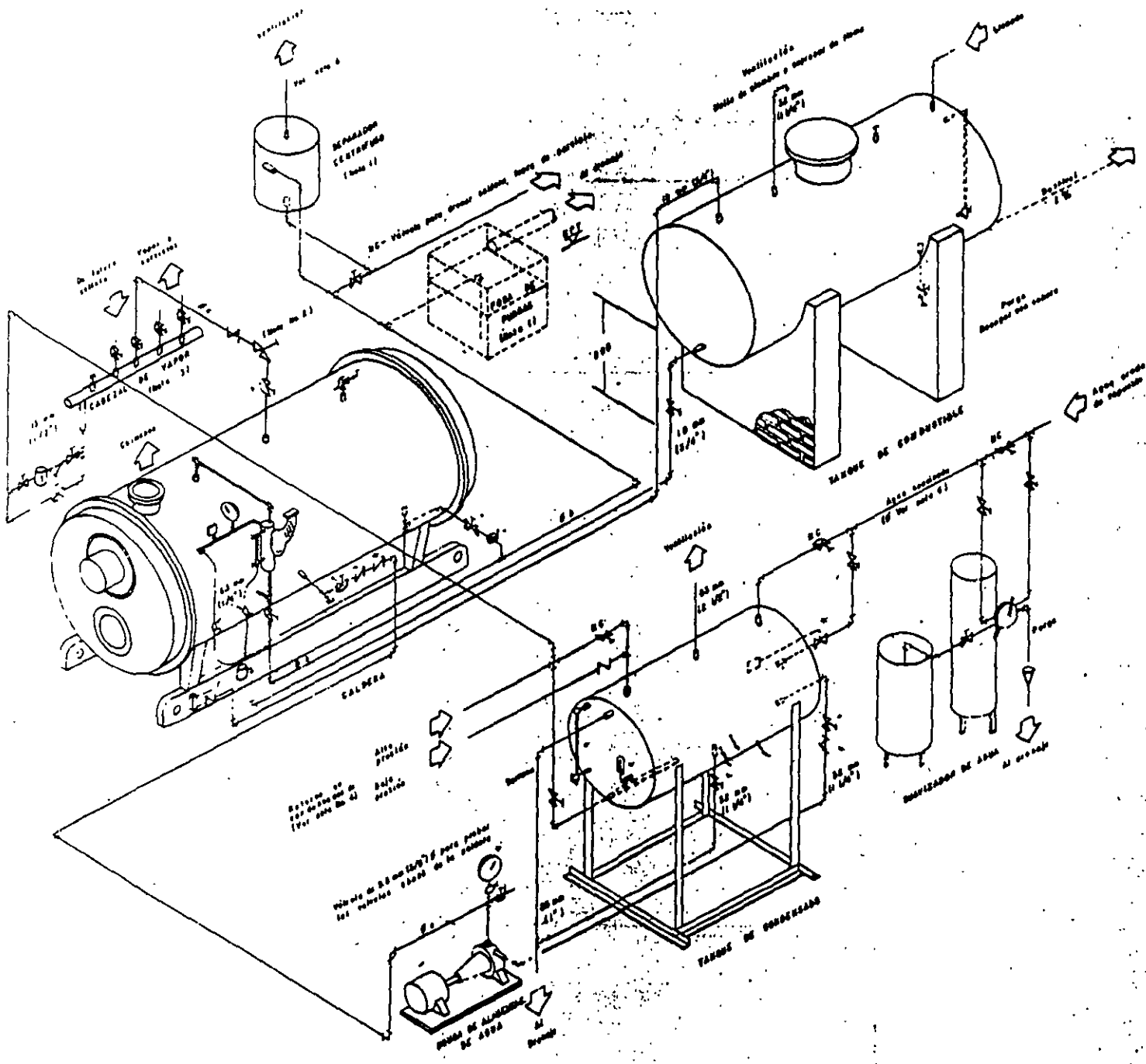


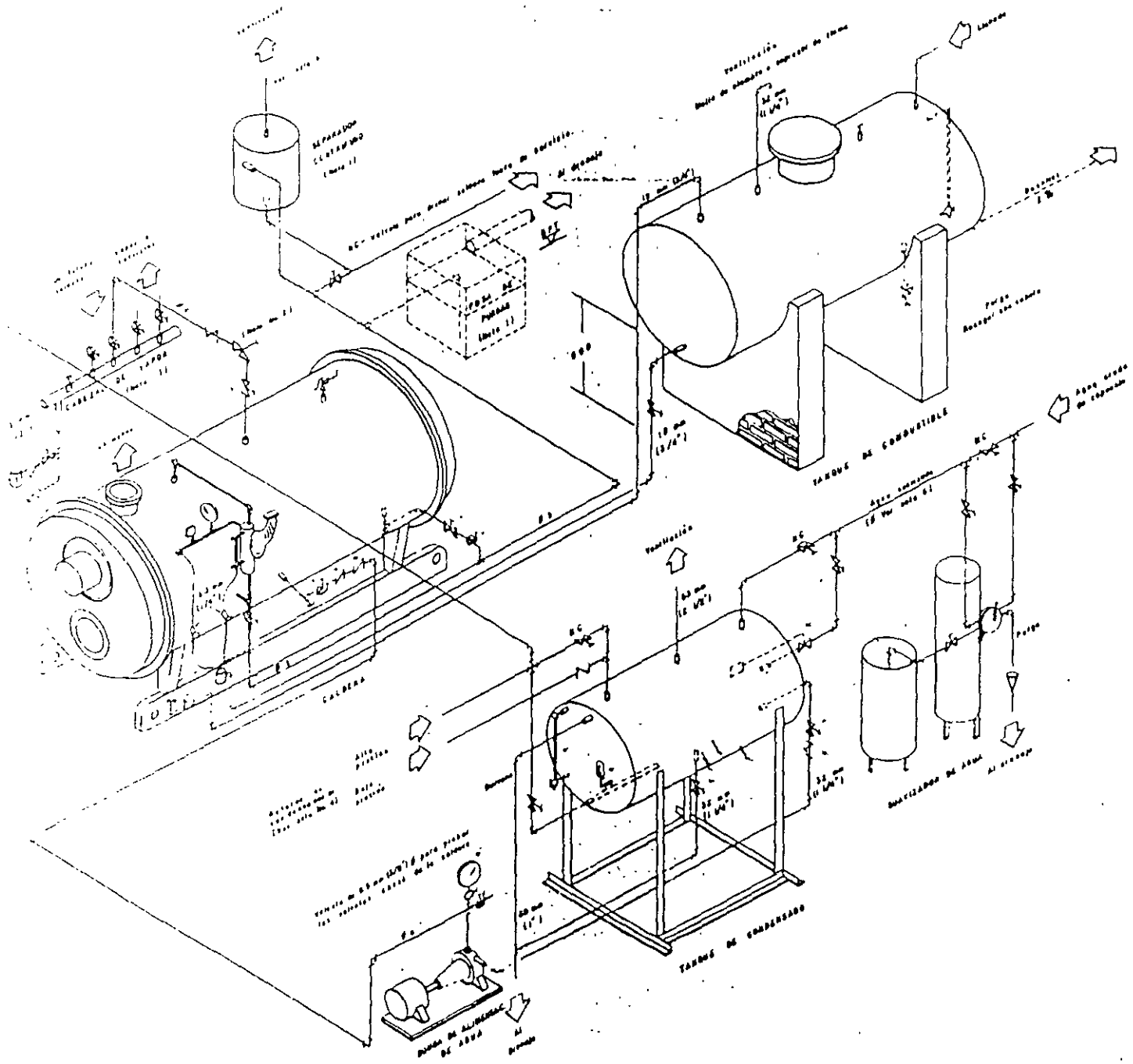
FIG. 6

FIG. 4: VISTA LATERAL DE PUERTOS Y PLATAFORMA PARA MUESTREO

FIG. 5: PERFIL DE PUERTOS Y PLATAFORMA PARA MUESTREO

FIG. 6: INSTALACION COMPLETA DE PUERTOS Y PLATAFORMA DE MUESTREO







**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

**MÓDULO II: MATERIALES, SOLDADURA Y CALDERAS DE  
POTENCIA**

**TEMA:**

**CALDERAS DE POTENCIA**

**ING. ALBERTO PLAUCHU LIMA  
PALACIO DE MINERÍA  
ENERO – FEBRERO 2000**



# DIPLOMADO DE INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN

**INSTRUCTORES:**  
**ALBERTO PLAUCHEU L.**

## MÓDULO II. INGENIERÍA DE CALDERAS

### PARTE 1 - CALDERAS DE POTENCIA.

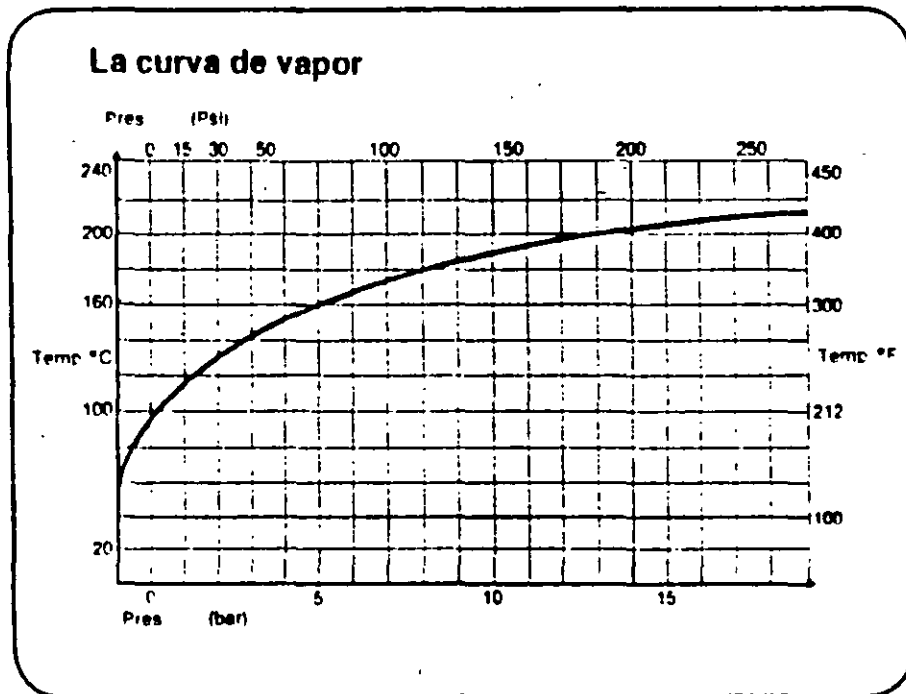
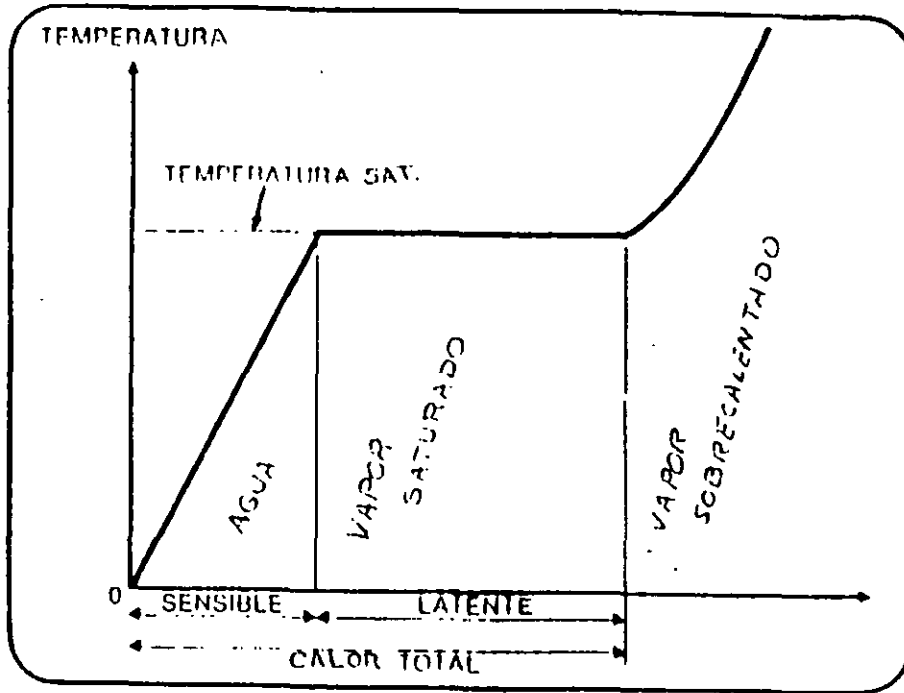
- A. GENERALIDADES.**
  - \* FUNCIÓN DEL GENERADOR - CLASIFICACIÓN - CAPACIDAD - EFICIENCIA - DISPONIBILIDAD - CONTROL.
- B. COMPONENTES DE UNA CALDERA.**
  - \* DOMOS - CABEZALES - PAREDES - ECONOMIZADORES - SOBRECALENTADORES - ATEMPERADORES - CUBIERTAS - CAJAS DE AIRE Y DUCTOS - CALENTADORES DE AIRE - VENTILADORES - QUEMADORES - CHIMENEAS - ESTRUCTURA.
- C. CIRCULACIÓN.**
  - \* CONCEPTOS BÁSICOS - TIPOS DE CIRCULACIÓN - RANGOS DE APLICACIÓN.
- D. DISEÑO TÉRMICO.**
  - \* CONCEPTOS BÁSICOS - MODOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR - ABSORCIÓN EN DIFERENTES COMPONENTES - BALANCE TÉRMICO EN UNA CALDERA.
- E. ESPECIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CALDERAS.**
  - \* PROBLEMAS CON CALDERAS EN SERVICIO - CAUSAS DE ESPECIFICACIÓN DEFICIENTE - ¿QUIÉNES INTERVIENEN? - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UNA ESPECIFICACIÓN - ALGUNAS SOLUCIONES.
- F. CÓDIGO ASME DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN.**
  - \* SECCIÓN I - CALDERAS DE POTENCIA - INTRODUCCIÓN - FILOSOFÍA DEL CÓDIGO - ESTRUCTURA DE LA SECCIÓN I - RELACIÓN CON OTRAS SECCIONES Y CÓDIGOS - DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA - CONCEPTO "CONSTRUIDO A CÓDIGO"
- G. USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN CALDERAS.**
  - \* FUNDAMENTOS DE ADMINISTRACIÓN - DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN LA GENERACIÓN DE VAPOR - GENERACIÓN EFICIENTE DE VAPOR - INFLUENCIA DEL CONTROL EN LA EFICIENCIA - MÉTODOS DE CÁLCULO DE EFICIENCIA - CONCLUSIONES.

# CALDERAS, COMBUSTIBLES Y COMBUSTION

El empleo de vapor como fuerza motriz, se remota a muchos años atrás, los primeros registros con que se cuenta datan del siglo I a C. Sin embargo estos fueron intentos aislados, no siendo hasta a principios del siglo XVIII cuando se inicia formalmente la utilización del vapor en forma generalizada. Las primeras calderas que se emplean fueron las del tipo tetera (Sheil), un gran recipiente relleno de agua y calentada en su parte inferior; de forma simultánea surgieron las primeras calderas de tubos de humo. Por las características del diseño (calentamiento directo de los recipientes a presión, que contenían grandes volúmenes de agua en condiciones de vapor saturado) estas primeras calderas estuvieron sujetas a explosiones y accidentes, habiendo puesto en riesgo el desarrollo industrial de la época.

A raíz de esa problemática se buscó el diseño que pudiera otorgar seguridad a la operación de las calderas. Se buscaba desarrollar un diseño de caldera que tuviera la mayor parte de la superficie de calentamiento formado por tubos, los cuales transportaran y permitirán el calentamiento de un volumen de agua menor, produciendo con esto menos presiones y evitando consecuentemente las roturas frecuentes de aquellas partes sometidas a presiones elevadas. Stephen Wilcox introdujo en 1856 una modificación sustancial al diseño tradicional ya descrito, las características básicas de su desarrollo permitían una mejor circulación de agua y una mayor superficie de calentamiento, logrando con ello tener una caldera inherentemente segura.

A partir de entonces se sucedieron una serie de cambios y mejoras, basadas en una utilización generalizada de las calderas en diversos procesos de



producción industrial. Como ejemplo consideramos una caldera típica de finales del siglo XIX, la cual quemaba como combustible carbón, con una cantidad máxima de combustible quemado de 120 kg por m<sup>2</sup> de pantalla por hora, con una superficie de calefacción de 84 m<sup>2</sup> y con un rendimiento de 50%.

Cien años después y gracias a la experiencia adquirida en diseño, fabricación y operación se cuenta con calderas de gran confiabilidad. Tanto es el desarrollo que se ha alcanzado con la utilización de las calderas, que se tiene un amplio espectro del tamaño de ellas para diferentes usos, disponiéndose desde la pequeña usada para la calefacción casera, hasta las enormes usadas para la producción de energía eléctrica.

Como ejemplo de una caldera actual, mencionaremos algunas características de una caldera usada por CFE para generar 300 MW de energía eléctrica. Esta quema combustóleo a razón de 80 ton por hora, a plena carga con 16 quemadores dispuestos en 4 niveles en forma tangencial, produce 975 ton de vapor sobrecalentado, posee una superficie de calefacción de 23,125 m<sup>2</sup> y operan con eficiencias de alrededor del 89%. En los más de 100 años transcurridos desde la modificación realizada por Wilcox, los conocimientos sobre el vapor y el agua han aumentado grandemente, sus propiedades han sido determinadas y tabuladas adecuadamente, se han obtenido nuevos conocimientos de transmisión de calor, flujo de fluidos y circulación de agua-vapor, así como medios para quemar grandes cantidades de combustibles y procesar los subproductos de la combustión con equipos de control de emisiones. Se han fabricado aceros y aleaciones más fuertes y consistentes en sus propiedades, los métodos de fabricación de tuberías y recipientes son más avanzados; además se han adoptado códigos y normas para regular el diseño, fabricación e inspección de todas aquellas partes sujetas a presión.

Si bien es cierto que se han tenido grandes avances tecnológicos, por otro lado han surgido limitantes muy importantes para el empleo indiscriminado de calderas o de cualquier equipo de combustión, como son:

- Los altos índices de contaminación atmosférica, sobre todo en las zonas de alta concentración industrial y
- Los altos costos de los combustibles

Esas dos características obligan a pensar en la necesidad de implementar programas de ahorro o uso racional de energía, ya que a través de un programa de estos, se abaten tanto los altos costos como los altos índices de contaminación.

Dentro de estos programas se analizan puntos como los siguientes:

- El uso adecuado de los equipos; determinar las condiciones adecuadas de trabajo de acuerdo al diseño (presión de trabajo, temperatura de trabajo, máxima eficiencia o la capacidad más cercana a la requerida, etc), programas de mantenimiento, supervisión adecuada, etc.
- El uso racional de la energía asociada a los equipos, evitar pérdidas innecesarias (fugas de calor, fugas de vapor, etc), aprovechar el calor de desperdicio o rechazo (utilizar la alta temperatura en los gases de combustión), optimizar la combustión (carburación de los sistemas de combustión) etc.

En lo relativo a equipos de combustión, se analizarán la mayoría de los puntos mencionados, iniciando por las calderas, como equipos de principal importancia en la mayoría de los procesos industriales.

---

## 1.1 TIPOS DE CALDERAS Y SUS CARACTERISTICAS

### *Definición 1*




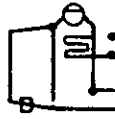

Una caldera es un recipiente cerrado en el cual se calienta agua, se genera vapor o se sobrecalienta, bajo presión o vacío, mediante la aplicación de calor proveniente de la combustión de combustibles, electricidad o energía nuclear.

### 3. CLASIFICACION DE LOS GENERADORES DE VAPOR

- Por la presión de trabajo:
  - Subcríticas.
    - De baja presión  $p < 20 \text{ kg/cm}^2$ .
    - De media presión  $20 > p > 64 \text{ kg/cm}^2$ .
    - De alta presión  $p > 64 \text{ kg/cm}^2$ .
  - Supercríticas.
- Por el tiro:
  - De tiro natural.
  - De hogar presurizado.
  - De hogar equilibrado.
- Por el modo de gobernar la operación:
  - De operación manual.
  - Semiautomáticos.
  - Automáticos.

Sobre las posibilidades de utilización, en la figura 3.1, se han incluido los límites de utilización para algunos tipos de calderas.

FIGURA 3.1. Límites de utilización de algunos tipos de calderas

FUEGO	FONDO			—			—			—			X			X		
	TECHO			—			—			—			X			—		
FRONTAL				X			X			X			X			X		
T (°C)	P (Bar)	Q (t/h)	T	P	Q	T	P	Q	T	P	Q	T	P	Q	T	P	Q	
500 400 300	125 100 75 60 25	250 200 150 100 50																
SIMBOLO																		
TIPO CALDERA			UN PASO			DOS PASOS			PAQUETE			DOS PASOS			PARRILLA			
CALDERA TUBOS DE HUMOS									CALDERAS TUBOS DE AGUA									

Fuente: Adaptado de VDI-BERICHT 255. -Dampf und Wärme-

La clasificación aquí adoptada puede ampliarse, si se incluyen en la lista las calderas de agua sobrecalentada y las de fluidos térmicos, aunque en rigor no son generadores de vapor.

También podrían incluirse los generadores de vapor empleados en las centrales nucleares, tipos PWR (reactor de agua a presión), BWR (reactor de agua en ebullición), que utilizan como combustible uranio enriquecido y agua ligera como moderador y tipo SGHWRC (reactores de agua pesada para generación de vapor), aunque realmente se salen de los objetivos perseguidos por este Manual.

## ***Definición 2***

Una caldera es un sistema sujeto a presión que transfiere calor. Este calor se obtiene de una mezcla de aire - combustible para producir vapor y/o agua caliente.

Las calderas se subdividen generalmente y de acuerdo a su utilización, en cuatro tipos clásicos

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Generación de energía eléctrica (o de potencia)

Para efectos de este curso, nos limitamos a las calderas que transfieren calor proveniente de la combustión de diversos combustibles y para uso industrial

En términos más generales, las calderas se dividen en pirotubulares y acuotubulares, dependiendo de si los tubos contienen los gases de combustión o el agua

---

### ***1.1.1 CALDERAS PIROTUBULARES***

En estas calderas los gases de la combustión son obligados a pasar por el interior de unos tubos, que se encuentran sumergidos en la masa de agua. Todo el conjunto, agua y tubos de gases, se encuentra rodeado por una carcasa exterior. Los gases calientes, al circular por los tubos, ceden calor sensible, el cual se transmite a través de los tubos, al agua.

Estas calderas tienen una presión de trabajo que no excede normalmente de  $20 \text{ kg/cm}^2$ , ya que presiones más altas obligarían a espesores de la carcasa demasiado grandes. Su producción de vapor máxima se encuentra alrededor de 25t/h.

En el contexto de este curso se estudiarán dos tipos de calderas pirotubulares para combustibles líquidos y gaseosos:

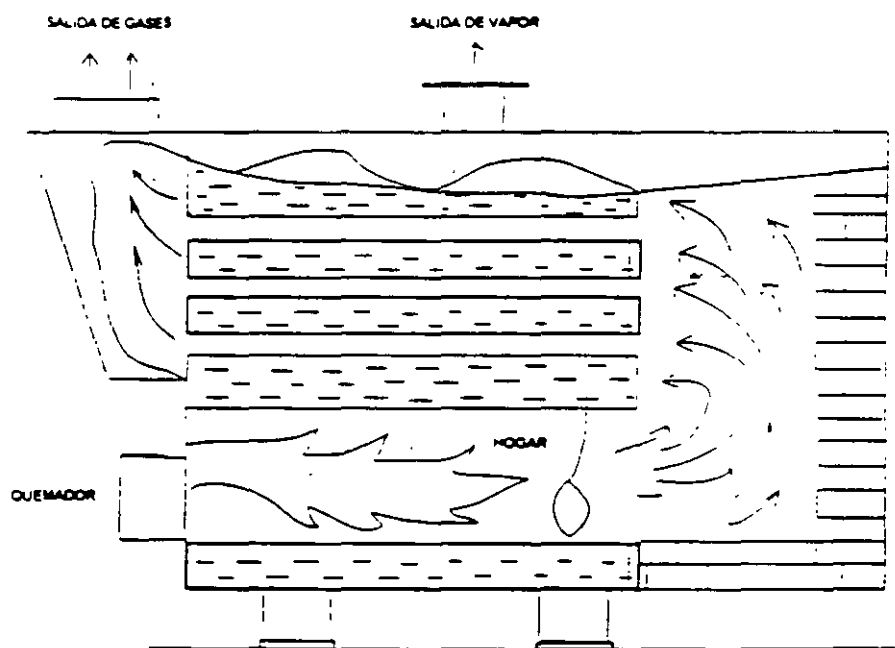
- Calderas de hogar integral
- Calderas compactas con tubo hogar

### Calderas Pirotubulares de Hogar Integral

En la Fig. 1.1 se puede ver el esquema de una caldera de este tipo, en el cual se puede ver el tipo de flama que se produce y el paso de los gases de combustión por los tubos en los cuales se lleva a cabo el intercambio de calor. Como se observa, el hogar y los tubos forman una sola unidad.

Comúnmente estas calderas se fabrican en el sitio de operación con material cerámico aislante de alta temperatura.

**FIG. 1.1: ESQUEMA DE CALDERA PIROTUBULAR DE HOGAR INTEGRAL**





---

## Caldera Piro tubular Compacta con Tubo Hogar

El diseño de estas calderas muestra un tubo central sumergido en el agua, el cual hace de hogar. Los gases de combustión ceden calor a este tubo por radiación. Posteriormente son obligados a pasar por los tubos, los cuales están sumergidos en agua, al igual que en todas las calderas piro tubulares

Estas calderas tienen las siguientes ventajas:

1. Capacidad de soportar fluctuaciones de carga bruscas y grandes, produciéndose sólo ligeras variaciones en la presión debido a la gran cantidad de agua almacenada.
2. Bajo costo inicial
3. Bajo costo de mantenimiento
4. Simplicidad de instalaciones que sólo exigen la cimentación y las interconexiones de la caldera a las redes de agua, vapor, combustible y electricidad, ya instaladas previamente de la fábrica

Este tipo de caldera es el de mayor utilización en la industria nacional por las ventajas ya mencionadas, además de que en condiciones adecuadas de operación y mantenimiento pueden trabajar con rendimientos hasta el 90% o más. Generalmente proporcionan vapor a dos niveles, bajo hasta 10.5 kg/cm<sup>2</sup> y alto hasta 20 kg/cm<sup>2</sup>, la producción de vapor alcanza hasta 25 t/h

A pesar de las ventajas anteriores, las calderas piro tubulares presentan ciertos problemas y limitaciones como son: restricciones en tamaño y capacidad por resistencia de la carcasa, tensiones térmicas y peligro de explosión por el efecto combinado de lo anterior y las incrustaciones, así como por otras causas.

Lo anterior ha conducido a la construcción de calderas acuotubulares, en las cuales los gases de combustión pasan por el exterior de tubos que conducen agua, vapor o una mezcla de ambas.

---

### 1.1.2 CALDERAS ACUOTUBULARES

Como ya se mencionó anteriormente, el diseño de estas calderas es totalmente diferente al de las pirotubulares, ya que los gases de combustión circulan por la parte externa de los tubos, mientras que por su interior lo hace el agua, posteriormente agua-vapor y finalmente vapor

Estas calderas tienen un gran espectro de producción de vapor, la cual puede variar desde una pequeña producción de vapor, calderas compactas, hasta las grandes producciones de vapor, calderas de centrales termoeléctricas, funcionando en condiciones en extremo críticas del vapor. En la industria, comúnmente, se utilizan las calderas de vapor acuotubulares que operan a presiones inferiores a  $64 \text{ kg/cm}^2$  y temperaturas por abajo de  $450^\circ\text{C}$ . Como una clasificación general, se consideran calderas acuotubulares pequeñas y medianas las que tienen capacidades de vaporización desde 3 hasta 100 toneladas/hora, éstas a su vez se clasifican en diferentes tipos

---

#### Calderas Acuotubulares Compactas

Debido a su gran demanda, los fabricantes de calderas más importantes construyen este tipo de calderas, las cuales tienen como característica predominante que se construyen totalmente en los talleres del fabricante y se venden y envían como un paquete al lugar de su utilización. En principio pueden suministrarse para quemar cualquier tipo de combustible (combustóleo, gasóleo, diesel, gas natural o licuado, e inclusive carbón), variando lógicamente con el tipo de combustible las características tanto del hogar como de los sistemas de combustión y sus diferentes accesorios periféricos.

Por la característica ya mencionada anteriormente (paquete en el cual el cierre de los gases suele estar formado por paredes membrana por las que circula el agua o la mezcla agua-vapor) estas calderas requieren poca obra civil para su instalación. Comúnmente los diferentes autores identifican dos tipos de calderas y son:

---

### ***a) De Hogar Integral Pequeñas***

Son calderas con una producción de vapor de hasta 30t/h. El hogar está recubierto de unas paredes membranas. El tiro es forzado y los quemadores van incluidos en la caldera.

Véanse las Figs. 12 y 13, en donde se muestran calderas de este tipo para diferentes tipos de combustible.

Las calderas compactas de hogar integral pequeñas son recomendables, para los siguientes casos:

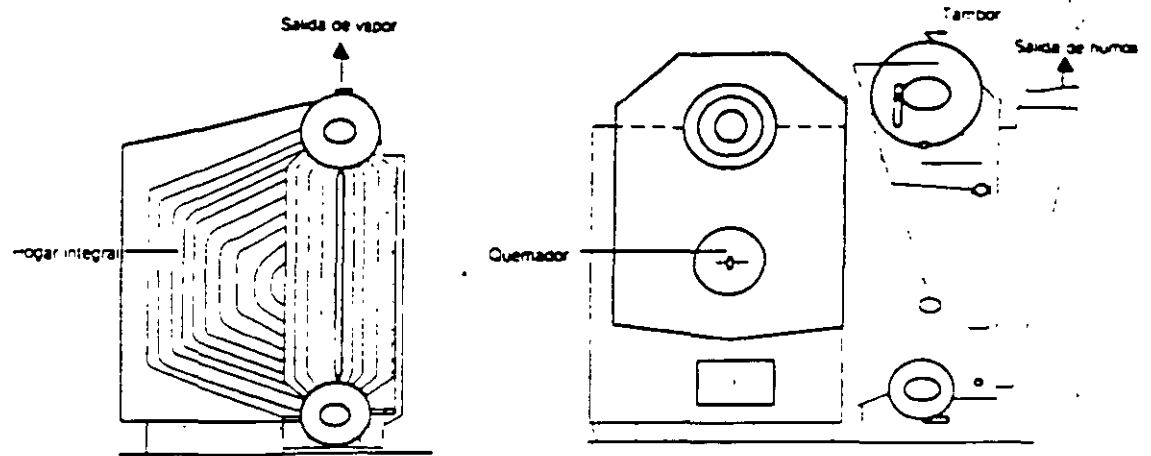
1. Cuando se requiere una rápida instalación
2. Cuando se dispone de poco espacio
3. Cuando puede ser necesario el traslado de la caldera a otra localización
4. Cuando el proceso requiere una mayor presión de vapor que la suministrada por una piro-tubular compacta

### ***b) De Hogar Integral Grandes***

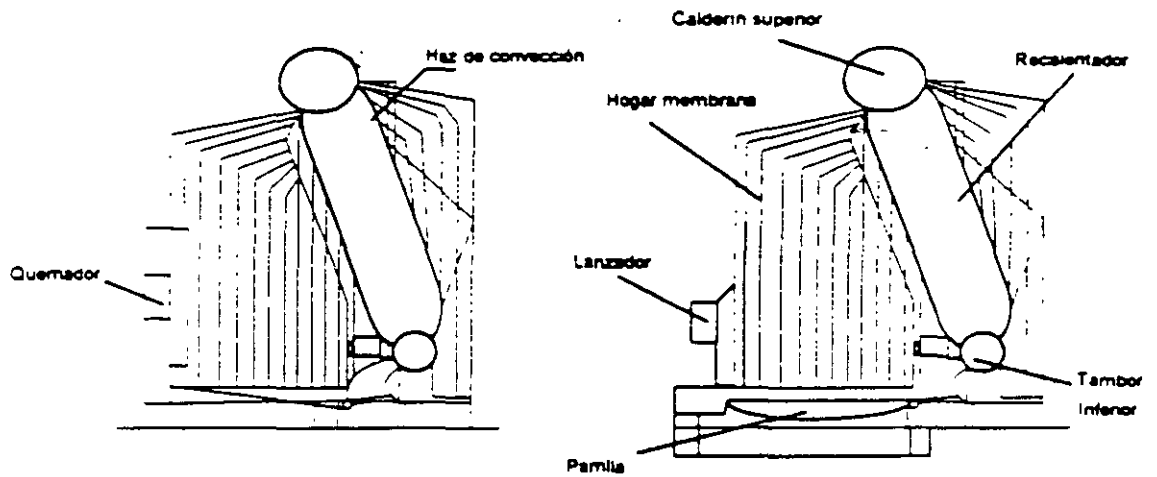
Estas son calderas de mayor producción de vapor, 200t/h, también tienen el hogar recubierto de paredes membrana, son de tiro forzado en su mayoría (puede haber de tiro balanceado).

En las Figs. 14 y 15 aparecen calderas de este tipo para diferentes combustibles.

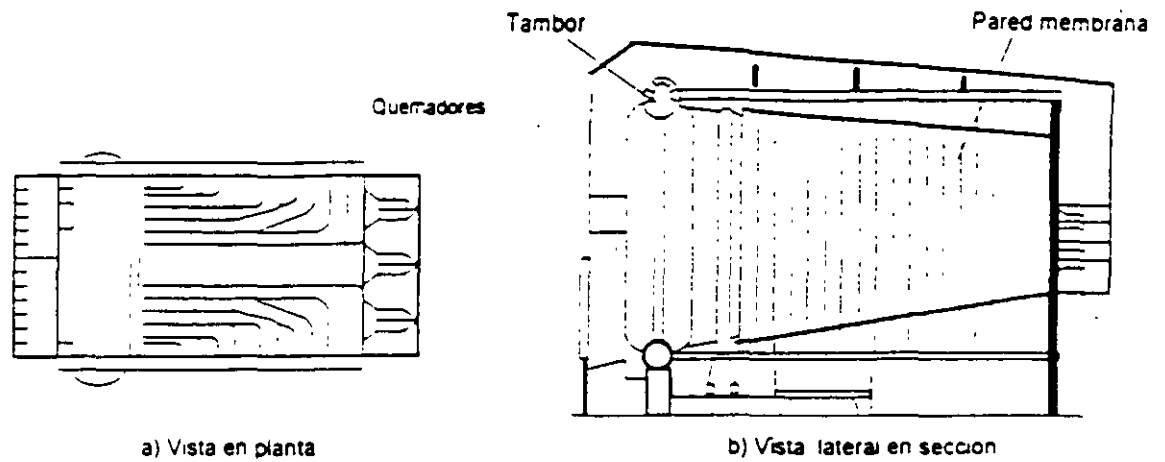
**FIG. 1.2: CALDERA COMPACTA DE HOGAR INTEGRAL PEQUEÑA PARA COMBUSTOLEO O GAS**



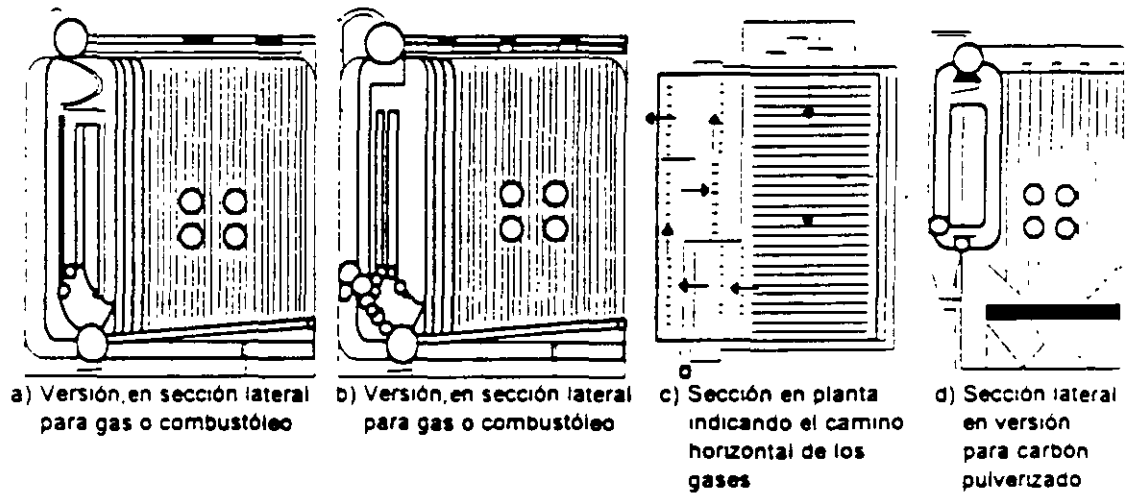
**FIG. 1.3: CALDERA COMPACTA DE HOGAR INTEGRAL PEQUEÑA EN VERSION PARA CARBON Y EN VERSION PARA COMBUSTOLEO O GAS NATURAL**



**FIG. 1.4: CALDERA COMPACTA DE HOGAR INTEGRAL GRANDE PARA COMBUSTOLEO O GAS**



**FIG. 1.5: CALDERA COMPACTA DE HOGAR INTEGRAL GRANDE, VERSION PARA CARBON Y VERSION PARA COMBUSTOLEO O GAS NATURAL**



Las calderas compactas de hogar integral grande son aplicables para los siguientes casos:

- 1 Producción de vapor requerida para generación de energía o para utilización en proceso

2. Cuando las limitaciones de espacio obliguen a la optimización de éste
3. Cuando los requerimientos de vapor sean superiores a los de las calderas de hogar integral pequeñas

Existen otros tipos de calderas que no serán analizadas en este curso y sólo se mencionarán:

- Calderas Acuotubulares No Compactas
  - Tubos rectos
  - Tubos curvos
- Calderas Acuotubulares de Alta Presión y Alta Temperatura
- Calderas de Lecho Fluidizado
  - Burbujante
  - Circulante
  - Presurizado

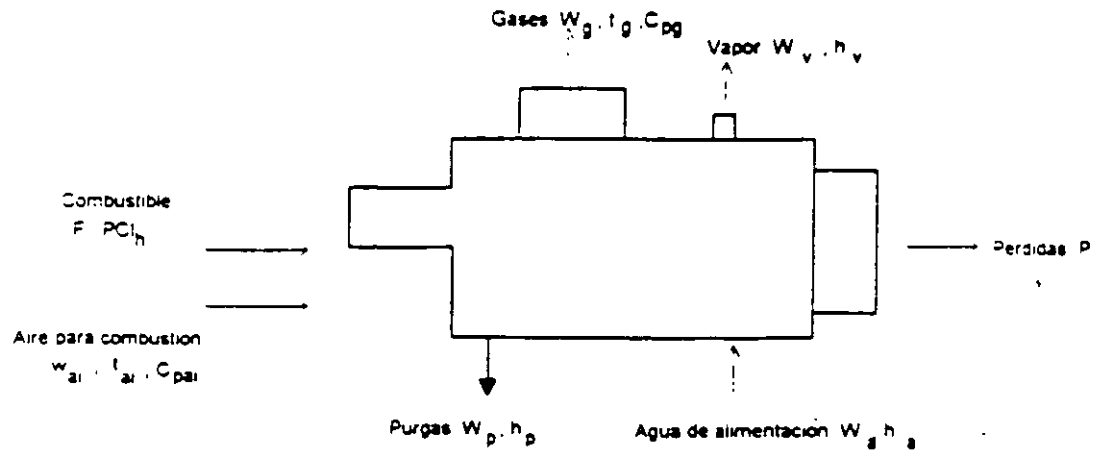
---

## 1.3 RENDIMIENTO DE LAS CALDERAS DE VAPOR

Para conocer como esta funcionando una caldera de vapor y poder tomar acciones encaminadas a una mejor operación y por ende, un funcionamiento más eficiente, se requiere conocer el rendimiento de dicho equipo. Para obtener dicho rendimiento, considerado éste como la relación de calor aprovechado a calor aportado, es necesario realizar balances tanto de masa como de energía.

En la Fig. 16 se pueden observar esquemáticamente los diferentes componentes que intervienen en el balance de masa y energía en una caldera

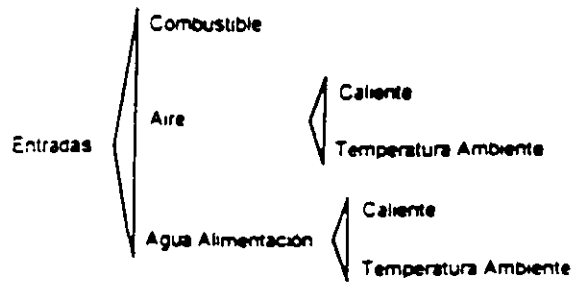
FIG. 1.6: ESQUEMA DE VARIABLES PARA BALANCE DE MASA Y ENERGIA EN UNA CALDERA



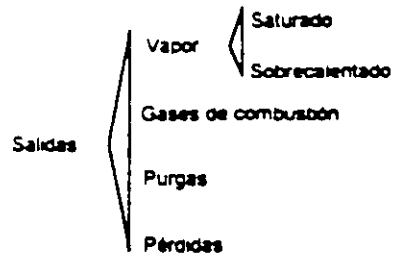
Donde

- $W_a$  = Flujo de agua de alimentacion, kg/h
- $h_a$  = Entalpia de agua de alimentacion, kcal/kg
- $W_v$  = Flujo de vapor, kg/h
- $h_v$  = Entalpia de vapor, kcal/kg
- $W_p$  = Flujo de purgas, kg/h
- $h_p$  = Entalpia de agua de purgas, kcal/kg
- $F$  = Flujo de combustible, kg/h
- $PCI_h$  = Poder calorifico inferior del combustible húmedo, kcal/kg
- $w_{ai}$  = Flujo de aire de combustion, kg/h
- $t_{ai}$  = Temperatura de aire de combustion, °C
- $C_{pai}$  = Calor especifico del aire, kcal/kg·°C
- $W_g$  = Flujo de gases de combustion, kg/h
- $t_g$  = Temperatura de gases de combustion, °C
- $C_{pg}$  = Calor especifico de los gases, kcal/kg·°C
- $P$  = Pérdidas, kcal/h

Como puede verse las entradas a la caldera son:



mientras que las salidas son:



Si se toma en cuenta que para cada una de las salidas y entradas hay asociada una energía, puede prepararse el siguiente cuadro:

ENTRADAS	FLUJO MASICO	ENERGIA ENTRANTE
Combustible	F	$F \times PCI_h$
Aire	$W_{ai}$	$W_{ai} \times C_{p_{ai}} \times t_{ai}$
Agua	$W_a$	$W_a \times h_a$

Para las salidas el cuadro equivalente es:

SALIDAS	FLUJO MASICO	ENERGIA SALIENTE
Vapor	$W_v$	$W_v \times h_v$
Gases	$W_g$	$W_g \times C_{p_g} \times t_g$
Purgas	$W_p$	$W_p \times h_p$
Pérdidas	-	P



Las pérdidas para los combustibles líquidos o gaseosos son las siguientes:

- Pérdidas debidas a la humedad en el combustible
- Pérdidas debidas a la humedad en el aire
- Pérdidas debidas al calor en el vapor de atomización
- Pérdidas en el combustible no quemado, que sale en los gases de combustión (hollin)
- Pérdidas por radiación y convección en superficies exteriores

Para combustibles sólidos son aplicables las pérdidas anteriores mas las siguientes.

- Pérdidas por carbón inquemado
- Pérdidas por calor sensible en esconas
- Pérdidas por calor sensible en polvos de los gases
- Pérdidas por calor en reinyectados pulverizados

De los cuadros anteriores y haciendo igual las energías entrantes a las salientes se tiene:

$$(F \cdot PCI_h) - (W_{ai} \cdot C_{p_{ai}} \cdot t_{ai}) - (W_a \cdot h_a) = \\ (W_v \cdot h_v) + (W_g \cdot C_{p_g} \cdot t_g) + (W_p \cdot h_p) + P$$

Como:  $W_p = W_a - W_v$ , rearreglando se tiene.

$$F \cdot PCI_h = W_v (h_v - h_p) + W_a (h_p - h_a) - W_g \cdot C_{p_g} \cdot t_g - W_{ai} \cdot C_{p_{ai}} \cdot T_{ai} - P$$

Como en la mayoria de las calderas las purgas son muy pequeñas, la ecuación anterior se puede simplificar por el termino siguiente

$$W_a = W_v$$

Asimismo, recordemos que el caudal de los gases de combustion esta formado fundamentalmente por el aire aportado para la combustion, entonces:

$$W_{ai} = W_g$$

Quedando:

$$F \cdot PCI_h = W_v (h_v - h_a) + W_g (Cp_g \cdot t_g - Cp_{ai} \cdot t_{ai}) - P$$

Debido a que los gases de combustión están compuestos por gases triatómicos ( $CO_2$  y  $H_2O$ ), su calor específico es superior al del aire, que está formado por gases diatómicos ( $O_2$ ,  $N_2$ ). La diferencia no llega a ser mayor que un 10%, por lo cual, como una aproximación, puede suponerse que:

$$Cp_{ai} = Cp_g$$

Con lo cual la ecuación anterior resulta

$$F \cdot PCI_h = W (h_v - h_a) + W_g \cdot Cp_g (t_g - t_{ai}) + P$$

Sin embargo, si se requiere un cálculo más preciso, se puede determinar el calor específico de los gases  $Cp_g$  de la siguiente ecuación

$$Cp_g = \sum_i Cp_i \cdot Y_i$$

Donde:

$$Cp_i = \text{Calor específico del componente } i \text{ en los gases}$$

$$Y_i = \text{Fracción volumétrica del componente } i \text{ en los gases}$$

---

### 1.3.1 CALCULO DE RENDIMIENTO

Dicho cálculo es el resultado de dividir la cantidad de calor asociada al vapor por la liberada en la combustión del combustible. Esta definición no toma en cuenta los calores sensibles aportados por el combustible y el aire comburente, al ser éstos mucho menores y por lo tanto despreciables frente al resto.

Su cálculo se puede realizar por cualquiera de los métodos siguientes:

## Método Directo

Se mide la cantidad total de vapor producido, su temperatura y presión, así como la cantidad de combustible consumido. Conocido el  $(PCI)_h$  de dicho combustible, determinar el calor  $Q$  que suministra. Lógicamente, este rendimiento está medido con respecto al  $(PCI)_h$ .

A partir de estos datos, medidos unos y tabulados otros, se obtiene el rendimiento por medio de las fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} Q &= F \cdot (PCI)_h \\ E &= W_v \cdot (h_v - h_a) \cdot 100/Q \end{aligned}$$

Donde:

$$E = \text{Rendimiento, \%}$$

## Método Indirecto o de Pérdidas Separadas

Se evalúan las siguientes pérdidas:

- 1 Pérdidas por calor sensible en los gases de combustión

$$P_1 = G_{FH} \cdot C_{pg}(t_g - t_{ai}) 100/PCI_h$$

Donde

$$\begin{aligned} P_1 &= \text{Pérdidas por calor sensible en los gases (\%)} \\ G_{FH} &= \text{Caudal de gases totales (kg gases/kg comb.)} \\ C_{pg} &= \text{Calor específico medio de los gases (kcal/kg.°C)} \\ &C_g = M + N \text{ (M y N son coeficientes variables con la temperatura)} \\ t_g &= \text{Temperatura de los gases a la salida (°C)} \\ t_{ai} &= \text{Temperatura del aire a la entrada (°C)} \\ (PCI)_h &= \text{Poder calorífico inferior húmedo del combustible (kcal/kg)} \end{aligned}$$

## 2 Pérdidas por inquemados

Una expresión semiempírica que funciona bastante bien para los combustibles líquidos y gaseosos industriales es la siguiente.

$$P_2 = \left( \frac{21}{21 - [O_2]} \right) \left( \frac{[CO]}{3100} + \frac{[CH]}{10000} + \frac{OP}{65} \right)$$

Donde:

$P_2$	=	Pérdida por inquemados, % sobre el $(PCI)_h$
$[O_2]$	=	Contenido de $O_2$ en los gases, %
$[CO]$	=	Concentración de CO en los gases, ppm
$[CH]$	=	Concentración de CH en los gases, ppm
OP	=	Opacidad de los gases, %

## 3 Pérdidas por radiación y otros

Se calcula en tanto por ciento sobre el  $(PCI)_h$  para diferentes capacidades de vaporización. Los valores aproximados que se muestran en la Fig 1 28 son útiles cuando la caldera funciona a su capacidad máxima de vaporización.

Si la caldera funciona a cargas parciales, estas pérdidas son casi inversamente proporcionales al valor porcentual de la carga

## 4 Pérdidas totales.

$$P = P_1 + P_2 + P_3(\%)$$

El rendimiento de la caldera, en tanto por ciento, se calcula aplicando la ecuación siguiente

$$E = 100 - P$$

---

## Cálculo del Consumo Puntual de Combustible

El consumo puntual de combustible viene dado por

$$F = \frac{W_v (h_v - h_s) \cdot 100}{E \cdot PCI_h}$$

---

### 1.3.2 PRODUCCIONES DE VAPOR POR UNIDAD DE COMBUSTIBLE

Este concepto, muy utilizado en la industria, es función de gran cantidad de variables, tales como tipo de combustible, presión y temperatura del vapor, temperatura del agua de alimentación a la caldera y todo tipo de rendimiento que afectan a esta transformación. Por tanto, a continuación se da la expresión correspondiente a un caso general.

$$IE_v = \frac{E \cdot PCI_h}{100(h_v - h_s)}$$

Donde

$IE_v$  = Producción de vapor por unidad de combustible  
(índice energético), kg vapor/kg combustible

## 1.7.2 ASPECTOS ENERGETICOS DE LA COMBUSTION

### Composiciones Seca y Húmeda de Combustibles

#### Definiciones

Para cualquier clase de combustible se denomina composición húmeda a la fracción de combustible que existe de cada uno de sus componentes, incluyendo la humedad como un componente más. Se denomina composición seca a la fracción del combustible seco que existe de cada uno de sus componentes, es decir una vez eliminada la humedad.

#### Combustibles Sólidos y Líquidos

Sea un combustible de composición húmeda:

Carbón	C kg/kg comb
Hidrógeno	H kg/kg comb
Azufre	S kg/kg comb
Nitrógeno	N kg/kg comb
Oxígeno	O kg/kg comb
Humedad	M kg/kg comb
Cenizas	A kg/kg comb

$$C + H + S + N + O + M + A = 1$$

Su composición seca será

Carbón	C' kg/kg comb seco
Hidrógeno	H' kg/kg comb seco
Azufre	S' kg/kg comb seco
Nitrógeno	N' kg/kg comb seco
Oxígeno	O' kg/kg comb seco
Cenizas	A' kg/kg comb seco

$$C' + H' + S' + N' + O' + A' = 1$$

Las relaciones entre las dos composiciones son:

$$\begin{aligned} C &= C' (1 - M) \\ H &= H' (1 - M) \\ S &= S' (1 - M) \\ N &= N' (1 - M) \\ O &= O' (1 - M) \\ A &= A' (1 - M) \end{aligned}$$

### Combustibles Gaseosos

Sea un combustible gaseoso de composición húmeda.

Hidrógeno	:	$H_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Monóxido de carbono	:	$CO \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Sulfuro de hidrógeno	:	$SH_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Diversos hidrocarburos	:	$\Sigma C_m H_n \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Nitrógeno	:	$N_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Bióxido de carbono	:	$CO_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Oxígeno	:	$O_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$
Agua	:	$H_2O \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb}$

$$H_2 + CO + SH_2 + N_2 + CO_2 + O_2 + H_2O + \Sigma C_m H_n = 1$$

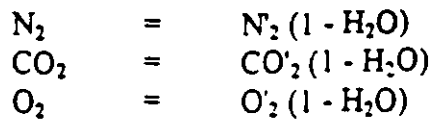
Su composición seca será:

Hidrógeno	:	$H'_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Monóxido de carbono	:	$CO' \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Sulfuro de hidrógeno	:	$SH'_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Diversos hidrocarburos	:	$\Sigma C_m H_n' \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Nitrógeno	:	$N'_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Bióxido de carbono	:	$CO'_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$
Oxígeno	:	$O'_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ comb seco}$

$$H'_2 + CO' + SH'_2 + \Sigma C_m H_n' + N'_2 + CO'_2 + O'_2 = 1$$

Las relaciones entre las dos composiciones son:

$$\begin{aligned} H_2 &= H'_2 (1 - H_2O) \\ CO &= CO' (1 - H_2O) \\ SH_2 &= SH'_2 (1 - H_2O) \\ \Sigma C_m H_n &= \Sigma C_m H_n' (1 - H_2O) \end{aligned}$$




---

## Poderes Caloríficos de Combustibles

### *Definiciones*

**El poder calorífico superior seco (PCS)<sub>s</sub>.** Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible seco, quedando finalmente el agua formada en la combustión en forma líquida a 0°C y a 1 atm (kcal/unidad comb seco).

**Poder calorífico superior húmedo (PCS)<sub>h</sub>.** Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible quedando finalmente el agua formada en la combustión en forma líquida a 0°C y a 1 atm (kcal/unidad comb).

**Poder calorífico inferior seco (PCI)<sub>s</sub>.** Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible seco, quedando finalmente el agua en forma de vapor (kcal/unidad comb seco).

**Poder calorífico inferior húmedo (PCI)<sub>h</sub>.** Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible, quedando finalmente el agua en la combustión en forma de vapor (kcal/unidad comb).

La diferencia entre el poder calorífico superior y el inferior radica en la entalpía de vaporización del agua

En el Sistema Internacional (S I.), los poderes caloríficos se expresan en kJ por unidad de combustible (1 kJ = 4 186 kcal).

### *Combustibles Sólidos y Líquidos*

Se pueden aplicar las siguientes fórmulas aproximadas.--



$$(PCS)_s = 8,100 C' + 34,200 (H' - O'/8) + 2,500 S' \text{ kcal/kg comb seco}$$

$$(PCS)_h = 8,100 C + 34,200 (H - O/8) + 2,500S \text{ kcal/kg comb}$$

$$(PCS)_h = (PCS)_s (1 - M)$$

$$(PCI)_s = 8,100C' + 34,200 (H'-O'/8) + 2,500S'-5,400 H' \text{ kcal/kg comb seco}$$

$$(PCI)_h = 8,100C+34,200(H-O/8)+ 2,500S-600M-5,400H \text{ kcal/kg de comb}$$

$$(PCI)_h = (PCI)_s (1 - M) - 600M \text{ kcal/kg comb}$$

### **Combustibles Gaseosos**

Se pueden aplicar las siguientes fórmulas aproximadas:

$$(PCS)_s = 3,050H'_2 + 3,020CO' + 6,070SH'_2 - 9,500CH'_4 - \\ 16,810C_2H'_6 + 24,300C_3H'_8 + 31,610C_4H'_{10} + \\ 37,780C_5H'_{12} + 15,140C_2H'_4 + 14,060C_2H'_2 + \\ 35,190C_6H'_6 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ comb seco}$$

$$(PCS)_h = (PCS)_s (1 - H_2O) + 482 H_2O \text{ kcal/Nm}^3 \text{ comb}$$

$$(PCI)_s = 2,570H'_2 + 3,020CO' + 5,590SH'_2 - 8,535CH'_4 \\ +15,365C_2H'_6 + 22,370C_3H'_8 + 29,200C_4H'_{10} + \\ 34,890C_5H'_{12} +14,176C_2H'_4 + 13,580C_2H'_2 + \\ 33,740C_6H'_6 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ comb seco}$$

$$(PCI)_h = (PCI)_s (1 - H_2O) \text{ kcal/Nm}^3 \text{ comb}$$

Si  $Q_{is} = 0$  y  $Q_{CH} = 0$  (caso aproximado de combustión de gases):

---

### **Pérdidas por Calor Sensible de los Gases**

Los gases de combustión poseen un cierto contenido energético, el cual es fundamental cuantificar, para posteriormente llevar a cabo las medidas pertinentes para evitar tal situación o aprovechar la energía existente en ellos.

Las pérdidas por calor sensible de los gases de combustión, se pueden expresar, referidas a los gases de salida, o bien al combustible de alimentación:

- Pérdidas referidas a los gases:  

$$\text{Pérdidas} = W_g \times C_{p_g} \times (t_g - t_{ai}),$$
- Pérdidas referidas al combustible:  

$$P_1 = G_{FH} \times C_{p_g} \times (t_g - t_{ai})$$

Donde:

$P_1$  Pérdidas por calor sensible en los gases (kcal/kg comb)  
 $G_{FH}$  Flujo de gases totales (kg gases/kg comb)  
 $C_{p_g}$  Calor específico medio de los gases (kcal/kg gases $^{\circ}$ C)  
 $t_g$  Temperatura de los gases a la salida ( $^{\circ}$ C)  
 $t_{ai}$  Temperatura del aire a la entrada ( $^{\circ}$ C)

La expresión anterior se puede transformar en:

$$P_1 = \frac{G_{FH} \times C_{p_g} \times (t_g - t_{ai})}{PCI_h} \times 100 [=] \% \text{ sobre la energía suministrada}$$

Para el cálculo de la pérdida  $P_1$ , de los combustibles sólidos o líquidos, se puede utilizar la expresión anteriormente indicada o bien, aproximadamente, la fórmula de Sieggert.

$$P_1 = K \frac{t_g - t_{ai}}{CO_2 + SO_2} [=] \% \text{ sobre la energía suministrada}$$

Donde:

$(CO_2 + SO_2)$  Suma de las concentraciones de  $CO_2$  y  $SO_2$  en los humos secos (%).

El valor de K para aplicar en esta expresión viene dado por la siguiente tabla aproximada.

Hulla	K	=	0.63
Antracita	K	=	0.68
Diesel	K	=	0.59
Combustóleo	K	=	0.56

### *Pérdidas por Inquemados*

Las pérdidas por inquemados se pueden calcular aproximadamente por la siguiente expresión

$$P_2 [\%] = \frac{21}{21 - (O_2)} \times \left( \frac{CO}{3,100} + \frac{CH}{1,000} + \frac{OP}{65} \right)$$

Donde:

$P_2$	Pérdidas por inquemados (% sobre la energía suministrada)
$O_2$	% de $O_2$ en los gases
CO	ppm de CO en los gases
CH	ppm de CH en los gases (hidrocarburos)
OP	opacidad de los gases (%)

### **Pérdidas por Radiación y Otras**

Estas pérdidas hay que calcularlas en tanto por ciento sobre la energía suministrada, para diferentes capacidades de vaporización. A continuación se da una tabla aproximada, útil para cuando la caldera funciona a su capacidad máxima de vaporización (Fig. 1.28).

**FIG. 1.28: PERDIDAS POR RADIACION EN FUNCION DE LA CAPACIDAD MAXIMA DE VAPORIZACION**

Vaporización máxima (t/h)	10	50	100
$P_2$ (% de pérdidas)	2.2	1.75	1.5

Cuando la caldera funciona a cargas parciales las pérdidas por radiación y otros (en %) son, de forma aproximada, inversamente proporcionales al porcentaje de carga

### **A. Rendimiento de la Combustión**

La curva de rendimiento de la combustión y, por tanto, del rendimiento de una caldera, presenta en cada momento un punto máximo A (ver Fig 1.35) que corresponde a un determinado exceso de aire. Si en estas condiciones este exceso de aire se redujera, el rendimiento se haría menor debido a que aumentan los inquemados. Si el exceso de aire aumentara, se complementarían las reacciones de oxidación, pero se malgastaría energía en calentar el aire en exceso que se introduce

La curva de CO en función del exceso de aire presenta un codo que coincide con la zona de máximo rendimiento. Si el exceso de aire se reduce, aumenta rápidamente el contenido de CO, debido a que la combustión se efectúa en menor grado. Si el exceso de aire aumenta, el CO se reduce, pero muy lentamente

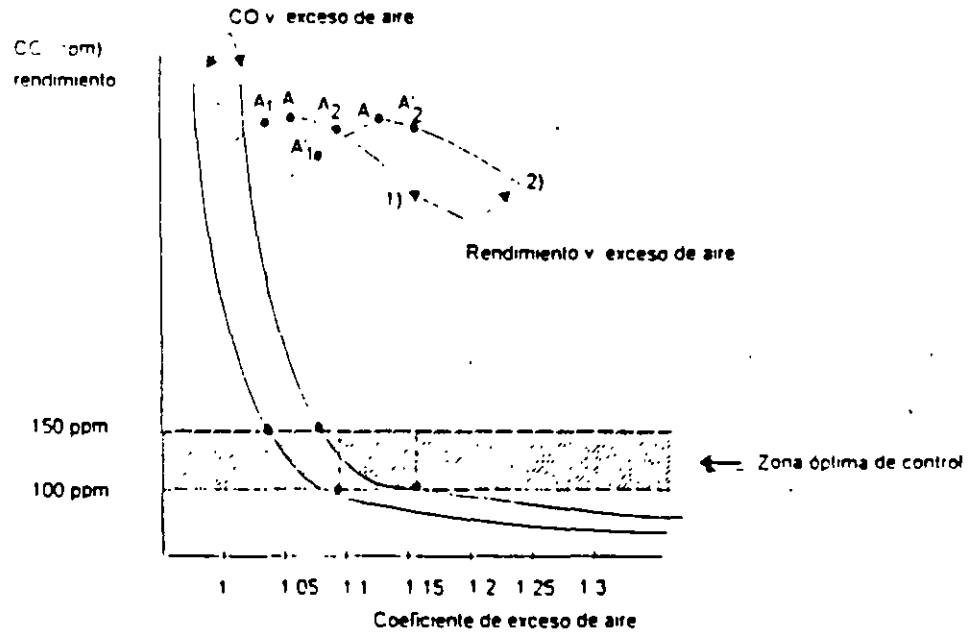
La situación del punto de mejor rendimiento y del codo de la curva de CO, varía de acuerdo a

- El estado de las instalaciones, quemadores, etc.
- Las circunstancias de cada momento como son
  - Variaciones climatológicas (temperatura, presión, humedad relativa, viento, etc )
  - Variaciones de carga de la caldera.
  - Variaciones de composición del combustible

Por tanto las curvas son dinámicas, desplazándose en función de estas circunstancias tal como se muestra en la Fig 1.35 (curvas 1 y 2).

En general se obtendrá la zona de mejor rendimiento siempre que se mantenga el CO en la gama de 100 a 150 ppm, con lo cual el rendimiento se moverá entre los puntos  $A_1$  y  $A_2$  o entre los puntos  $A'_1$  y  $A'_2$  de las curvas 1 y 2, respectivamente.

FIG. 1.35: CONTROL AUTOMÁTICO DE LA COMBUSTION MIDIENDO EL CONTENIDO DE MONOXIDO DE CARBONO



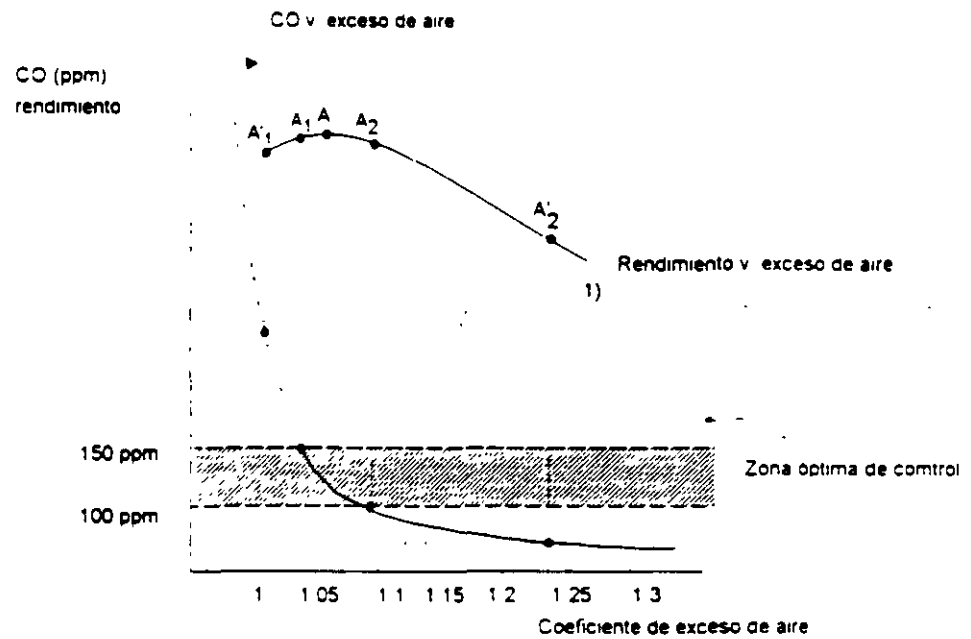
### B. Influencia del Control Manual en el Rendimiento

Actualmente se está produciendo un fenómeno curioso en la práctica del control de la combustión. En general los mandos de las fábricas están sensibilizados hacia el ahorro de energía y presionan a los operarios que conducen las calderas para que intenten reducir el exceso de aire en la combustión. Los operarios, al no disponer de medios, efectúan esta reducción (a ojo) moviéndose, por ejemplo, sobre la curva (Fig. 1.36) entre los puntos  $A'_1$  y  $A'_2$ . Con ello se producen dos efectos:

- Los valores del rendimiento ( $A'_1$  y  $A'_2$ ) en general son muy inferiores a los obtenidos mediante control por CO ( $A_1$  y  $A_2$ ).
- En muchas ocasiones, al entrar en la zona de bajo exceso de aire para las condiciones relativas de funcionamiento, obtienen un porcentaje alto de inquemados ( $A'_1$ ).

Estos mismos efectos se producirían en las curvas correspondientes a otras condiciones de trabajo. En términos generales los resultados son en ocasiones, más perjudiciales que beneficiosos.

FIG. 1.36: FUNCIONAMIENTO EN CONTROL MANUAL

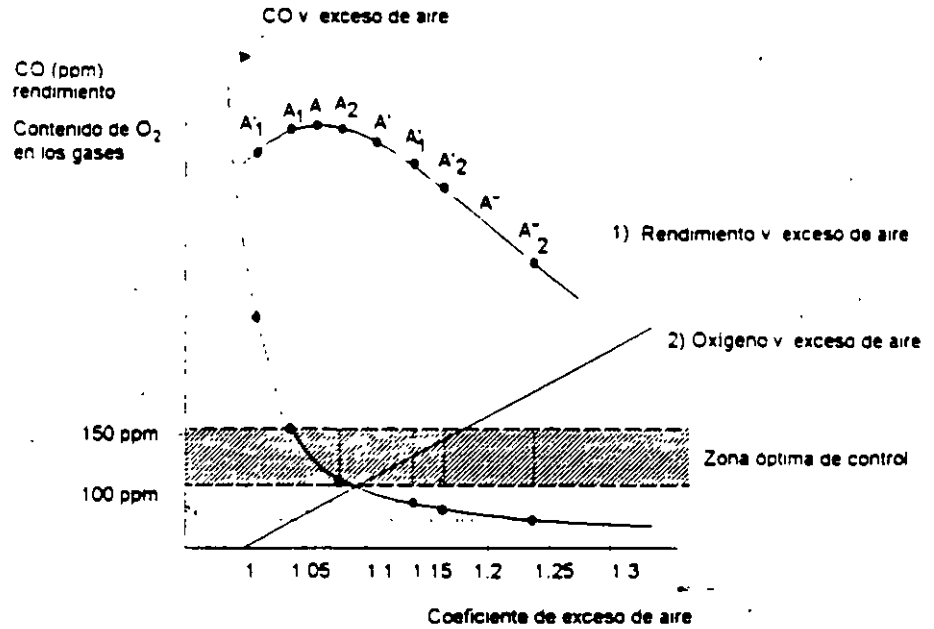


### C. Influencia del control por oxígeno en el rendimiento

El contenido medido de oxígeno en los gases debería ser teóricamente una función lineal del exceso de aire (Fig. 1.37, curva 2) Sin embargo, esta relación queda alterada en la práctica por tres circunstancias

- Los inquemados que se producen
- Las entradas, en el circuito de gases, de aire del exterior
- El error de medición del equipo

**FIG. 1.37: FUNCIONAMIENTO TÍPICO CON CONTROL CORREGIDO POR LA MEDIDA DEL CONTENIDO DE OXIGENO EN LOS GASES**



EL sistema de control por oxígeno se basa en fijar un valor del oxígeno (punto de consigna) a mantener automáticamente. Pueden darse dos casos (supuesto que la curva de rendimiento es la 1):

- Que se fije un punto de consigna de oxígeno bajo para este sistema de control (punto A'). Con ello el sistema se moverá entre A<sub>1</sub>' y A<sub>2</sub>' produciéndose en ocasiones inquemados altos
- Que se fije un punto de consigna alto de oxígeno (punto A<sup>-</sup>). Con ello se garantiza que normalmente no se produzcan inquemados, pero siempre se tendrá un exceso de aire alto.

En definitiva, la medición del contenido de oxígeno no permite conocer la forma en que se desarrolla la combustión, porque no tiene en cuenta las circunstancias antes enunciadas.

---

#### **1.8.4 Control Multivariable**

Se trata de un sistema de corrección por medida en el cual actúan dos o más parámetros correctores conjuntamente

Generalmente uno de los parámetros es el CO, e intervienen como parámetros correctores, además de aquel, los hidrocarburos inquemados y la opacidad. Para cada uno de estos parámetros hay que fijar de antemano los valores objetivo. Igualmente deben existir en los lazos de control unos enclavamientos que permitan que en cada momento el parámetro corrector sea aquel que haga más favorable el punto de funcionamiento tras su corrección. En las Figs. 1.38 y 1.39 se indica la influencia de las variaciones de la opacidad y de los hidrocarburos sobre el rendimiento

---

#### **Influencia de la Opacidad**

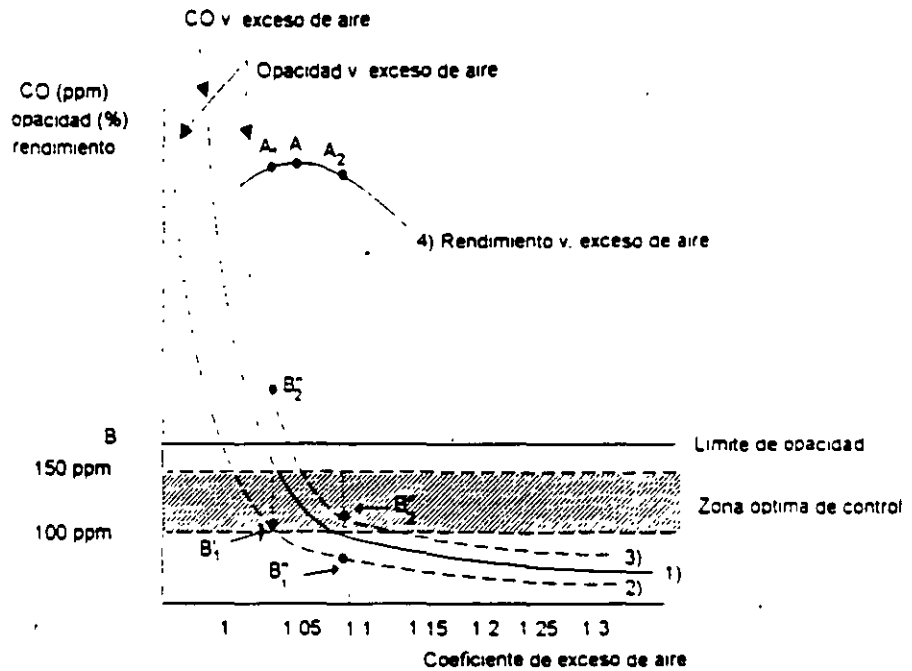
La existencia de partículas inquemadas en los gases produce el oscurecimiento de los mismos, lo cual generalmente se define como humo y se mide en una escala relativa de oscurecimiento llamada escala de opacidad.

La opacidad de los gases tiene una relación directa con el grado de contaminación que los mismos producen y con las pérdidas de combustible. Por esta razón, generalmente se exige controlar esta variable.

La opacidad varía con el exceso de aire de acuerdo a una curva similar a la del CO (ver Fig. 1.38). La situación relativa de ambas curvas (opacidad y CO) depende de circunstancias interiores y exteriores.



**FIG. 1.38: INFLUENCIA DE LA OPACIDAD EN EL CONTROL DE LA COMBUSTION**

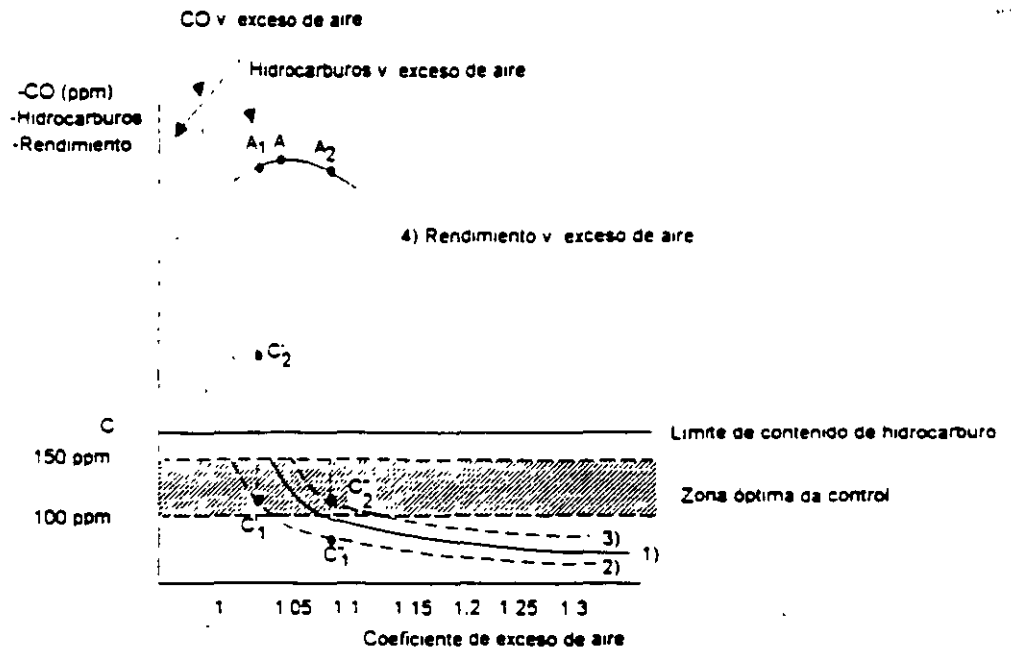


Cuando la opacidad sigue una curva como la 2, estando la caldera en control entre 100 y 150 p.p.m. de CO, los valores de la opacidad varían entre B<sub>1</sub>' y B<sub>1</sub>. Si el límite de opacidad está en B, los valores anteriores son inferiores al límite y por lo tanto aceptables.

Si la curva de la opacidad fuera la 3, los valores de la opacidad variarían desde B<sub>2</sub>' a B<sub>2</sub>, siendo este último valor superior al límite aceptable.

En estas circunstancias se produce humo, con sus efectos negativos. Por ello es importante que el equipo de control mida también la opacidad y corrija, en base a la misma, la combustión, es decir que en circunstancias como la B<sub>2</sub>' se admita mayor exceso de aire para corregir el valor de la opacidad

**FIG. 1.39: INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HIDROCARBUROS EN LOS GASES, EN EL CONTROL DE LA COMBUSTION**



### Influencia de los Hidrocarburos

La curva de contenido de hidrocarburos en los gases (Fig. 1.39) es similar a la de CO y opacidad, pudiendo como esta última, estar a un lado u otro de la curva de CO.

Por un análisis similar al de la opacidad obtenemos que el contenido de los hidrocarburos en el punto C<sub>2</sub> no es admisible y por lo tanto, el sistema debe corregir automáticamente esta desviación.

El contenido de hidrocarburos en los gases nos indica también el grado en que se está efectuando la combustión. Ello es particularmente importante cuando el combustible es un gas limpio, que aún en la combustión con defecto de aire no produce prácticamente opacidad. En este caso el contenido de hidrocarburos será el que corrija las desviaciones del control por CO.

### **1.8.5 Control de la Combustión de Residuos**

A medida que la combustión de residuos se incrementa, las filosofías de control van variando paulatinamente, pasando desde la antigua situación en la que se quemaban los residuos para deshacerse de ellos hasta la actual en la que se queman para aprovechar su poder calorífico.

Este cambio ha conducido, hoy en día, a concentrar el esfuerzo en la utilización de diversas técnicas de optimización, de forma que se llegue a sustituir el máximo posible de combustible convencional.

En cuanto a control, el mejor sistema depende de la forma y proporción en las que el combustible convencional y el residuo han de ser utilizados

---

#### **1. Combustión Únicamente de Residuos**

Este método es el más simple pero no el mejor. Sólo es utilizable cuando no se necesita el combustible convencional para estabilizar la combustión, y cuando la respuesta dinámica de la caldera es suficiente para compensar las variaciones habituales de la carga.

---

#### **2. Combustión de Acuerdo a una Relación Controlada de Combustible Habitual/Residuos**

En este método los dos combustibles deben poder ser quemados simultáneamente en cualquier proporción, y el sistema de control debe permitir que un combustible se ajuste manualmente, mientras que el segundo responda a las variaciones de la carga.

---

#### **3. Combustión en la que los Residuos son la Base**

En este método se complementa con el combustible habitual para seguir las variaciones de la demanda.

---

#### 4. Combustión en la que el Combustible Habitual es la Base

En este método se complementa con los residuos según las variaciones de la demanda.

Para cada uno de estos cuatro casos, así como para el caso de que haya más de un residuo existen, esquemas de control adaptados o adaptables. Sin embargo, por la simplicidad no se incluyen aquí.

---

### 1.9 EJEMPLOS DE MEJORAS EN COMBUSTION

Según lo anterior, se puede mejorar el rendimiento de la combustión al reducir las pérdidas de calor, lo cual puede lograrse al implementar las siguientes acciones:

- Reducir las pérdidas de calor de los humos
- Reducir las pérdidas de calor por inquemados
- Reducir la diferencia de temperatura entre aire y gases

---

#### 1.9.1. *Control del Exceso de Aire*

Con 2 ejemplos se muestra que, dado los precios de los combustibles en México, en la actualidad el control automático de la combustión por medición de los gases no es rentable en todos los casos. Así, una buena solución en la mayoría de los casos puede ser realizar mediciones con un equipo portátil y proceder a los ajustes necesarios.

---

#### **Ejemplo 1.1: Control del Exceso de Aire por Control Automático**

El análisis de los gases de una "mala combustión" del combustóleo en una caldera de vapor, dio como media los valores siguientes:

- % medio de O<sub>2</sub> : 9%
- ppm de CO : 1,900
- ppm de hidrocarburos : 1,500
- % de opacidad : 40
- Temperatura de los gases : 250°C
- Temperatura ambiente : 20°C

Las pérdidas por inquemados eran.

$$\frac{21}{21-9} \times \left( \frac{1,900}{3,100} + \frac{1,500}{1,000} + \frac{40}{65} \right) = 4.77\%$$

De acuerdo a la Fig 1.23, las pérdidas en gases eran 14.4%

Las restantes perdidas se estimaron en 3%

Se decidió optimizar la caldera mediante la instalacion de un control multivariable de la combustión y un economizador. Con ello se tendría:

- % medio de O<sub>2</sub> : 1.5%
- ppm de CO : 150
- ppm de hidrocarburos : 100
- % de opacidad : 5
- Temperatura de los gases : 160°C

Las nuevas pérdidas por inquemados serian:

$$\frac{21}{21-1.5} \times \left( \frac{150}{3,100} + \frac{100}{1,000} + \frac{5}{65} \right) = 0.24\%$$

Las pérdidas por gases pasarían al 5.6%.

Los rendimientos son:

$$\text{Actual} = 100 - 3 - 4.77 - 14.4 = 77.83\%$$

$$\text{Futuro} = 100 - 3 - 0.24 - 5.6 = 91.16\%$$

El ahorro porcentual obtenido fue

$$100 \times \left( 1 - \frac{77.83}{91.16} \right) = 14.6\%$$

La caldera consumía 1,000 t/año de combustóleo. Por tanto, el ahorro anual obtenido fue 146 t/año de combustóleo, que suponen.

$$146 \text{ t/año} \times 220 \text{ N\$/t} = 32,120 \text{ N\$/año}$$

La inversión necesaria fue de N\$ 210,000

### *Ejemplo 1.2: Corrección de Holguras en el Equipo de Combustión*

En una caldera de vapor, la combustión media del combustóleo respondía a los siguientes valores:

- % medio de O<sub>2</sub> . . . . . 9%
- Temperatura de salida de gases . . . . . 220°C
- Temperatura ambiente . . . . . 20°C

Se revisó el quemador y se observaron numerosas holguras. Se corrigieron éstas y se ajustó la leva de relación aire/combustóleo, obteniéndose como media los valores siguientes:

- % medio de O<sub>2</sub> . . . . . 5%
- Temperatura de salida de gases . . . . . 210°C

El costo de la reparación fue N\$ 5,000.

De acuerdo a la Fig. 1.23, se tiene:

- Pérdidas iniciales en gases . . . . . 12.4%
- Pérdidas finales en gases . . . . . 9.1%

Las restantes pérdidas se calcularon en aproximadamente 3%. Por tanto

- Rendimiento inicial =  $100 - 3 - 12.4 = 84.6\%$
- Rendimiento final =  $100 - 3 - 9.1 = 87.9\%$

El ahorro porcentual obtenido fue:

$$100 \times \left( 1 - \frac{84.6}{87.9} \right) = 3.75\%$$

La caldera consumía 2.000 t/año de combustóleo. Por tanto, el ahorro anual obtenido fue 75 t/año de combustóleo, que suponían:

$$75 \times 220 = 16,500 \text{ NS/año}$$

Se estimó que, para obtener este nivel de combustión, sería necesario efectuar dos veces al año las operaciones de ajuste. En consecuencia, el gasto anual será de 10,000 NS/año

---

### 1.9.2 AUMENTO DE LA TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AIRE

Una caldera de vapor que consume combustóleo, trabaja de acuerdo a:

Temperatura de gases	230°C
% de O <sub>2</sub> en los gases	5%
Temperatura del aire comburente	10°C

Se trasladó el ventilador de forma que aspiraba aire de la parte superior de la caldera a 40°C

Según la Fig. 1.23, las pérdidas en gases eran:

Antes de la reforma	10.6%
Después de la reforma	9.1%

Las restantes pérdidas eran el 3%. Por tanto, los rendimientos fueron:

Antes de la reforma:

$$100 - 3 - 10.6 = 86.4\%$$

- Después de la reforma:

$$100 - 3 - 9.1 = 87.9\%$$

El consumo era 2,500 t/año de combustóleo. Por tanto, el ahorro anual fue

$$2,500 \left( 1 - \frac{86.4}{87.9} \right) = 42.7 \text{ t/año}$$

Que suponen:

$$220 \text{ NS/t} \times 42.7 \text{ t/año} = 9,394 \text{ NS/año}$$

La inversión fue NS 14,000 00

---

## REFERENCIAS

1. **Manual de Eficiencia Energética en Calderas de Vapor.** *Grupo Eficiencia Industrial.* Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (en preparación).
2. **Manual Selmec de Calderas.** *Selmec Equipos Industriales. S.A. de C.V. 1992.*
3. **Manual de Eficiencia Energética Térmica en la Industria.** CADEM. *Grupo EVE. España 1984.*
4. **Curso para la Formación de Consultores en Diagnósticos Energéticos de Primer Nivel.** *Fondo para el ahorro de Energía.* Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Cuernavaca, Mor. México, 1993.



# PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

---

## 3.1 REFRACTARIO

Una caldera aislada se verá con muchas pérdidas de calor si el material refractario no es el adecuado

Un material refractario que soporte las condiciones de operación del equipo como son choque térmico, compresión, erosión, ataques químicos etc., no será el más idóneo sino es capaz de retener al calor. Una breve descripción de estos materiales se muestra a continuación. Además, se incluye la presentación de un equivalente funcional como son las paredes de agua.

..

---

### 3.1.1 LADRILLO REFRACTARIO

Cada fabricante tiene sus propios ladrillos refractarios, los cuales pueden ser cerámicos o fabricados en base a cementos plásticos.

Las características termotécnicas importantes de estos materiales refractarios son:

1. Conductividad térmica a diversas temperaturas.
2. Calor específico; el cual condiciona la cantidad de calor almacenado en el propio material.

3. Densidad.
4. Difusividad térmica.
5. Emisividad que regula la cantidad de calor radiada o absorbida por las paredes, techo y suelo.

Por lo que respecta a la conductividad térmica, en la Fig. 3.1 se pueden ver las conductividades térmicas de diferentes materiales refractarios para altas temperaturas, desde 300 hasta 1,100°C, al igual que otros datos tales como la porosidad.

**FIG. 3.1: CONDUCTIVIDAD TERMICA DE MATERIALES REFRACTARIOS**

Características	Ladrillo Refractario			Ladrillo de Alúmina	Ladrillos de Sílice		Ladrillos de Zirconio			Ladrillo de Magnesita	Ladrillos de Carburo de Sílice		
	1.300	1.410	1.460	81% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96% SiO <sub>2</sub>	93% SiO <sub>2</sub>	95% ZrO <sub>2</sub>	65% ZrO <sub>2</sub>	30% ZrO <sub>2</sub>	-	90% SiC	77% SiC	50% SiC
				1.450	1.460	1.460	-	-	1.450		-	1.435	1.310
Temperatura max.(°C)	30	26.8	26.5	25.1	24.0	28.1	30	32.5	18.9	-	25.6	21.6	22.9
Porosidad (%)													
Conductividad K (kcal-m-h-m <sup>2</sup> -°C)													
a 300 °C	0.76	0.90	1.03	2.02	1.16	1.01	-	-	2.61	-	-	11.16	4.09
500 °C	0.84	0.96	1.10	1.90	1.25	1.19	0.74	1.51	2.15	3.08	13.40	9.92	3.96
700 °C	0.90	1.00	1.15	1.83	1.34	1.21	0.75	1.36	1.92	2.55	11.16	8.80	3.72
900 °C	0.93	1.03	1.17	1.80	1.44	1.29	0.76	1.26	1.76	2.16	9.55	7.81	3.53
1.100 °C	0.94	1.04	1.18	1.79	1.52	1.37	0.77	1.19	1.64	1.83	8.55	6.82	3.35

Al mismo tiempo, los ladrillos refractarios deben reunir una serie de propiedades mecánicas que garanticen su resistencia en el transporte, y a la abrasión en aquellos casos donde se realice una combustión con aire que contenga muchas partículas.

Por otro lado, los ladrillos refractarios deben cumplir algunas especificaciones fisico-químicas relativas a la solubilidad en los gases de combustión o, en el caso de hogares donde se quema carbón, en la pasta formada por la escoria y el carbón fundido.

El aislamiento del hogar debe completarse con una segunda capa de material aislante. Según sean las características termotécnicas de esta segunda capa, viene condicionado el espesor de la capa de ladrillo refractario. Como consecuencia, conviene elegir una combinación adecuada de ladrillo refractario y aislante, de tal forma que el espesor total de la pared del hogar

sea el adecuado para que en él no se almacene una cantidad muy alta de calor, el cual se perdería en las paradas y arranques, así como en las variaciones de la carga que tuvieran como consecuencia variaciones en la temperatura del hogar.

---

### 3.1.2 TAMAÑO DE LOS LADRILLOS

Ciertas fábricas usan ladrillos comunes de 220 x 110 x 60 mm. Otras prefieren ladrillos de 300 x 150 x 75 mm. Los ladrillos más grandes tienen diversas ventajas.

- a) Se colocan más fácil y rápidamente
- b) Por lo tanto necesitan menos mano de obra
- c) Consumen menos mezcla porque tienen una menor área en las juntas para el mismo volumen
- d) Cuestan un poco menos por unidad de volumen

Por otro lado tienen un inconveniente: como sus dimensiones son mayores, son menos elásticos y es más difícil dar a las paredes las dimensiones previstas. Es necesario tomar un múltiplo de su largo y/o de su ancho:

---

### 3.1.3 RESISTENCIA AL FUEGO

A la fecha es posible obtener temperaturas de 1,350°C en hornos comunes de aire frío, y de 1,450°C en hornos provistos de precalentadores de aire.

Para ambos casos deben elegirse:

- a) En el primero: ladrillos que contienen por lo menos, del 20 al 22% de óxido de aluminio.
- b) En el segundo, ladrillos que contienen por lo menos, del 30 al 33% de óxido de aluminio.

---

### 3.1.4 *JUNTAS DE EXPANSION*

En todos los muros de ladrillo del horno y de la caldera, deben construirse juntas de expansión de 5 mm cada 600 mm. Estas juntas no se construirán en las paredes de la herradura de un horno de este tipo.

En los arcos, los ladrillos se colocarían en hileras yuxtapuestas. De esta manera, el arco es realmente una serie de pequeños arcos independientes de la misma longitud de un arco de una sola hilera. En esta forma se evitan medios ladrillos. Debe colocarse entre ellos una junta de expansión de 5 mm, cada tres arcos.

---

### 3.1.5 *SECADO DE LOS MUROS*

Cuando se termina la construcción de los hornos o ductos, deben secarse cuidadosamente, encendiendo un fuego pequeño que se aumentara progresivamente, durante por lo menos tres días.

---

### 3.1.6 *PAREDES DE AGUA*

En calderas grandes no es posible construir el hogar solamente con ladrillo por las siguientes razones:

1. Debido a la altura, el esfuerzo de compresión creado por el peso de los ladrillos sería mayor que la resistencia mecánica.
2. Debido a los diferentes tipos de combustible que pueden utilizarse, las temperaturas que se alcanzarían en el hogar serían demasiado elevadas.
3. En calderas grandes de carbón pulverizado se depositarían cenizas y escorias en los ladrillos.
4. Es más económico aprovechar la superficie del hogar como superficie de calefacción en la caldera.

5. La dilatación de la estructura y de la caldera originaria problemas en la construcción de la obra de ladrillo.

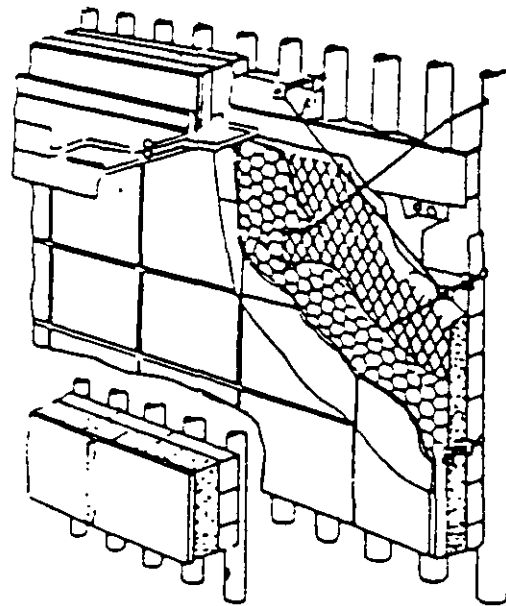
Como consecuencia de lo anterior se utilizan paredes de agua en los hogares, las cuales pueden ser de muy diversos tipos:

- a) Paredes de tubos y ladrillos. En la Fig. 3.2 se puede ver un esquema de la disposición de los tubos, de los ladrillos refractarios y de las capas de aislante. En el esquema, los tubos se encuentran distanciados, pudiendo variar esta distancia de unas calderas a otras.
- b) Paredes de tubos tangentes y ladrillos. Responden al mismo esquema anterior pero con los tubos prácticamente juntos entre sí. En la Fig. 3.3 se plantean estas paredes en dos casos diferentes: con carcaza exterior metálica (parte b) o sin carcaza exterior metálica (parte a).
- c) Paredes de tubos con membrana metálica. En este tipo de pared de agua los tubos llevan aletas longitudinales, formando una membrana metálica aplicada a lo largo de toda su longitud y constituyendo, por lo tanto, una pared totalmente metálica. En la Fig. 3.4 está ilustrado este caso.

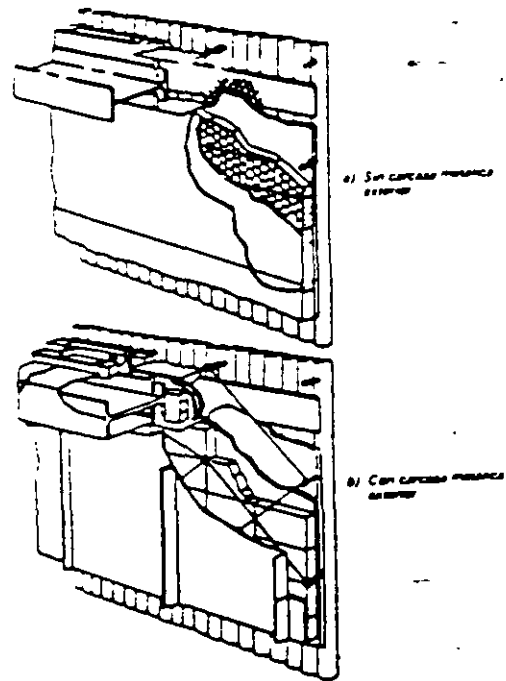
La utilización de los diferentes tipos de pared de agua está condicionada por diversos factores, tales como carga de la caldera, tipo de combustible, tamaños del hogar, y otros muchos que la práctica aconseja. Por otro lado, los aislantes y los refractarios que han de ser utilizados será en función de como se encuentren situados los tubos y de la utilización o no de una carcaza metálica exterior.

Por último, y a fin de ilustrar la variación de temperatura en una pared de agua, se incluye como ejemplo una pared de tubos y ladrillos (ver Fig. 3.5).

**FIG. 3.2: PARED DE AGUA DEL HORNO DE UNA CALDERA  
CONSTRUIDA DE TUBOS Y LADRILLOS**

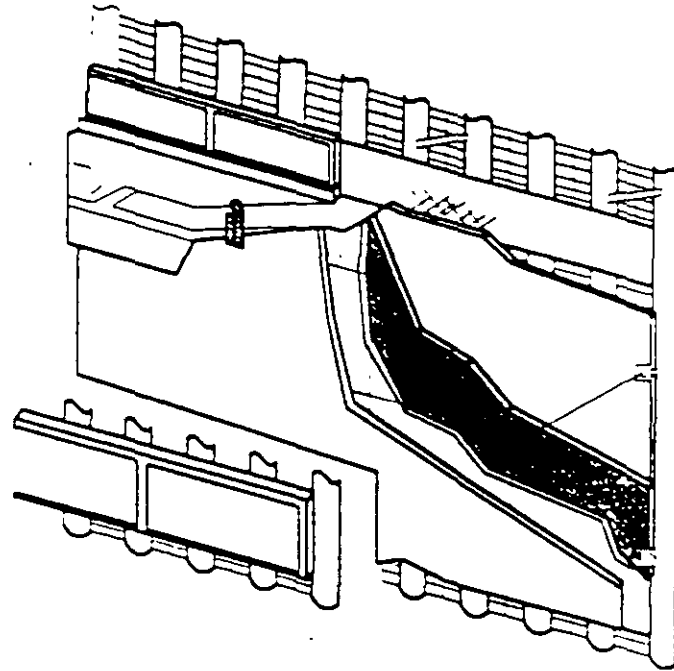


**FIG. 3.3: PARED DE AGUA DEL HOGAR DE UNA CALDERA  
CONSTRUIDA DE TUBOS Y LADRILLOS**

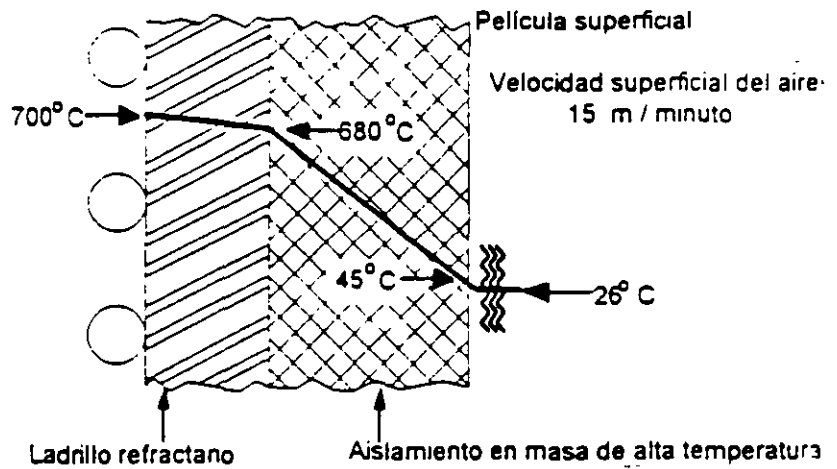


PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

**FIG. 3.4: PARED DE AGUA DEL HOGAR DE UNA CALDERA CONSTRUIDA DE TUBOS CON MEMBRANA METALICA**



**FIG. 3.5: LEY DE VARIACION DE LA TEMPERATURA EN UNA PARED DE AGUA DE TUBOS Y LADRILLOS CON AISLAMIENTO DE ALTA TEMPERATURA**



## 3.2 TIRO

Para mantener la temperatura a la marcha de la combustión, se requiere pasar por el horno y sobre el combustible, la cantidad de aire necesaria. Como el trayecto del aire es complejo y existen diversas resistencias a su paso. (a través del colchón de combustible y entre los tubos de la caldera, diversos cambios de dirección, etc.) y dado que es necesario dar a los gases una velocidad relativamente alta, el mantener esta corriente de gas exige cierto gasto de energía que normalmente se da en la forma de presión

Esta presión motriz, puede obtenerse de dos fuentes:

- a) De la energía térmica producida por la combustión, es decir, tiro natural
- b) De una fuente externa, ventilador u otro medio, es decir tiro forzado

### 3.2.1 TIRO NATURAL

En el tiro natural la succión se crea evacuando los gases de la combustión por la chimenea. Siendo estos gases calientes, el peso de la columna gaseosa así formada es menor que el peso de la misma altura de aire ambiente. La masa de gases contenida en la chimenea tiende entonces a subir, empujada por el aire ambiente que la reemplaza progresivamente y que a su vez se calienta al atravesar el horno

La obtención de un buen tiro natural, es más difícil que la de un tiro forzado. Necesita el conocimiento de las relaciones que existen entre los siguientes elementos:

- |  |       |
|--|-------|
| 1. Velocidad de los gases en los ductos        | $V_c$ |
| 2. Tiro a la salida de los ductos              | $d$   |
| 3. Velocidad de los gases que deja la chimenea | $V_s$ |
| 4. Sección transversal de la chimenea          | $S_s$ |
| 5. Altura de la chimenea                       | $H$   |



## Velocidad de los Gases en los Ductos

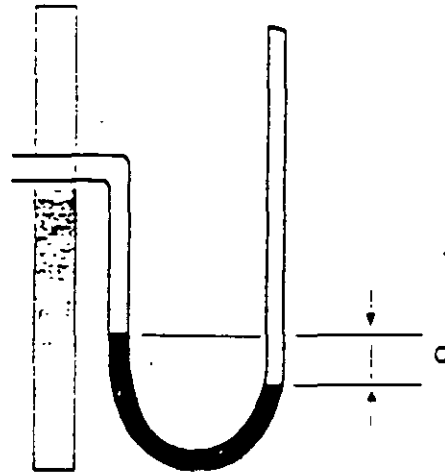
Esta velocidad no debe pasar de 5m/seg. en el caso del tiro natural. Puede tomarse:

$$V_s = 4 \text{ a } 5 \text{ m/seg} \quad (3.1)$$

## Tiro a la Salida de los Ductos

El tiro a la succión es la diferencia entre la presión exterior y la presión en el interior del ducto. Se mide fácilmente en una instalación existente, con la ayuda de un pequeño tubo en U que contenga agua (Fig. 3.6) y se expresa en mm de agua.

FIG. 3.6: MEDIDA DEL TIRO



## Velocidad de los Gases que Dejan la Chimenea

La velocidad de los gases que dejan la chimenea, corresponde a la energía perdida. Desde el punto de vista de la economía en la instalación (altura mínima de la chimenea por construirse, por ejemplo) es conveniente que la velocidad  $V$  sea lo más baja posible.

Sin embargo, debe ser suficiente para evitar que la componente vertical de los vientos dominantes pueda perturbar el funcionamiento de la chimenea. En los países tropicales es ventajoso tener por lo menos 4 m/seg y aun 5 m/seg. No es necesario excederse de esta última cifra, porque se producirá una chimenea innecesariamente alta y costosa. V debe elegirse entonces de tal manera, que:

$$4 < V \leq 5 \text{ m/seg,}$$

de acuerdo con la importancia de los vientos dominantes

La velocidad teórica de los gases se calcula con la ecuación siguiente;

$$V = \sqrt{2gHC \left( \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_{ge}} \right)} \quad (3.2)$$

Donde:

V	=	Velocidad teórica de los gases m/seg
g	=	9.81 m/seg <sup>2</sup>
H	=	Altura de la chimenea, m
T <sub>ge</sub>	=	Temperatura absoluta de los gases a la entrada de a chimenea, °K
T <sub>a</sub>	=	Temperatura absoluta del aire exterior, °K

Para chimeneas de ladrillo, piedra o concreto, la velocidad real de los gases oscila entre 30 y 50% de la teórica, a causa de la rugosidad en la superficie interior.

---

### Sección Transversal de la Chimenea

La elección de la velocidad de los gases de la chimenea, incluye la determinación de la sección transversal en la parte superior. Se sabe que el flujo de gases debe ser:

$$Q = W_c \times U_{ge} \times D_g \quad (3.3)$$

Donde:

- $Q$  = Flujo de gases que deben pasar por la chimenea  
 $m^3/\text{seg}$   
 $W_c$  = Consumo de combustible,  $\text{kg}/\text{h}$   
 $U_{gc}$  = Razon de gases producidos,  $\text{kg gases}/\text{kg}$   
 combustible  
 $D_g$  = Densidad de los gases,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,

y el área de la sección transversal de la chimenea esta dada por.

$$A = Q/KV \quad (3.4)$$

Donde:

- $A$  = Area de la sección transversal, en la base de la  
 chimenea,  $\text{m}^2$   
 $K$  = Coeficiente de velocidad, de 0.3 a 0.5

---

### Altura de la Chimenea

La altura de la chimenea puede determinarse de acuerdo con la segunda fórmula de Tripier:

$$H = \frac{dD}{464 p_a \left( \frac{1}{T_a} - \frac{b}{T_{gc}} \right)} \quad (3.5)$$

Donde

- $d$  = Tiro en la base de la chimenea, en mm de agua,  
 dado para el caso del tiro natural  
 $D$  = densidad del fluido en el aparato medidor de tiro,  
 $\text{kg}/\text{m}^3$   
 $p_a$  = Presión barométrica, en mm de agua (760 mm de  
 $\text{Hg} = 10,336 \text{ mm de agua}$ )

- b = Coeficiente numérico que toma en cuenta el enfriamiento de los gases mientras pasan a través de la chimenea y que tiene el valor siguiente.
- 1.05 Para chimenea de ladrillo
  - 1.08 Para chimenea de concreto reforzado
  - 1.12 Para chimenea de lámina

---

### Ventajas y Desventajas del Tiro Natural

El tiro natural presenta las siguientes ventajas:

- (a) Una larga vida: las chimeneas duran 100 años
- (b) Seguridad: no existe ningún riesgo por la ruptura de un ventilador
- (c) Economía en la operación: no se necesita ningún motor, no se consume potencia

Sin embargo, presenta algunas desventajas.

- (a) Necesita una buena cimentación, por el peso de la chimenea
- (b) Ocupa un espacio considerable, por las dimensiones de la base de la chimenea
- (c) Puede producir sólo un tiro limitado, a menos que se de una altura excesiva
- (d) No tiene ninguna flexibilidad cuando ocurren cargas inesperadas.

---

### 3.2.2 TIRO MECANICO

Existen 3 sistemas principales de tiro mecánico:

1. Tiro forzado
2. Tiro inducido
3. Tiro inducido por "inyección"

**Tiro Forzado.** En este tiro el aire se sopla abajo de la parrilla cerrando el depósito de cenizas.

Este sistema tiene la ventaja de permitir la introducción de aire a presión atmosférica en la cámara de combustión, y consecuentemente evita la entrada de aire por cualquier intersticio, a pesar de que existan grietas o fugas en la albañilería de la caldera.

Se emplea principalmente cuando se instala un calentador de aire.

**Tiro Inducido.** Este es el sistema más común. En lugar de colocar el ventilador en la parrilla, se coloca en el extremo de los ductos y en la base de la chimenea.

**Tiro de Inyección.** Esta es otra forma del tiro inducido. La succión se produce no con un ventilador, sino con una boquilla de vapor que descarga en la chimenea y produce en los gases el efecto de Giffard. Puede emplearse también un ventilador fuera de circuito y producir el efecto de Giffard, tomando del ducto una fracción de los gases y retornándolos por medio de una boquilla similar a la utilizada con el vapor.

---

### **Ventajas y Desventajas**

El tiro mecánico necesita de un ventilador, por lo tanto, existen posibilidades de accidentes y es necesario parar para revisar y mantener el ventilador; sin embargo, se emplea cada vez más por las siguientes razones:

- (a) El costo inicial de instalación es muy bajo
- (b) Necesita menos espacio
- (c) Y sobre todo, es flexible; con un motor de velocidad variable el tiro puede regularse inmediatamente

Es posible también instalar en el motor un regulador automático de tiro, que asegure una marcha flexible y regular a la fábrica y permita proporcionar en todo momento el vapor suficiente para las necesidades de la misma.

---

### **3.2.3 VENTILADORES**

En un principio se empleaban grandes ventiladores de baja velocidad. En la práctica moderna se prefieren ventiladores de alta velocidad que son más

pequeños y por lo tanto más económicos en su instalación y en el espacio que necesitan.

### Potencia Necesaria

Si un ventilador tiene que proporcionar un volumen dado de gas y mantener al mismo tiempo un tiro determinado, la potencia que empleará tendrá por valor

$$T = V \cdot d \quad (3.6)$$

Donde:

$$\begin{aligned} T &= \text{Potencia neta que debe proporcionarse en kgm/seg} \\ V &= \text{Flujo de gas que debe manejarse, en m}^3/\text{seg} \\ d &= \text{Tiro producido en mm de agua (= kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

La potencia necesaria en la flecha del ventilador será entonces

$$T = \frac{V \cdot d}{p} \quad (3.7)$$

Donde:

$$p = \text{Rendimiento del ventilador.}$$

Este rendimiento es muy bajo y varía sustancialmente con la potencia del ventilador. Pueden emplearse las cifras de la tabla siguiente:

#### RENDIMIENTO DE LOS VENTILADORES

Ventiladores pequeños	0.20 - 0.50, promedio 0.30
Ventiladores grandes	0.40 - 0.70, promedio 0.50

No olvidarse que la potencia T es la potencia que se aplica a la flecha del ventilador. La potencia que debe darse al motor debe incluir la eficiencia de éste y también la de las bandas, cuando se emplea este tipo de transmisión.

**Influencia de la temperatura del gas.** Se notará que la potencia  $T$  indicada arriba, depende directamente del volumen de los gases. Consecuentemente, para un gasto dado y en términos de peso del mismo, se necesitará más potencia si el gas es caliente, que si es frío.

### 3.2.4 EJEMPLO

Un tren de calderas de vapor quema carbón a razón de 8.500 kg/h, produciendo 20 kg de gases por kg de combustible quemado. La temperatura del aire ambiente es 30°C, la temperatura media de los gases al entrar en la chimenea es de 343.3°C y la temperatura media de los mismos en el interior de ésta es 250°C. El fluido en el aparato medidor de tiro tiene una densidad de 996 kg/m<sup>3</sup> y el tiro teórico es de 23 mm de agua en la base de la chimenea, siendo la presión barométrica de 730 mm Hg.

Calcular las dimensiones de la chimenea requerida; si ésta es de concreto

Solución:

Tomando un coeficiente de velocidad de 0.4 y asumiendo que la densidad de los gases sea igual a la del aire a 343.3°C, esto es 0.576 kg/m<sup>3</sup>, tenemos:

$$H = \frac{23 \times 996}{464 \times 730 \left( \frac{1}{303} - \frac{1}{523} \right)} = 54.7 \text{ m}$$

$$V = \sqrt{2 \times 9.81 \times 54.7 \left( \frac{523}{303} - 1 \right)} = 28 \text{ m/seg}$$

$$Q = 8.500 \times 20 / (60 \times 60 \times 0.576) = 82 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$A = 82 / (0.4 \times 28) = 7.32 \text{ m}^2$$

### 3.2.5 FILTROS DE ENTRADA DE AIRE

Cuando las condiciones ambientales de la zona donde se capta el aire comburente son tales que el aire admitido puede contener impurezas que afecten a elementos mecánicos o al mismo proceso de combustión, conviene colocar filtros en la entrada de los conductos.

Es recomendable colocar filtros si:

1. El aire contiene solidos abrasivos que pueden producir desgastes en los elementos mecánicos del circuito de aire.
2. El aire aspirado está contaminado con sustancias que pueden interferir el proceso de combustión, o que pueden contaminar, a su vez, los gases de combustión.
3. El aire aspirado esta contaminado con sustancias que pueden actuar como catalizadores en los procesos de corrosión asociados al  $SO_2$ .

Sin embargo, en muchos casos no es necesario colocar filtros a la entrada del aire comburente y de hecho, gran parte de las calderas de vapor carecen de ellos.

---

### 3.3 CHIMENEAS

Una chimenea es el ducto, de sección circular o cuadrada, por el cual se conducen los gases producto de combustión hasta un lugar conveniente y seguro.

La chimenea se puede construir de cualquier material, empleándose generalmente lámina de acero, concreto o ladrillo, siempre y cuando garantice resistencia al calor y a la corrosión, así como a la presión de viento y sismos.

---

#### 3.3.1 REQUISITOS PARA LAS CHIMENEAS

El reglamento para generadores de vapor de la Secretana del Trabajo, establece en el Art. 33, que a continuación se transcribe, los requerimientos para una chimenea:

"Artículo 33 CHIMENEAS. Deberán reunir los requisitos siguientes:

1. Tendrán la capacidad suficiente para dar salida a todos los gases producidos por la combustión.



2. Tendrán la altura necesaria para que llenen debidamente su objetivo y, en todo caso, la mínima deberá ser tal que sobresalga un metro veinticinco centímetros del techo del edificio o cuarto de generadores cuando no hay edificio cercano, o tres metros del edificio más alto que se encuentre dentro del perímetro de diez metros alrededor de ellas.
3. Deberán ser construidas de manera que garanticen su completa estabilidad y podrán ser metálicas, de concreto armado, de piedra o de ladrillo con mortero de cemento. Cuando se usen materiales alterables al fuego, deberán revestirse interiormente con materiales a prueba de fuego hasta la altura que fuere necesaria, según la temperatura de los gases de salida. Deberá estar convenientemente atirantada para lograr su estabilidad.
4. Cuando las dimensiones de la chimenea lo requieran, deberán contar con aberturas practicadas en su base con puertas de cierre para que pueda fácilmente ser limpiada e inspeccionada "

---

### 3.3.2 PUERTOS DE MUESTREO

La Secretaría de Desarrollo Social, para facilitar la toma de muestras de los gases en la chimenea, ha establecido en la norma CCAT-FF-001 que aquella debe contar con puertos de muestreo según se muestran en las Figs. 3.7, 3.8, y 3.9.

FIG. 3.7: VISTA LATERAL DE PUERTOS Y PLATAFORMA PARA MUESTREO

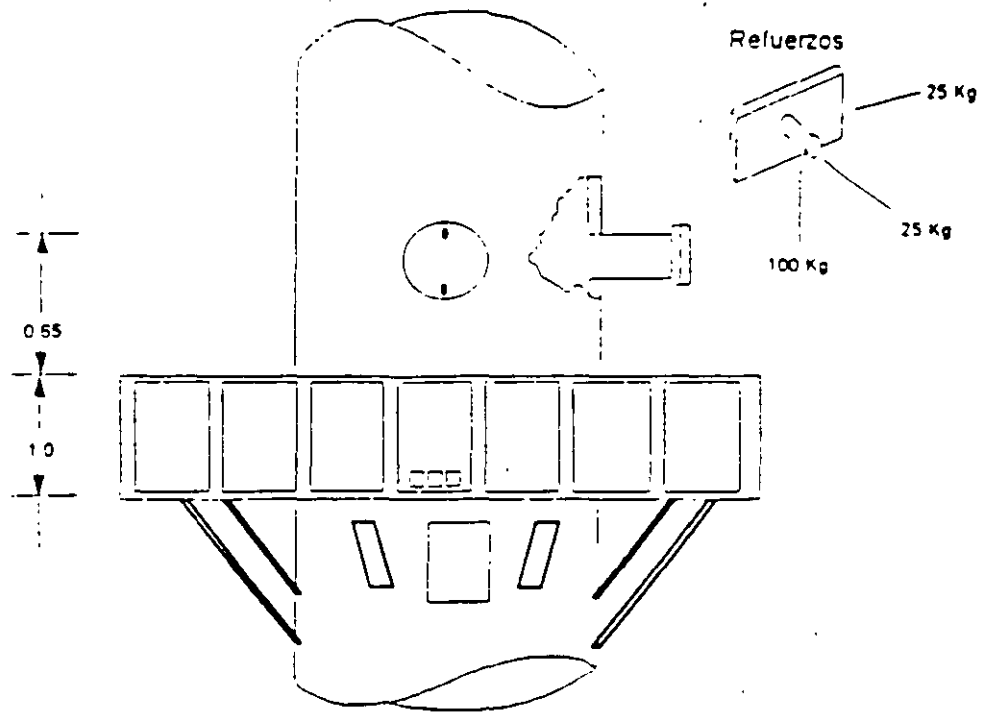
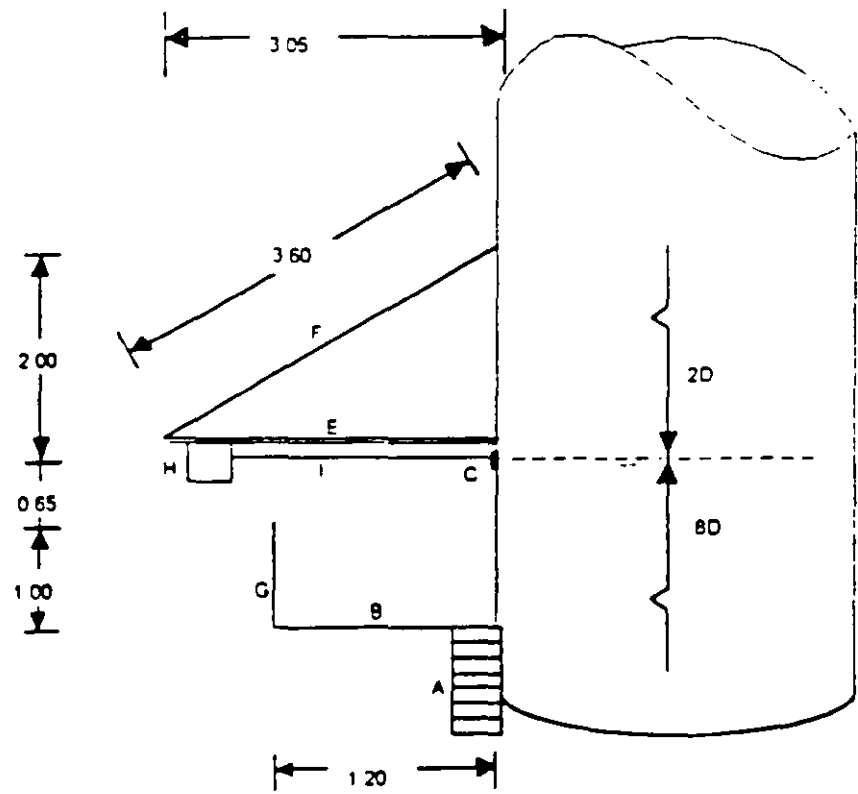
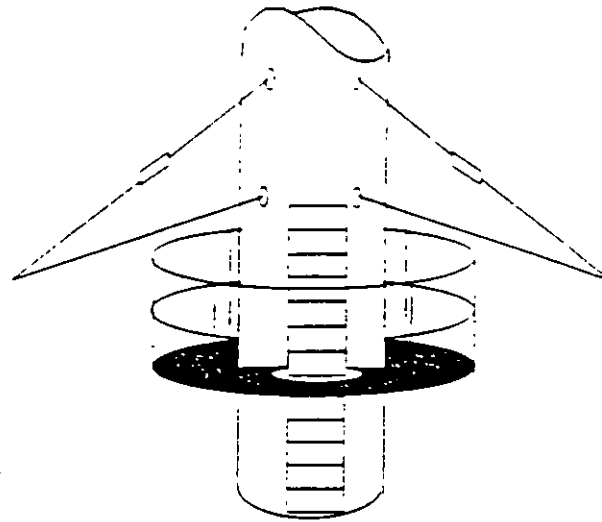


FIG. 3.8: PERFIL DE PUERTOS Y PLATAFORMA PARA MUESTREO



**FIG. 3.9: INSTALACION COMPLETA DE PUERTOS Y PLATAFORMAS DE MUESTREO**



### 3.4 CALENTADORES DE AIRE

Una forma de recuperar el calor sensible de los gases se produce mediante el uso de calentadores de aire, cuya misión es aumentar la temperatura del aire de combustión, por lo tanto son unos elementos que recuperan parte del calor sensible de los gases de combustión y lo añaden al aire requerido para quemar el combustible.

Cuando se utilizan calentadores de aire se producen los siguientes efectos

- 1° Se reducen las pérdidas de calor en los gases de combustión. Aproximadamente, por cada 20°C de reducción en la temperatura de dichos gases se obtiene un 1% de ahorro de combustible.
- 2° Se aumenta la temperatura de la llama en la zona de combustión.
- 3° Se reducen los excesos de aire.

Prácticamente todas las calderas que queman carbón pulverizado necesitan precalentar el aire desde 15°C hasta 315°C para poder secar el combustible.

Las calderas con parrilla para carbones bituminosos operan mas eficientemente con aire precalentado aproximadamente a 175°C. De hecho no puede calentarse más, ya que los componentes (sobre todo móviles) tienen un limite de diseño a estas temperaturas.

### 3.4.1 TIPOS DE CALENTADORES DE AIRE

Existen diferentes tipos de calentadores de aire, los cuales funcionan a diferentes temperaturas. Por lo tanto, la temperatura es la base de la clasificación. En la Fig. 3.10 se indican los diferentes tipos y a continuacion se describe uno a uno.

Cabe hacer notar que en Europa, aparecieron de manera reciente intercambiadores de plástico poco sensibles a la corrosión. Actualmente es demasiado pronto para conocer el porvenir de este tipo de equipo

FIG. 3.10: TIPOS DE CALENTADORES DE AIRE. RANGOS DE TEMPERATURA DE APLICACION

Tipos	Gases	
	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima para Combustibles con Azufre
A.E.S.S	500-600	160-180
Acero con superficies extendidas	400-500	160-180
Hierro fundido con aletas	400-500	140-160
Vidrio borosilicato	230-250	100-120

### Calentadores de Tubos Lisos de Acero

Consisten en un conjunto de tubos formando circuito, incluido en una carcasa exterior. En la Fig. 3.11 aparece un precalentador de aire de este tipo utilizado en contracorriente. El aire frio entra por la parte superior y sale caliente por la inferior.

El camino de los gases es inverso, circulando por el interior de los tubos. Puede verse en la Fig. 3.12 que existe un bypass para el aire, de forma que

sólo se introduzca parte de él en el calentador, lo cual garantiza una temperatura de las superficies de intercambio por encima de aquella para la que se puede producir el rocío ácido.

En la Fig. 3.12 aparecen algunas de las diversas posibilidades de arreglo de los flujos de aire y gases de combustión en un calentador de aire. La versatilidad de estos equipos permite multitud de disposiciones.

---

### De Tubos de Acero con Superficies Extendidas

Al igual que en los economizadores, es posible utilizar tubos con aletas, lo cual aumenta la superficie de transferencia y permite reducir el volumen total del calentador.

---

### De Hierro Fundido con Aletas

En este tipo de calentadores de aire se utilizan tubos de sección rectangular con aletas interiores y exteriores. En la Fig. 3.13 aparece uno de los tubos. El conjunto de los tubos se coloca horizontalmente, de forma que el aire fluye en esta dirección por su interior. Externamente fluyen los gases de combustión en flujo cruzado. En la Fig. 3.14 aparece un calentador de aire de este tipo, combinado con tubos de vidrio borosilicato.

---

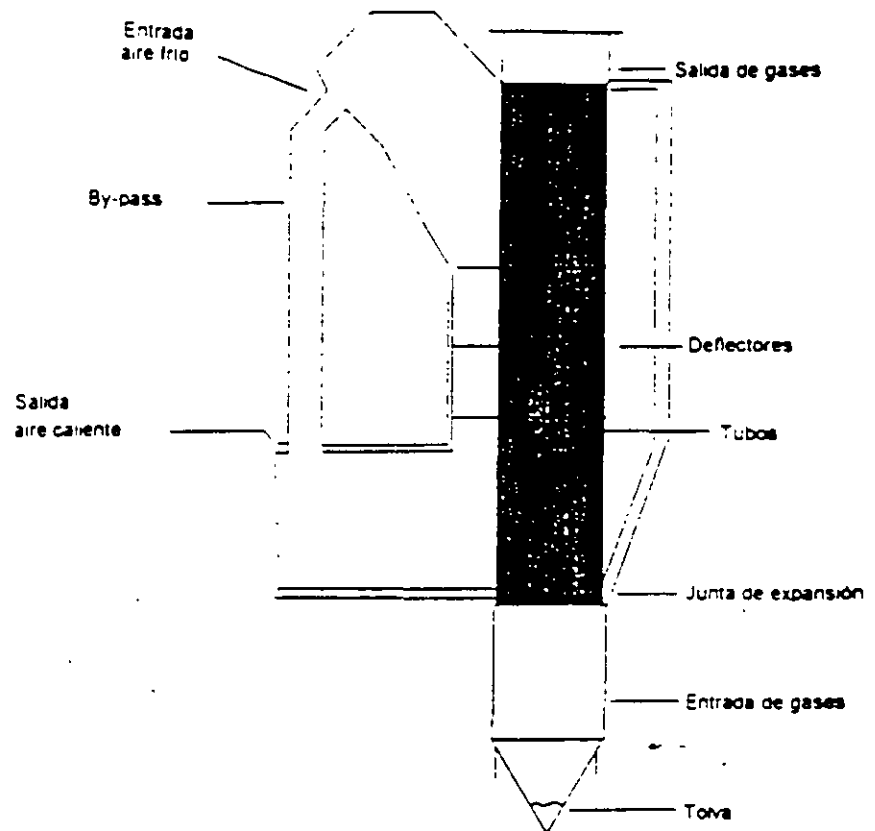
### De Tubos de Vidrio Borosilicato

Para temperaturas bajas de gases, se han desarrollado calentadores de aire de tubos de vidrio borosilicato los cuales, para estas temperaturas, presentan ciertas ventajas con respecto a otros tipos de calentadores.

En este diseño puede circular cualquiera de los dos flujos por el interior de los tubos, aunque habitualmente lo hace el aire.

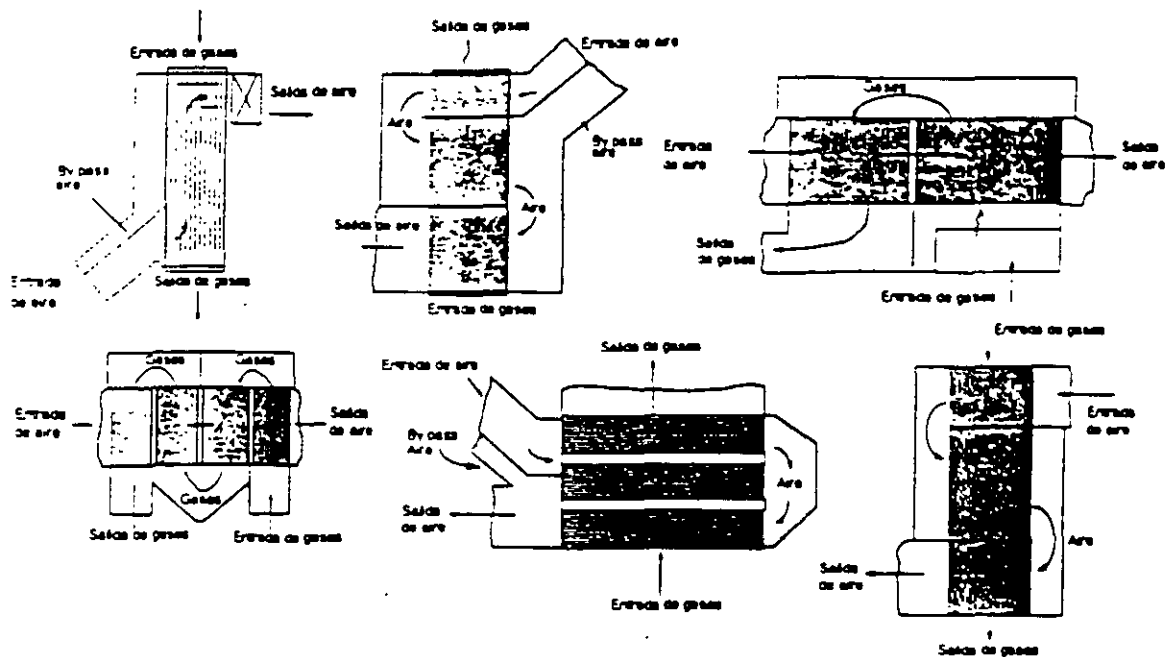
Los calentadores de aire de vidrio borosilicato presentan como ventajas: la alta transferencia de calor, la facilidad de limpieza y la resistencia a la corrosión. Como desventajas principales se tienen las derivadas de la fragilidad del vidrio y de los problemas de dilataciones.

FIG. 3.11: CALENTADOR DE AIRE TUBULAR PARA CONTRACORRIENTE GASES/AIRE CON BYPASS EN LA ENTRADA DE AIRE



PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

FIG. 3.12: ALGUNOS ARREGLOS DE CALENTADORES DE AIRE TUBULARES SEGUN DIRECCION DE LOS FLUJOS DE GASES Y DE AIRE



En general, no se producen incrustaciones sobre los tubos, ya que su rugosidad es muy baja y los fluidos circulan a gran velocidad. Por lo tanto, la limpieza se puede realizar por inyección de agua con boquillas difusoras situadas en puntos estratégicos del calentador. Como consecuencia de todo lo anterior, con este tipo de calentador se producen economías importantes de energía.

### **3.4.2 DISPOSICIONES MAS FRECUENTES**

La práctica habitual de la instalación de calentadores de aire se resume en los siguientes casos:

---

#### **En Relación a la Posición del Calentador de Aire con Respecto al Flujo de Gases**

Se puede adoptar la disposición bypass o la disposición en serie

Dicha disposición sería similar a la de los economizadores indicados en las Figs. 3.18 y 3.19: en el sistema de disposición en serie el calentador de aire se intercala en el conducto de gases, de forma que estos pasan siempre a través del mismo. En el caso de bypass, puede aislarse el calentador de aire del flujo de gases, de tal forma que por un conjunto de cortatiros se puede conseguir que nada, parte o el total del flujo de gases pase a través del mismo.

Las especificaciones generales a cumplir en el diseño y la instalación de calentadores de aire deberán seguir la línea expuesta para economizadores.

---

#### **En Relación al Circuito de Aire**

Es conveniente que exista un bypass en el circuito de aire, a fin de garantizar que la temperatura de las superficies de intercambio no descienda de la mínima necesaria para evitar los problemas asociados al rocío ácido.

---

#### **Sistemas Bi-transfer**

El sistema bi-transfer ha sido desarrollado como una alternativa a los métodos tradicionales de intercambio de calor entre dos fluidos, y es particularmente útil cuando se trata de intercambiar calor entre dos gases, por ejemplo, para calentar el aire comburente de una caldera de vapor a partir del calor de los gases que salen de la misma.

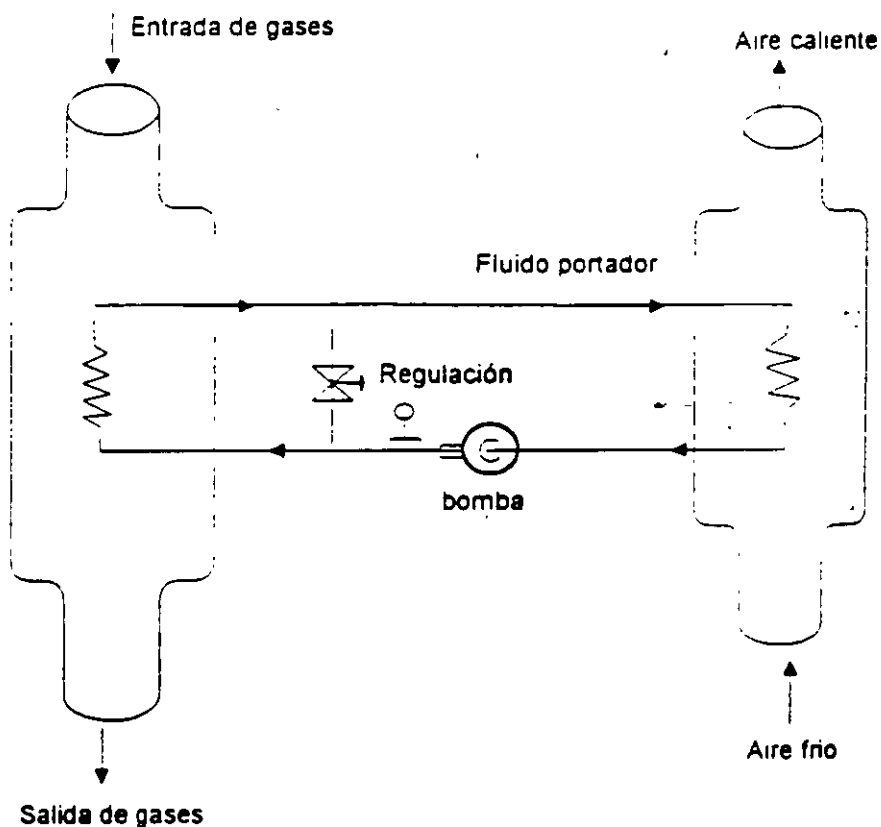


Estos sistemas consisten básicamente en un circuito de fluido térmico y dos intercambiadores de calor:

- Gases - fluido térmico, donde los gases calientan el fluido térmico.
- Fluido térmico - aire, donde se enfría el fluido térmico calentando el aire.

En los sistemas bi-transfer se realizan, por tanto, intercambios de calor gas-liquido, tal como se representa en la Fig. 3.15 y, por ello, puede emplearse ventajosamente la tecnología de las superficies extendidas

**FIG. 3.15: SISTEMA BI-TRANSFER**



Normalmente se utilizan para su construcción tubos con aletas transversales redondas o cuadradas, siendo las más habituales:

- AF, formados por tubos de a.e.s.s. recubiertos con piezas de fundición con aletas.  
Estos tubos suelen emplearse en el cambiador gases - fluido térmico, cuando el combustible contiene azufre.
- AA, formados por tubos de a.e.s.s. con aletas de acero. Estos tubos se emplean en el cambiador aire-fluido térmico y en el cambiador gases-fluido térmico, cuando lo permiten las características del proyecto. (Combustibles exentos de azufre, o altas temperaturas del fluido térmico).

Habitualmente se emplean dos tipos de fluido térmico: aceites térmicos y agua.

El agua, por sus parámetros termodinámicos, es el mejor fluido térmico que existe, pero su utilización está limitada por las elevadas presiones que impone, de forma que no es práctico emplear agua como fluido térmico por encima de 200°C. Por el contrario, los aceites térmicos tienen tensiones de vapor muy bajas, y pueden utilizarse para transmitir calor a temperaturas altas con presiones ligeramente superiores a la atmosférica.

Para el intercambiador gases - fluido térmico, se puede adoptar la disposición bypass (Fig. 3.18) o en serie (Fig. 3.19).

Para el arreglo en serie, el intercambiador se intercala en la chimenea de tal forma que los gases de combustión pasan siempre a través del mismo. En el caso de bypass puede aislarse el intercambiador del flujo de gases, de modo que, con un conjunto de cortatiros, se puede conseguir que nada, parte o el total del flujo de gases pase a través del equipo. Evidentemente, esto es una ventaja de la disposición bypass con respecto a la serie, ya que ninguna operación de mantenimiento o reparación que hubiera que realizarse en el intercambiador, implicaría la parada de la caldera o del elemento generador de los gases.

---

### 3.4.3 METODOS DE CALCULO EN CALENTADORES TUBULARES

---

#### Condiciones a Considerar en Cada Diseño

El diseño de un calentador de aire debe realizarse a partir de los siguientes datos iniciales.

- Temperatura de gases (°C)
- Temperatura del aire comburente (°C)
- % medio de (CO<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub>) en los gases (%)
- Tipo de combustible
- Configuración de la caldera, horno o secador, para estudiar sus pérdidas

Es conveniente definir varias marchas típicas y conocer los datos anteriores en cada una de ellas. También deberán tomarse en cuenta los siguientes datos del propio calentador:

- Tipo de material a emplear
- Tipo de calentador de aire a emplear
- Incremento permitido en la presión de los gases como consecuencia de las pérdidas de carga debidas a la interposición del calentador de aire

---

#### Transmisión de Calor en Tubo Liso

Para el cálculo del precalentador de aire, que es similar al del economizador, ver las secciones 3.5

---

## 3.5 ECONOMIZADORES

De los generadores de vapor y de las calderas de agua caliente, de agua sobrecalentada y de fluido térmico, por lo regular salen los gases a temperaturas altas desde el punto de vista de su aprovechamiento energético.

En la actualidad, el equipo que más se utiliza para realizar esta función es el economizador, el cual es un intercambiador de calor gases-agua, que se instala en una caldera de vapor para elevar la temperatura del agua de alimentación a esa y, de esta forma, obtener un ahorro de combustible. Por extensión en este trabajo, se llamará economizador a todo intercambiador de gases de combustión-agua.

La idea de realizar este aprovechamiento data de mucho tiempo, de manera que a las primeras calderas de vapor ya se les dotaba de un economizador para este fin. A lo largo de su dilatado tiempo de utilización, la tecnología de los economizadores ha recibido multitud de aportaciones.

Antes de la crisis de la energía, es decir, mientras los precios de la energía eran notablemente bajos, el empleo de economizadores presentaba limitaciones económicas. En esta línea, nadie dudaba de su necesidad en las calderas grandes, mientras que en las calderas pequeñas (potencia inferior a 5,000 Mcal/h) no se utilizaban nunca, y en las restantes calderas se instalaban sólo en casos particulares, ya que su rentabilidad era dudosa.

El desarrollo de la tecnología de diseño y construcción de economizadores ha hecho que las inversiones precisadas para su instalación hayan disminuido en valor constante. Por otra parte, al aumentar el costo de los combustibles han aumentado considerablemente los valores de las recuperaciones o ahorros que con estos equipos se obtienen.

---

### 3.5.1 TIPOS DE ECONOMIZADORES

Los economizadores están compuestos, básicamente, por un haz de tubos agrupados convenientemente. Por el interior de los tubos circula el agua a calentar, mientras que los gases de la combustión bañan su superficie exterior.

El desarrollo tecnológico ha ido siempre en la línea de modificar los diseños de los tubos con el fin de aumentar la transmisión de calor en un intento de maximizar la rentabilidad y de resolver, al mismo tiempo, algunos problemas colaterales que el empleo de los economizadores plantea, tales como limpieza, corrosión, etc.

A lo largo del tiempo han sido muchos y muy variados los diseños y realizaciones de economizadores. Sin embargo, en el estado actual de la tecnología se ha llegado a un número limitado de tipos que son los que habitualmente aparecen en la oferta mundial de estos equipos.

Generalmente, los economizadores se clasifican en función de las características de los tubos, existiendo cuatro tipos fundamentales

---

#### **AESS: Tubos de Acero Estirado sin Aletas**

En algunos economizadores se emplean tubos comerciales de este tipo, siendo su aplicación más importante cuando la temperatura de los gases es muy alta y por lo tanto se tienen saltos térmicos muy altos y gran transferencia de calor

---

#### **AA: Tubos de Acero Estirado con las Aletas Transversales de Acero**

Normalmente, se dota a los tubos comerciales de acero estirado de aletas transversales de acero. Estas aletas son cuadradas o redondas. La continuidad entre el tubo y las aletas se obtiene por soldadura o por encastre por deformación en frío o en caliente. Este tipo de tubos se emplea en todos los procesos de transferencia de calor, siempre que no haya riesgo de

corrosión de los mismos por el ácido sulfúrico procedente del azufre del combustible.

---

**F: Tubos de Hierro Fundido con Aletas**

Estos tubos se obtienen directamente por fundición con sus aletas redondas o cuadradas. Este tipo, que fue el más empleado en el pasado, ha quedado hoy en día relegado debido a su alto costo y a su deficiente resistencia mecánica.

---

**AF: Tubos de Acero Estirado Recubiertos con Piezas de Hierro Fundido, con Aletas Redondas, Cuadradas o Rectangulares**

Estos tubos son los más empleados en la actualidad, ya que presentan las ventajas de la fundición frente a la corrosión ácida y las ventajas del acero estirado en cuanto a la resistencia mecánica.

Para la fabricación de estos tubos se parte de tubo comercial de acero estirado y de piezas de hierro fundido con aletas. Se introduce el tubo de acero en el interior de las piezas, y, para dar continuidad entre ambos materiales se realiza un apriete fuerte entre ellos, mediante calado en caliente o deformación plástica del acero en frío, por la aplicación de presión interior u otros métodos. En las Figs. 3.16 Y 3.17 se incluyen tres modelos de tubo, de los tipos AA y AF.

Otra clasificación típica de los economizadores los divide en vaporizadores y no vaporizadores, atendiendo a que en el interior de los tubos el agua pueda alcanzar o no su temperatura de saturación.

Obviamente, en los economizadores vaporizadores se puede utilizar cualquiera de los tipos de tubos AESS, AA y AF, mientras que la fragilidad de la fundición no aconseja el empleo de los tubos F.

FIG. 3.16: TUBOS CON ALETAS TIPO AA

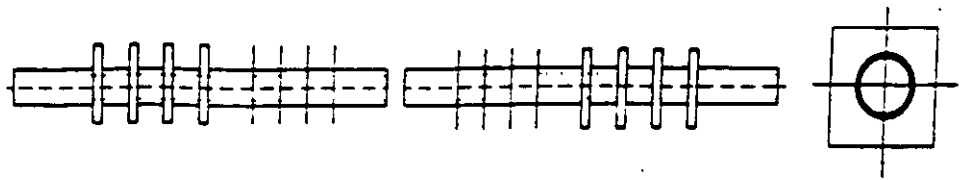
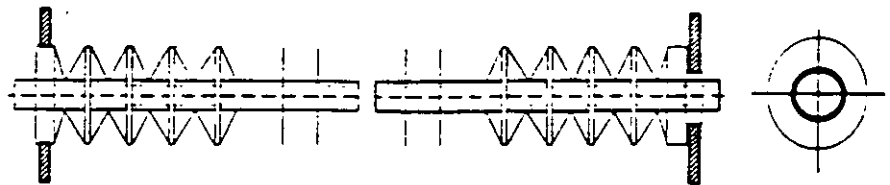


FIG. 3.17: TUBOS CON ALETAS TIPO AF



### 3.5.2 ARREGLOS MAS FRECUENTES

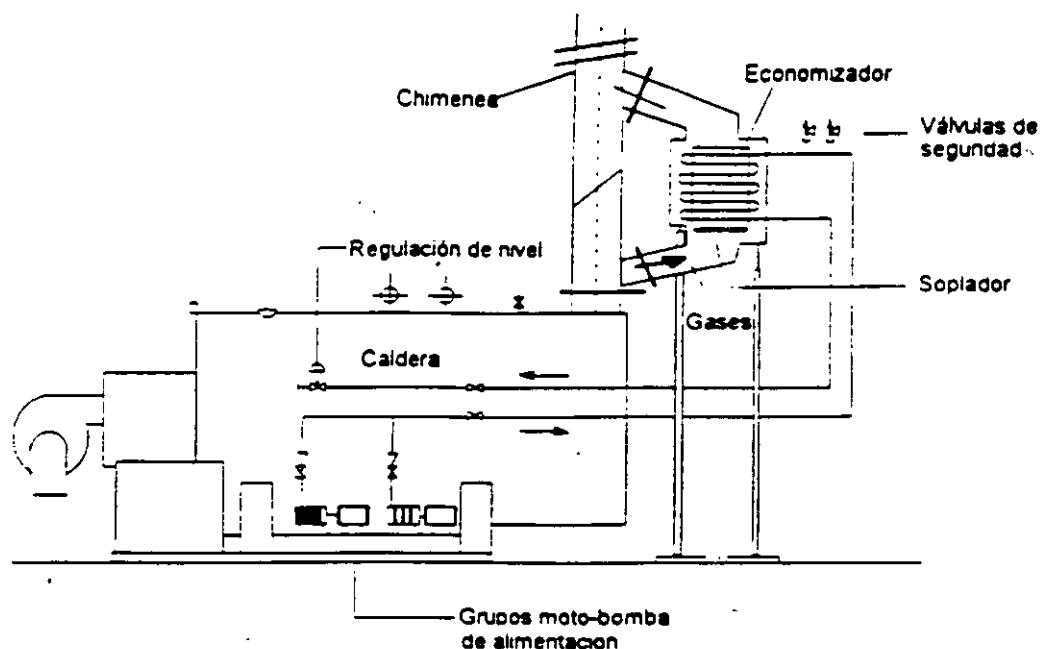
En general, las calderas pequeñas y medianas suelen ser de diseño compacto. La práctica habitual de la instalación de economizadores se resume en los siguientes casos:

#### Posición del Economizador con Respecto al Flujo de Gases

Se puede adoptar la disposición bypass o la disposición en serie. En las Figs. 3 18 y 3 19 se pueden ver ambas disposiciones.

En el sistema de disposición en serie, el economizador se intercala en la chimenea, de tal forma que los gases de combustión pasan siempre a través del mismo. En el caso de bypass, se instala el economizador en paralelo con el flujo de gases, de tal forma que por un conjunto de cortatiros se puede conseguir que nada, parte o el total del flujo de gases pase a través del economizador. Evidentemente, esto es una ventaja de la disposición bypass con respecto a la serie, ya que ninguna operación de reparación que hubiera de realizarse en el economizador implicaría la parada de la caldera.

**FIG. 3.18: INSTALACION DE ECONOMIZADOR EN CALDERA COMPACTA (En Bypass)**

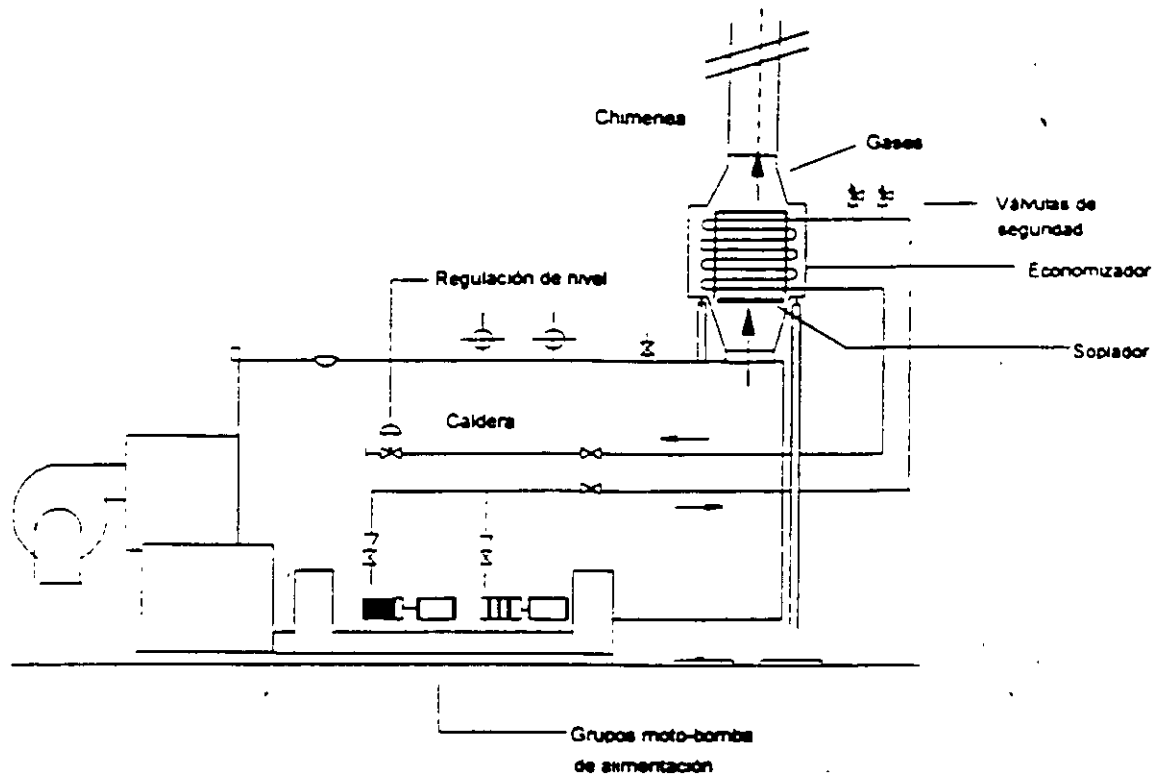


Aunque en los croquis no está indicado, a la hora de realizar la instalación de un economizador se han de satisfacer las siguientes especificaciones generales (en cada caso concreto habrá otra serie de especificaciones particulares que fijará el diseñador).

- Las válvulas para agua deben ser de cuerpo de acero. Es recomendable que sean válvulas de asiento.
- Debe instalarse un equipo de regulación del nivel de agua en la caldera, de forma que la alimentación de agua sea continua y se obtenga el mejor aprovechamiento energético.
- Se instalarán dos válvulas de seguridad, de acuerdo al reglamento vigente de recipientes a presión.
- Los conductos de gases deberán estar dimensionados para el máximo flujo de gases y contruidos de acuerdo a las recomendaciones habituales para evitar pérdidas de carga excesivas. El espesor mínimo será de 4 mm. Las soldaduras de placas se efectuarán con cordón interior y exterior. Las uniones atornilladas llevarán juntas de estanqueidad de amianto.



**FIG. 3.19: INSTALACION DE ECONOMIZADOR EN CALDERA COMPACTA (En serie)**



- Los cortatiros estarán previstos para trabajar con gases calientes y con las holguras suficientes para ser accionados con suavidad.
- Se instalarán las plataformas y escaleras necesarias para un fácil acceso para inspección y mantenimiento.
- Se instalarán en los conductos de gases dos termómetros, antes y después del economizador, de caña lo suficientemente larga para llegar al centro del conducto.
- Se instalarán dos termómetros en las tuberías de entrada y salida de agua al economizador, con vainas de acero inoxidable.
- Se debe dotar al equipo de los sopladores precisos para una fácil limpieza de las superficies de intercambio.
- El equipo deberá ir provisto de cierres metálicos que eviten salidas de gases, y de puertas para acceso a los tubos, atornilladas y con juntas de amianto.

- Deben aislarse, para reducir pérdidas de calor y proteger al personal
  - Tuberías de llegada y salida de agua, en todo su recorrido
  - Tuberías de vapor de soplado.
  - Conductos de llegada de gases
  - El economizador.
  - Conductos de salida de gases en caso de peligro para el personal o riesgo de formación de rocío ácido.

Es recomendable utilizar aislamiento de fibras de vidrio o lana mineral, forrada con lámina de aluminio u otro similar.

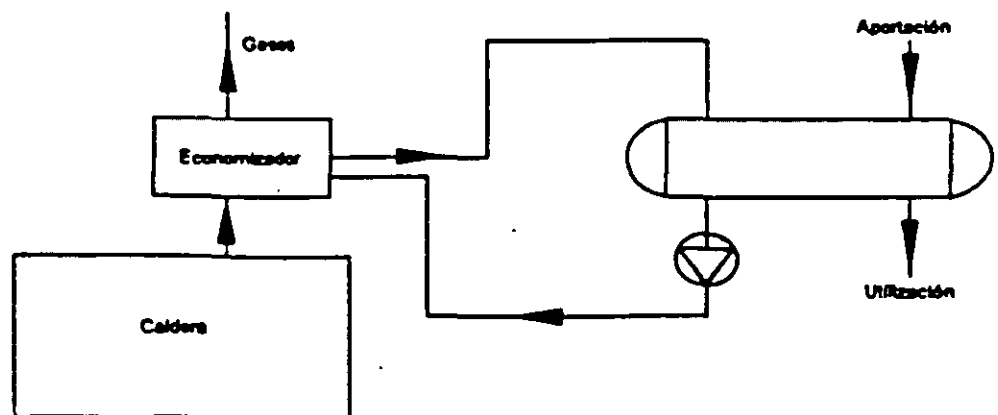
### Circuito del Agua

Básicamente pueden adoptarse dos disposiciones en el circuito de agua.

- Que el agua, una vez calentada en el economizador, pase directamente a la caldera. Este es el caso representado en las Figs 3.18 y 3.19. Habitualmente se instala un juego de válvulas para aislamiento y bypass del equipo
- Que el agua caliente del economizador pase a otros circuitos

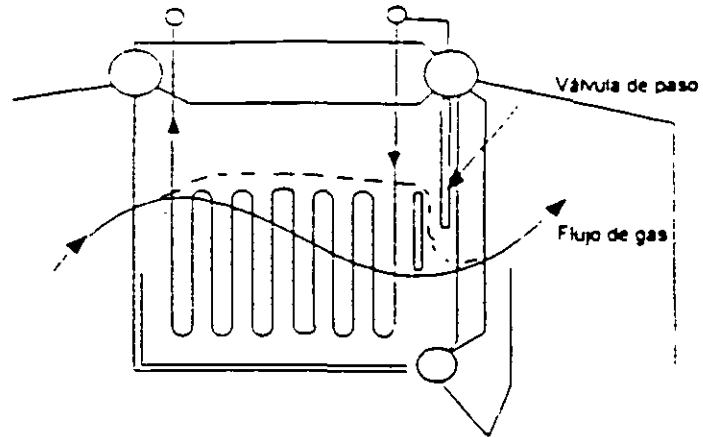
En la Fig. 3.20 se muestra un ejemplo de esta última disposición, que se emplea frecuentemente para recuperar calor de los gases de las calderas de fluido térmico, por ejemplo.

**FIG. 3.20: RECUPERACION DEL CALOR DE GASES PARA TRANSFERIRLO A OTROS CIRCUITOS**

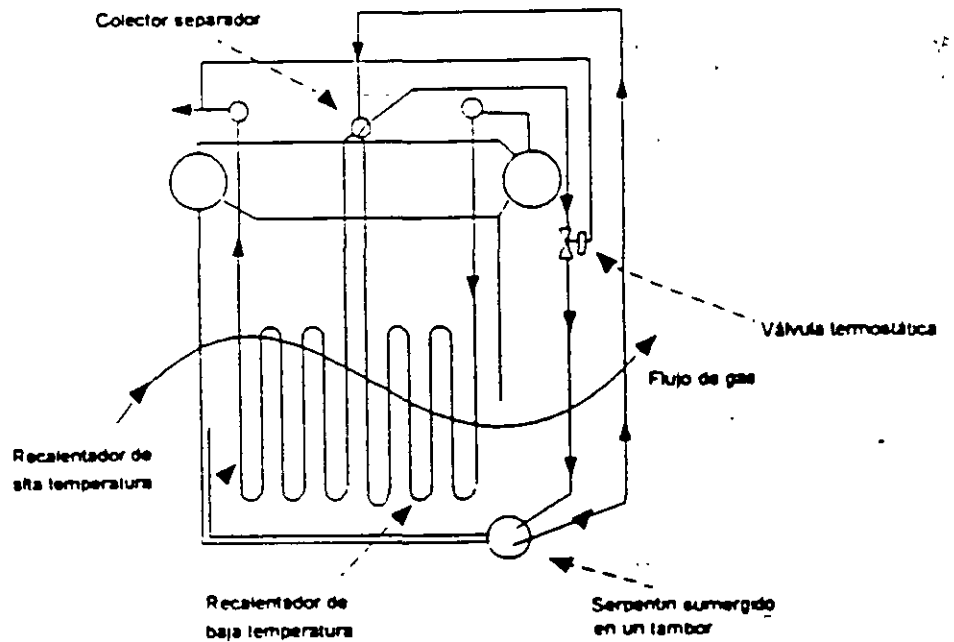


corrosión y a elevadas temperaturas en los canales de gas, ha limitado el empleo del método de control a base de registro.

**FIG. 3.21: CONTROL DE TEMPERATURA DEL VAPOR POR FLUJO DE GAS**

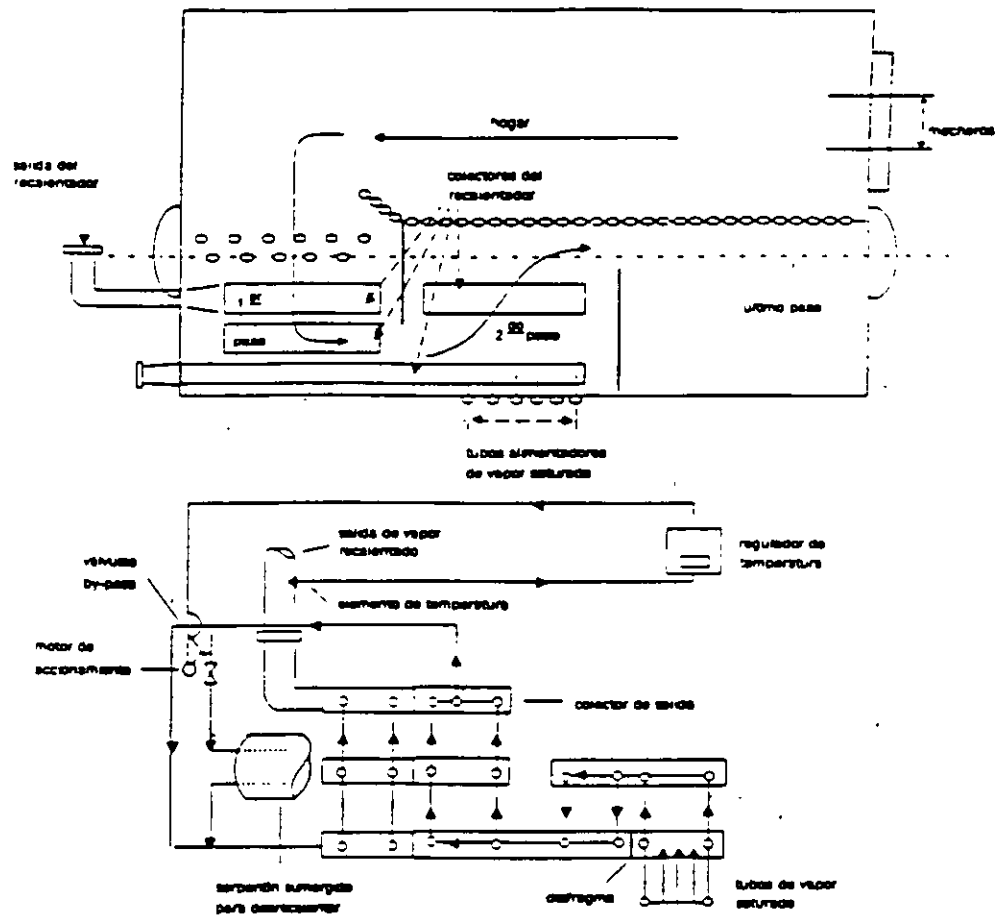


**FIG. 3.22: DESRECALENTADOR DE SERPENTIN SUMERGIDO EN EL TAMBOR**



PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

**FIG. 3.23: ESQUEMA DE LA CIRCULACION DEL VAPOR Y DE LA REGULACION DE TEMPERATURA**



Otro método se muestra gráficamente en la Fig. 3.22. Una parte del vapor de la sección de baja temperatura del recalentador es desviada a un serpentín sumergido en el tambor inferior de la caldera controlado por una válvula de paso; esta última es accionada según la temperatura final del vapor, con lo que el dispositivo resulta automático. El vapor desrecalentado es devuelto y se mezcla con el vapor que no ha sido desrecalentado, en un colector de ambos vapores y por último, el recalentamiento final tiene lugar en el recalentador del segundo escalón. Este dispositivo presenta la ventaja de que no hay mecanismos expuestos a la acción corrosiva de los gases de

---

## 3.6 SOBRECALENTADORES

Ninguna caldera puede producir vapor recalentado a menos que se trate de una de tubos de agua provista de un tambor seco.

La cantidad de humedad en el vapor presente en el vapor crece con el régimen de evaporación y en grandes capacidades es común el arrastre de humedad.

Cada 1% de humedad en el vapor reduce el rendimiento en un 2%

Por otro lado, el recalentamiento reduce consumo de vapor en las máquinas que lo utilizan, por tanto disminuye el consumo de vapor por unidad de potencia producida.

La experiencia demuestra que para eliminar cada 1% de humedad en la entrada se requieren aproximadamente, como 3.9°C de recalentamiento

Por otra parte, existen condiciones iniciales de trabajo como en una turbina, que requieren de 425 a 570°C, las cuales son imposible de alcanzar sin recalentamiento, ya que la temperatura de saturación incluso a la presión crítica de 226 kg/cm<sup>2</sup> es sólo de 374°C. El rendimiento en un ciclo Rankine de una turbina en trabajo escalonado con vapor recalentado varía del 80 al 97%, mientras que el del escalón cuyos álabes trabajan con vapor húmedo puede ser tan bajo como 60%. El recalentamiento no sólo reduce las erosiones, sino que, aumenta el rendimiento general.

---

### 3.6.1 METODOS PARA RECALENTAR EL VAPOR

Hay dos métodos, en general, para recalentar el vapor, y ambos utilizan el calor de los humos o gases de combustión para eliminar las últimas trazas de humedad y aumentar la temperatura del vapor; estos son:

1. Recalentamiento por convección.
2. Recalentamiento por radiación.

---

### 3.6.2 RECALENTADORES PARA ALTAS TEMPERATURAS DE VAPOR

La demanda hoy en día se encuentra en temperaturas de vapor de 482 a 566°C, con una temperatura relativamente constante a lo largo de la zona de trabajo elegida, permitiendo variaciones de  $\pm 14^\circ\text{C}$ , y en condiciones normales de  $\pm 5.5^\circ\text{C}$ .

Por su parte, la temperatura de la flama, para obtener que la del vapor sea más elevada, se acerca a la temperatura de fusión de la ceniza en el carbón y existe una tendencia de ésta a depositarse en forma fluida sobre los tubos de los recalentadores, es decir, forma escoria.

Para estos problemas se tienen las siguientes soluciones:

1. Sitúe el recalentador cerca del hogar para obtener la temperatura de vapor requerida.
2. Sitúese un banco de tubos de pantalla en el frente del recalentador, para limitar la acumulación de escorias. La experiencia demuestra que estos tubos deben hallarse bastante separados (30 a 35 cm).

---

### 3.6.3 CONTROL DE TEMPERATURA EN RECALENTADORES DE CONVECCION

Un método de control de temperatura de vapor, usual hasta hace poco, era el de desviar (bypass) una parte de los gases de la combustión para que no pasen por la superficie del recalentador durante las altas producciones del vapor. En efecto, al aumentar la producción de la caldera, más gases y a mayor temperatura atraviesan el haz de tubos del recalentador, lo cual, al permanecer constante la superficie de transferencia de calor, origina que la temperatura total del vapor aumente más de lo que puede resistir la máquina accionada. Tal como se muestra en la Fig. 3.21, puede disponerse un canal de desviación con un registro. La resistencia disminuida del gas da lugar a un flujo de éste a través del canal de desviación, permitiendo con ello controlar el proceso de calentamiento. Las dificultades que presenta el empleo de materiales que den resultado satisfactorio en lo referente a resistencia a la

combustión. Por consiguiente no existe un sobrecalentamiento del metal a altas temperaturas

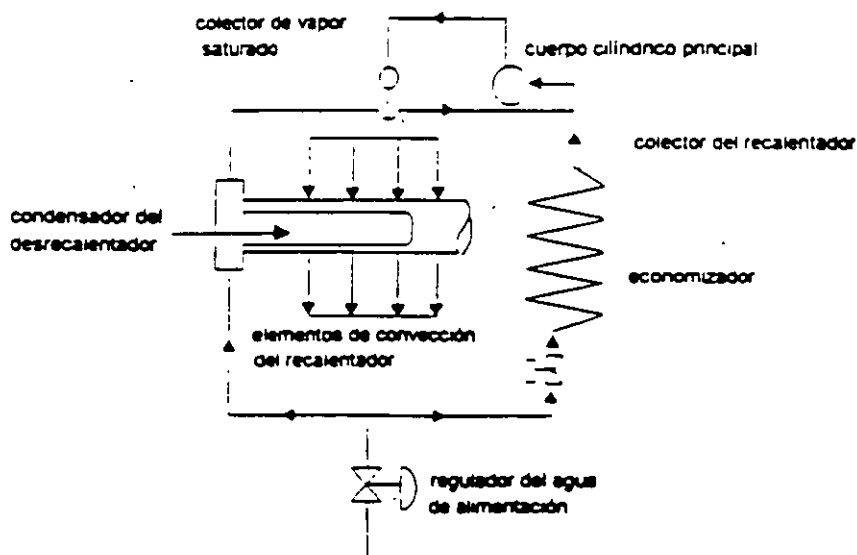
La Babcock & Wilcox Company ha utilizado este sistema durante años. Una instalación de estos últimos tiempos se muestra en esquema en la figura 3 23 aplicada a un generador de vapor normalizador de tipo F. Los gases fluyen horizontalmente a la parte posterior del hogar penetrando por el primer paso y pasando a continuación de éste al segundo y último paso, desplazándose verticalmente al equipo de recuperación de calor. Tal como muestra el diagrama, el vapor saturado del cuerpo cilíndrico superior penetra en la sección del segundo paso de un recalentador y después al colector opuesto, es decir, también en el segundo paso, y retrocede al colector primitivo. Un diafragma divide las dos secciones del colector del recalentador; entonces el vapor pasa a través de tubos a una sección del colector de salida. En este punto, todo el vapor sale de la caldera y una parte de vapor parcialmente recalentado se desrecalienta, uniéndose después las dos corrientes de vapor que pasan a través de la sección final del recalentador de alta temperatura. Un control automático de temperatura mantiene una regulación precisa.

Otro método de control se muestra en el esquema de la Fig 3 24. Este esquema controla el flujo de agua a la caldera de acuerdo con la temperatura de vapor requerida. Una parte del agua de alimentación de la caldera, después de desviarse del regulador de agua, pasa a un desrecalentador-condensador situado en la admisión del colector del recalentador. El vapor procedente del cuerpo cilíndrico penetra en el colector del recalentador y se humidifica por la superficie de calefacción situada en el colector. Un control automático regula la cantidad de agua de alimentación que se desvía.

El comparativo de los resultados obtenidos al desviar el gas por un bypass con relación al desrecalentamiento, se indican en la Fig. 3 25. Esta caldera suministra vapor a una máquina con tres calentadores de agua de alimentación. La temperatura del agua de alimentación, con todos los calentadores en funcionamiento, varía desde 99°C al 20% de producción de la caldera hasta 149°C al 100%. Si el calentador de alta presión está fuera de servicio, la temperatura del agua de alimentación es constante debido a un desaerador a presión constante, y el recalentador de vapor funcionará de forma que proporcione un vapor a temperatura constante. La temperatura del agua de alimentación se indica en la parte inferior de la figura. El efecto

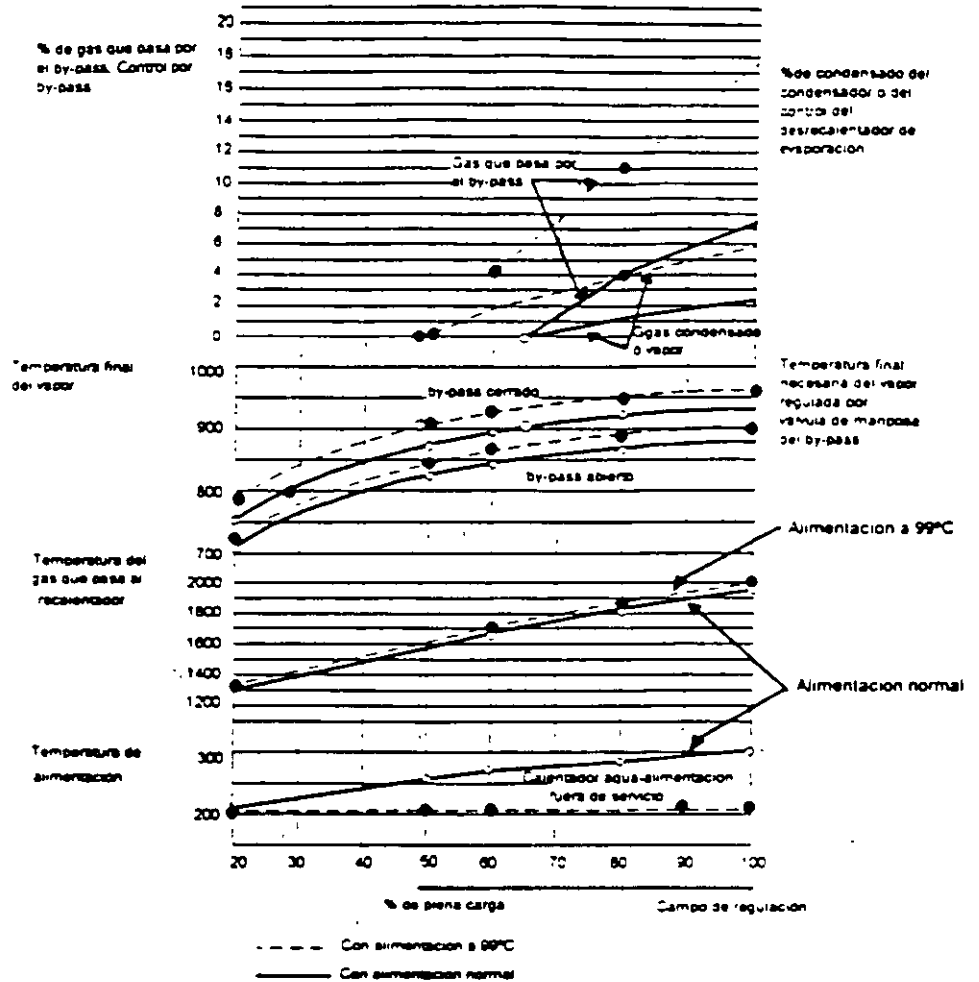
de la temperatura del gas sobre el recalentador se indica más arriba. Siguen a continuación las curvas características de temperatura de vapor y convección del recalentador. Una disminución de la temperatura de alimentación, aumenta el flujo de gas y eleva la temperatura del vapor. El desviar por by-pass el gas de combustión rebaja la temperatura de vapor. Con agua de alimentación normal se alcanza la temperatura de vapor deseada con una carga de 85% y con agua de alimentación a 99°C para un 48% de carga, es decir 482°C. Desviando por by-pass hasta un 7% del flujo de gases de combustión con temperaturas de alimentación normal, mantiene constante la temperatura de vapor para una carga de 100%. En la misma forma, el desviar por bypass hasta un 17% de los gases de combustión, mantiene constante la temperatura del vapor (agua de alimentación) hasta un 100% de la carga de la caldera.

**FIG. 3.24: CONTROL DE TEMPERATURA DEL VAPOR EN EL CONDENSADOR FOSTER-WHEELER DE DESRECALENTAMIENTO**





**FIG. 3.25: COMPARACION DE CARACTERISTICAS Y SISTEMAS DE CONTROL DE DESRECALENTADOR POR VALVULAS DE BY-PASS, CONDENSADOR Y EVAPORADOR**



El mismo control de temperatura de vapor podría obtenerse desviando un 28% del agua de alimentación, utilizando un condensador desrecaentador con agua de alimentación normal. También el desviar un 6% del agua de alimentación mantendría constante la temperatura del vapor con agua de alimentación a 99°C.

### 3.6.4 SUPERFICIE DE CALEFACCION EN UN SOBREALENTADOR

Al calcular la superficie necesaria en un recalentador de convección, se suele conocer la cantidad de vapor a recalentar y las temperaturas inicial y final. Se pueden deducir las temperaturas de entrada y salida de los humos tras un cuidadoso estudio del tipo de caldera que nos ocupe con ayuda, además, de datos empíricos sobre la absorción de calor en las distintas partes de la caldera. La temperatura inicial naturalmente, depende de la posición del recalentador y del régimen de la caldera. La siguiente fórmula que es una expresión de la transmisión térmica basado en la media aritmética de la diferencia de temperaturas, da un camino para enfrentarse con el problema:

$$A = \frac{Q(h_2 - h_1)}{\left(\frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2}\right)U} \quad (3.15)$$

Donde:

A	=	superficie de calefacción, en m <sup>2</sup> ,
Q	=	producción de vapor, en kg/hora,
T <sub>1</sub>	=	temperatura de los humos al entrar al recalentador, en °C
T <sub>2</sub>	=	temperatura de los humos al salir del recalentador, en °C
t <sub>1</sub>	=	temperatura del vapor al entrar en el recalentador, en °C
h <sub>1</sub>	=	entalpia del vapor que llega al recalentador
h <sub>2</sub>	=	entalpia del vapor que sale del recalentador
t <sub>2</sub>	=	temperatura del vapor al salir del recalentador, en °C
U	=	coeficiente de transmisión, Kcal/h-m <sup>2</sup> -°C.

Para recalentadores por convección, pueden emplearse valores de U desde 25 a 60, según sea lenta o veloz la corriente de humos.

### 3.6.5 EJERCICIO

Un recalentador integrado a una caldera funciona con los datos siguientes.

Presión	=	36 kg/cm <sup>2</sup> abs
Temperatura de entrada al sobrecalentador, $t_1$	=	243°C
$h_1$	=	675.9 kcal/kg
Temperatura de salida del sobrecalentador, $t_2$	=	525°C
$h_2$	=	834.3 kcal/kg
Temperatura de los humos al sobrecalentador, $T_1$	=	1010°C
Temperatura de los humos a la salida del sobrecalentador, $T_2$	=	605°C
Capacidad nominal de la caldera	=	80 v/h. (masa de los humos, 130,000 kg/h)

¿Cuál será la superficie del recalentador?

Solución:

$$A = \frac{80,000(834.3 - 675.9)}{25 \left( \frac{1,010 + 605}{2} - \frac{525 + 243}{2} \right)} = \frac{12,672,000}{\left( \frac{1,615}{2} - \frac{768}{2} \right) 25} = \frac{12,672,000}{29,912.5} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A = 425.41 \text{ m}^2$$

## 3.7 DEAREADORES

La exigencia actual de altas temperaturas, superficies limpias y agua de alimentación pura, hace de la corrosión un serio problema en las calderas y equipos que operan con vapor. La conservación de un alto grado de alcalinidad en el agua de la caldera ha sido utilizada para reducir la corrosión, pero mucho mejor resultado produce la eliminación del oxígeno. En algunas ocasiones se ha mencionado el fenómeno de la disociación del agua en el recalentado, formando oxígeno nascente que reacciona con el metal de los tubos, como causa también de corrosión.

---

## 3.8 PURGAS DE UNA CALDERA

La evaporación continua de agua en una caldera produce inevitablemente, un aumento en la concentración de los sólidos suspendidos en el agua que se encuentra en ella, haciéndose necesario eliminarlos periódicamente o en forma continua.

Una purga se define como la mecánica que se sigue para desalojar lodos, grasas, incrustaciones y el mismo aire de la caldera.

---

### 3.8.1 TIPOS DE PURGAS

Las purgas en una caldera pueden clasificarse como

- a) De fondo
- b) De superficie
- c) De cristal de nivel
- d) De columna
- e) De instrumentos
- f) De venteo

---

#### Purga de Fondo

Esta purga consiste en desalojar los lodos que se sedimentan en el fondo de la caldera al evaporarse el agua. Esta purga es muy importante, ya que evita el recalentamiento de las partes más bajas de la caldera y permite disminuir la concentración de sólidos en suspensión.

En instalaciones de presión moderada existen dos válvulas que nos permiten realizarla: una válvula de apertura rápida y una de cierre lento. El procedimiento para realizar esta purga es el siguiente:

- 1) Subir el nivel del agua en la caldera a medio cristal.

- 2) Abrir primero la válvula de apertura rápida, después la de cierre lento.

**Frecuencia.-** La norma UNE-9075 indica los límites recomendables en las características del agua en el interior de las calderas. La Fig. 3.29 indica estos valores tanto en calderas, tubos de agua, así como tubos de humo, en función de la presión.

**FIG. 3.29: NORMAS UNE-9075 SOBRE LÍMITES EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN EL INTERIOR DE LAS CALDERAS**

Tipo de caldera	Presión kg/cm <sup>2</sup>	Salinidad Total en CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Silice en SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Sólidos en suspensión (mg/l)	Cloruros en Cl (mg/l)
TUBOS DE AGUA (ACUOTUBULARES)	0-20	3.500	100	300	2.000
	20-30	3.000	75	250	1.500
	30-40	2.500	50	150	1.000
	40-50	2.000	40	100	800
	50-60	1.500	30	60	650
	60-70	1.250	25	40	500
	70-100	1.000	15	20	350
TUBOS DE HUMO (PIROTUBULARES)	0-15	7.000	100	300	3.000
	15-25	4.500	75	300	2.000

Con estos valores y los resultados de los análisis del agua que realice el Ing. Químico de la planta, establecerá la frecuencia de esta purga.

Cuando no se cuenta con estos análisis, lo cual no es deseable, se recomienda hacer la purga cada 8 horas como mínimo, para prevenir problemas en la operación del sistema de vapor.

En calderas de alta presión, cuyo vapor se utiliza fundamentalmente en turbinas, el problema principal no son los sólidos disueltos totales sino el contenido de SiO<sub>2</sub>. El motivo radica en que el silice disuelto en el agua busca

un equilibrio electroquímico con el silice del vapor, de tal forma que a mayores presiones es mayor el contenido porcentual del silice en el vapor

Este elemento se elimina con productos químicos y con las purgas de fondo y superficie.

---

### Purga de Superficie

La purga de superficie también llamada "continua", es el mecanismo empleado para eliminar sustancias en suspensión, tales como espumas, grasas o basura presentes en la superficie libre del agua frente a la cámara de vapor

Para lograr esta purga solo se requiere sumergir de 2 a 3 cm por debajo del nivel libre del agua un tubo enflautado (perforado) con una salida hacia el drenaje o algún sistema de recuperación de calor, controlando esta purga con una válvula medidora que permanece abierta lo suficiente durante todo el tiempo de operación de la caldera.

**Frecuencia.-** Ininterrumpida (constante)

---

### Purga de Cristal de Nivel

Por disposición de la Secretana del Trabajo y Previsión Social, todas las calderas cuentan con una "mirilla" del nivel del agua dentro de la caldera, llamada "cristal de nivel"

Este tubo de cristal se tapa o incrusta con los lodos de la caldera, falseando su nivel, por lo que es necesario purgarlo. Para hacerlo, el fabricante incluye una válvula en su diseño.

**Frecuencia.-** Esta purga se debe realizar cada vez que se arranque el equipo, en cambios de turno y al mismo tiempo que la purga de columna (con asiento en los registros o bitacoras).

---

## Purga de Columna

Esta purga se realiza, obviamente en equipos que cuenten con una columna de agua que se encargue de mantener el nivel del agua dentro de la caldera

La columna de agua es un depósito donde se acumulan los lodos

La purga se realiza por medio de una válvula localizada en el fondo de la columna.

**Frecuencia.-** La misma que para la purga de fondo

---

## Purga de Instrumentos

Todos los instrumentos conectados a líneas o venas de vapor corren el riesgo de quedar obstruidos por incrustación, por lo que se hace necesario pagar los conductos donde se insertan. Esta purga se realiza por medio de una válvula localizada al final de la línea de instrumentos o aflojando estos lo suficiente para liberar vapor.

**Frecuencia.-** Esta purga se debe realizar cuando la caldera cuente con presión, 1 vez al mes.

---

## Venteo

Esta purga de venteo consiste en liberar el aire atrapado en el domo superior, y conductos de vapor cuando el sistema empieza su operación

La presencia de aire en líneas e incluso en la caldera, producirá golpes, oleajes y ruido, que pueden dañar los equipos instalados

Esta purga se realiza abriendo las válvulas localizadas convenientemente en la caldera o en las líneas de vapor.

**Frecuencia.-** Esta purga se debe realizar cada vez que comience la operación de la caldera, si es que en dicho momento la presión manométrica es cero.

---

## 3.9 VALVULA DE SEGURIDAD

---

### 3.9.1 CLASIFICACION DE LAS VALVULAS DE SEGURIDAD

Una válvula de seguridad tiene como función liberar el excedente de presión o energía del recipiente donde se encuentra instalada, siendo la capacidad de desfogue requerida equivalente a la capacidad de generación del equipo. Las válvulas de seguridad, se clasifican básicamente, en

- a) Válvula de alivio, la cual abre proporcionalmente en respuesta al incremento de presión que se presente corriente arriba de ella.  
Este tipo de válvula se utiliza para líquidos.
- b) Válvula de seguridad propiamente dicha, caracterizada por abrir completamente en forma rápida.  
Este tipo de válvula se emplean para vapor o aire.

Las válvulas de seguridad se localizan instaladas en la parte superior de la caldera de vapor (domo superior).

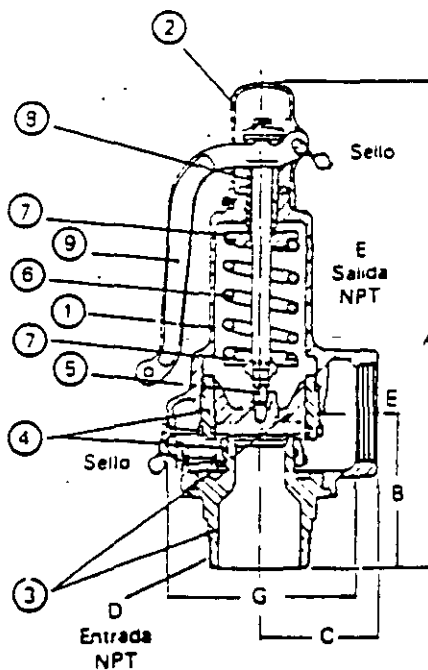
Las válvulas de alivio también están colocadas en la parte superior, pero de calderas que producen agua caliente; su descarga puede estar conectada a un tanque de expansión para producir vapor instantáneo aprovechando el cambio de presión.

Se debe tener mucho cuidado en la calibración de cualquiera de los dos tipos de válvula, ya que una presión de ajuste arriba de la necesaria permitiría, en un momento dado, que la caldera trabaje a presión mayor de la debida, con los consiguientes riesgos operacionales, en tanto que, una presión de ajuste inferior a la requerida ocasionaría que las válvulas abrieran con demasiada frecuencia, ocasionando desperdicios de energía.



FIG. 3.33: VALVULA DE SEGURIDAD

PARTE	MATERIAL
1 Bonete	Bronce
2 Casquillo	Bronce
3 Base y disco	Bronce
4 Anillos de ajuste	Bronce
5 Vástago	Acero al carbon
6 Resorte	Acero al carbon
7 Roldanas	Laton
8 Tornillos de compresión	Latón
9 Palanca	Bronce



PARTES COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

---

### **3.9.2 *NORMATIVIDAD PARA INSTALACION DE VALVULAS DE SEGURIDAD***

La instalación de las válvulas de seguridad y alivio, así como su selección y cálculo, están normadas en los artículos 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 108, del Reglamento para Inspección de Generadores de Vapor y Recipientes Sujetos a Presión, de la Secretaría del Trabajo, mismos que se transcriben a continuación:

---

#### **Artículo 43° Válvulas de Seguridad**

Todo generador, cuya superficie de calefacción sea menor de cincuenta metros cuadrados, o que su capacidad evaporativa sea hasta de mil kilogramos de agua por hora, tendrá una válvula de seguridad.

Cuando su superficie de calefacción o capacidad evaporativa sea mayor que los valores indicados anteriormente, tendrá dos o más válvulas de seguridad.

Todo recipiente sujeto a presión deberá tener las válvulas necesarias para su seguridad, debidamente calculadas.

---

#### **Artículo 44° Tipo de Válvulas de Seguridad Permitido**

Sólo se permitirá el empleo de válvulas de seguridad del tipo "Resorte" de carga directa. Queda prohibido el empleo de válvulas de seguridad llamadas de "palanca" y "Peso directo".

---

#### **Artículo 45° Ajuste**

Una o más válvulas de seguridad del generador se ajustarán a la presión máxima de trabajo permitida, pudiéndose ajustar el resto de ellas dentro de un tres por ciento en exceso, para cada una sin que la suma de por cientos de exceso en el ajuste de todas ellas exceda del diez por ciento de la presión máxima de trabajo permitida.

---

## Artículo 46° Capacidad

La capacidad máxima de descarga de una válvula de seguridad deberá determinarse a una presión de tres por ciento mayor a la que tenga de ajuste, con una diferencia entre presiones de apertura y de cierre no mayor de cuatro por ciento de la de ajuste, no debiendo ser esa diferencia, en ningún caso, menor de ciento cuarenta y un gramos por centímetro cuadrado.

El diámetro de la válvula o válvulas de seguridad se calculará de acuerdo con la fórmula señalada en el artículo 108.

---

## Artículo 47° Instalación

La instalación de las válvulas de seguridad en los generadores deberá llenar los requisitos siguientes:

1. Todo generador deberá tener conexiones apropiadas para la válvula o válvulas de seguridad requeridas, independientemente de cualquiera otra conexión de vapor, debiendo ser el área del orificio igual al área o la suma de las áreas de la válvula o válvulas que de él dependan.
2. Las válvulas de seguridad deberán colocarse lo más cerca posible del generador y, en ningún caso, se permitirá que haya válvulas de cierre entre ambos, ni tampoco en el tubo de descarga de las mismas a la atmósfera.
3. Cuando se usen tubos de descarga, éstos deberán tener un área no menor que la de la válvula y estarán equipados con dispositivos de desagüe para evitar que el agua se acumule en la parte superior de la válvula.
4. Cuando se coloque un codo en el tubo de descarga de la válvula se pondrá cerca de ésta, debiendo estar el tubo fijamente sostenido.
5. Si se usa un silenciador en la válvula, el área de salida deberá ser lo suficientemente amplia para evitar que la contrapresión entorpezca la operación o disminuya la capacidad de descarga. Además estará

construido de manera de evitar que se obstruya la salida del vapor, depósitos o desprendimientos de sus partes constitutivas.

- 6 La descarga de la válvula o válvulas de seguridad deberá hacerse siempre fuera de las plataformas o andamios de trabajo de los generadores.

---

### Artículo 48° Válvulas de Seguridad de Recalentadores

Dentro de la capacidad de descarga de la válvula o válvulas de seguridad de todo recalentador, unido a su generador, deberá estar incluida la de las válvulas de seguridad del generador, siempre que no haya válvulas intermedias entre la de seguridad del recalentador y la del generador, y siempre también que la capacidad de descarga de la válvula o válvulas de seguridad del generador sea por lo menos de setenta y cinco por ciento de la capacidad total requerida.

---

### Artículo 108° Diámetro de las Válvulas de Seguridad

El diámetro de las válvulas de seguridad se determina por la siguiente ecuación:

$$D = 26 \sqrt{\frac{H}{0.59 + P}} \quad (3.16)$$

Donde:

H	Superficie de calefacción en m <sup>2</sup>
P	Presión de máxima del trabajo, kg/cm <sup>2</sup>
0.59 y 26	Constantes de ajuste de unidades
D	Diámetro, mm

**Nota:** El diámetro calculado por esta fórmula puede ser sustituido por más de una válvula, siempre y cuando la suma de las AREAS de estas sea igual a la del diámetro calculado.

## OTRAS PARTES Y ACCESORIOS

Además de los equipos y componentes mencionados anteriormente, la caldera requiere de otras partes y accesorios para poder hacerla funcional; entre estas partes y accesorios, se encuentran las siguientes:

- A. Mirillas de observación y registros de inspección.
- B. Cristales de nivel que muestran el nivel del agua en el domo.
- C. Grifos de prueba que sirven para probar los niveles de agua.
- D. Válvulas de diversos tipos requeridos para purgas, venteos, paro, aislamiento, control, etc.
- E. Instrumentos de diversos tipos para medición, control y regulación de diversos factores, así como protección de la caldera y sus diversos componentes.
- F. Tomas para muestreo e instrumentos.
- G. Cámara de TV para observación de los fuegos en el hogar.
- H. Purgas y venteos.- A lo largo de la tubería y colectores de las calderas se proveen válvulas de purgas o drenajes y venteos.

Las válvulas de purgas en las calderas se usan para los siguientes propósitos:

- \* Drenaje de la caldera.
- \* Bajar el nivel de agua.
- \* Remover el exceso de químicos y lodos precipitados del agua de la caldera.
- \* Eliminar el agua que se condensa en las zonas que en funcionamiento normal son recorridas por vapor.
- \* Asegurar la circulación del fluido refrigerante (vapor) en sobrecalentadores durante los arranques en que todavía no se establece el suministro normal de vapor.

Las válvulas de venteo se instalan en donde se prevee la formación de bolsas de aire en el circuito agua-vapor y que tienen los siguientes inconvenientes (las bolsas de aire):

- \* Reducción en la capacidad de cambio de calor en las zonas de utilización.
- \* Ruidos en el circuito.
- \* Disturbios en la circulación regular del agua.

Las purgas y venteos en un generador de vapor se proveen con una válvula en un generador de vapor se proveen con una válvula interceptora en la raíz y de una válvula de maniobra. La forma de la válvula, la naturaleza del material, los elementos internos y de maniobra se estudian en relación al tipo de fluido, a la presión, a la temperatura y al sistema.

## CIRCULACIÓN DEL AGUA EN LA CALDERA

### 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para la producción continua de vapor en el sistema hervidor, es necesario una circulación constante en las paredes, pantallas, bancos, cabezales y tubos para que el vapor formado en las paredes de tubos y elementos hervidores sea reemplazado con nuevas cantidades de agua que a su vez se evaporará.

La circulación de agua puede ser natural o forzada. En todos los casos la cifra que caracteriza la circulación es un coeficiente de recirculación "n" definido para cada tubo o ensamble de tubos con la relación entre flujo de agua introducido  $W$  y el flujo de vapor producido  $W_v$  en la siguiente forma:

$$n = \frac{W}{W_v}$$

En los casos de calderas de circulación forzada o de un paso, el agua introducida en la caldera es integralmente vaporizada en tal forma que el coeficiente de recirculación es  $n = 1(Y/1)$  constituye evidentemente el valor más pequeño que puede tener este coeficiente.

En el caso de calderas de circulación controlada, una bomba de recirculación asegura el flujo de agua en el circuito en el sistema hervidor-domo separador con un coeficiente de recirculación a la carga nominal "n" que varía de 4 a 12, pero con valores más usuales de 8 a 10.

El problema más complicado es cuando la circulación de la caldera se provee en forma natural, es decir, con circulación natural; en este caso el flujo de agua introducida en cada tubo no está asegurada por medio de una bomba, sino que se hace por diferencia de presión que se origina a causa del calentamiento más fuerte de una rama del circuito y en consecuencia el coeficiente de circulación es desconocido. Cuando éste no se verifica por un cálculo adecuado hidrodinámico puede ocurrir que en algunos tubos aparezca falta de circulación y que se produzca sobrecalentamiento local de vapor seguido por una degradación térmica del material de los tubos. El coeficiente de recirculación normal en las calderas de circulación natural es de 10 a 40 y en algunos casos en calderas pequeñas puede alcanzar cifras de 100 a 400. El sistema más simple de circulación natural es el formado por dos tubos unidos a un tambor en la parte superior como el mostrado en la Fig. 1. Al tubo descendente llega un flujo de calor menor que al tubo elevador (en el caso de que el domo se coloque fuera del paso de los gases no va a llegar flujo de calor al tubo descendente); debido a la mezcla de agua de vapor formado en la columna (1) el peso específico  $P_1$  del fluido en esta columna va a ser menor que el peso específico  $P_2$  del fluido de la columna (2) y en consecuencia en el punto de unión (3) la columna (1) va ejercer una presión estática menor que la ejercida por la columna (2). La diferencia entre las dos presiones estáticas es el elemento que propicia la circulación y la velocidad de circulación se va a establecer con los valores de

la caída de presión dinámica debida a la circulación cuando sea igual a la diferencia de presión estática más arriba.

## TIPOS DE CIRCUITOS AGUA-VAPOR

Los diferentes tipos de circuitos de agua-vapor, que se han desarrollado en las calderas, tienen el objetivo de asegurar una circulación eficiente de la mezcla agua-vapor, en los tubos evaporadores siendo éste, un problema de importancia fundamental en el diseño de los generadores de vapor; la circulación insuficiente en un tubo, crea un estancamiento o paralización de las burbujas de vapor sobre la superficie interna con el consecuente aumento de la temperatura de metal. Esto, además provoca el depósito en esa zona, de los óxidos que inevitablemente se transportan a la caldera.

Los óxidos, tienden a depositarse en la zona de estancamiento del vapor y en las zonas de mayor evaporación, dando inicio al fenómeno de corrosión e incrustación y por tanto, en breve tiempo el sobrecalentamiento del metal y a continuación la rotura del tubo.

Si la circulación es particularmente ineficiente, se tiene el riesgo de una fuerte disminución del coeficiente de transferencia de calor en la superficie interna del tubo y agua, con relación al de diseño y como el tubo está expuesto a la flama, se alcanzan temperaturas prohibitivas para la misma vida del tubo.

El análisis de todos los factores que influyen la circulación es complejo y las soluciones adoptadas para su perfeccionamiento en el diseño de calderas son sustancialmente diferentes y pueden agruparse en cuatro tipos principales:

- \* Circulación natural.
- \* Circulación controlada.
- \* Circulación forzada.
- \* Circulación combinada.

Enseguida, se hace una breve discusión de estos cuatro tipos de circulación.

### CIRCULACIÓN NATURAL

Este tipo de circulación, es el que ha sido descrito en la sección anterior.

### CIRCULACIÓN CONTROLADA

En las calderas que funcionan a presión elevada (más de 150 kg/cm<sup>2</sup>), es muy difícil realizar la circulación natural, puesto que a esas presiones se reduce la diferencia de peso específico entre el agua y el vapor que constituye el "motor" de la circulación, aumentando el peligro de que alguna parte de la caldera no tenga circulación, con las consecuencias de sobrecalentamiento y rotura de tubos.

Aunque en teoría, se puede obtener circulación natural hasta unos 200 kg/cm<sup>2</sup> de presión, con tubos de bajas pérdidas de carga por fricción, únicamente se podría obtener una relación de circulación (flujo de agua, flujo de vapor producido) de 6, contra una relación mínima de 8 requerida por seguridad, en virtud de que existen muchas condiciones de funcionamiento real, que se apartan de las condiciones ideales de diseño.

Para resolver el problema anterior, se refuerza el mecanismo de circulación, instalando una o más bombas en el circuito de vaporización, y de esta forma se asegura que se le imprime al agua, la presión necesaria para vencer la resistencia del sistema de tuberías, asegurando la circulación constante del fluido y evitando el peligro de sobrecalentamiento. A la bomba se le denomina bomba de circulación de la caldera (BCC) y al sistema de circulación, "circulación controlada".

La instalación de la bomba se efectúa en los tubos de bajada (down corners) del domo superior, que van a los colectores de alimentación del esquema de vaporización, mediante un cabezal de succión de las bombas.

El refuerzo requerido de la bomba, es solamente el necesario para sustituir el de la circulación natural y vencer la resistencia del circuito, es decir, se trata de valores del orden de 2.5 a 3.5 atmósferas, siendo suficiente un solo impulsor de bomba centrífuga.

La fabricación de esta bomba, debe ser muy precisa, para garantizar una alta disponibilidad en las condiciones del medio de alta presión y temperatura; el motor eléctrico está sumergido en el agua a la misma presión de la bomba, únicamente aislado (de la bomba) por medio de un manguito largo sobre el eje. El motor eléctrico tiene un circuito de enfriamiento, para evitar daños al aislamiento que soporta como máximo unos 80°C; en la flecha tiene un impulsor auxiliar para la circulación del agua de enfriamiento hacia el motor y a un cambiador de calor de superficie externo.

Las ventajas de la circulación controlada, son principalmente las siguientes:

- \* Al poder admitir en el circuito de vaporización una caída de presión, puede reducirse el diámetro de la tubería, que a igualdad de condiciones de operación, representa un espesor menor; la reducción de materiales significa una notable reducción de costos de fabricación.
- \* Se puede obtener una protección sin riesgo con una relación de circulación de 4; se puede disponer mediante orificios calibrados del gasto óptimo a cada tubo, con relación al calor que absorbe y al trayecto que sigue.
- \* La circulación activa, asegura una buena uniformidad en las temperaturas de los tubos, siendo posible la construcción de paredes de tubos soldados sin el peligro de tensiones anormales debidas a excesiva diferencia de temperatura en tubos adyacentes.



- \* La circulación, es independiente del desarrollo de la combustión, y por lo tanto, se asegura también durante los arranques y los paros de la caldera.

Entre las desventajas de la circulación controlada, que es necesario considerar, están las siguientes:

- \* Un trabajo más preciso en la fabricación de los tubos, en función del menor espesor.
- \* La inclusión de la bomba, representa no sólo un aumento en el costo inicial, sino también un mayor costo de operación, debido al consumo de energía eléctrica.
- \* Mayor indisponibilidad parcial o total de la caldera, en caso de trabajos o mantenimiento de la bomba.

En un generador de vapor, el proceso de combustión radia calor en forma no uniforme a las paredes de los tubos del hogar, por lo que algunas áreas reciben más calor que otras creando regiones que tienen puntos desviados del patrón de flujos de calor. Condiciones temporales variables de operación debidas a rápidos cambios de carga crean variaciones en la transferencia de calor y en los requerimientos de circulación de agua.

En las calderas de circulación natural, si la variación de los puntos de flujo de calor excede la habilidad del agua en los tubos del hogar de absorber calor, entonces aparece una condición que causa el despegue de la Ebullición nucleada (DEN); bajo esta condición se forma una película de vapor contra la pared del tubo que evita que el agua alcance la superficie del tubo y lo enfríe, incrementando pronunciadamente la temperatura del metal del tubo que provocará que eventualmente falle el tubo, según la figura siguiente.

El DEN es una función compleja de la presión, la unidad del vapor y la de velocidad de masa.

Para resolver el problema anterior, existen dos tecnologías utilizadas por los principales fabricantes de calderas:

- \* Utilización de bombas de circulación en la caldera para incrementar la relación de circulación y lograr el enfriamiento de los tubos.
- \* Empleo de tubos helicoidalmente en la pared interior para generar un flujo centrífugo en el interior del tubo; esta acción centrífuga fuerza al agua contra la superficie del tubo para evitar la formación de la película de vapor y el DEN resultante.
- \* Estos tubos estriados, mantienen la ebullición nucleada a calidades de vapor más altas y a menores velocidades de masa que los tubos lisos.

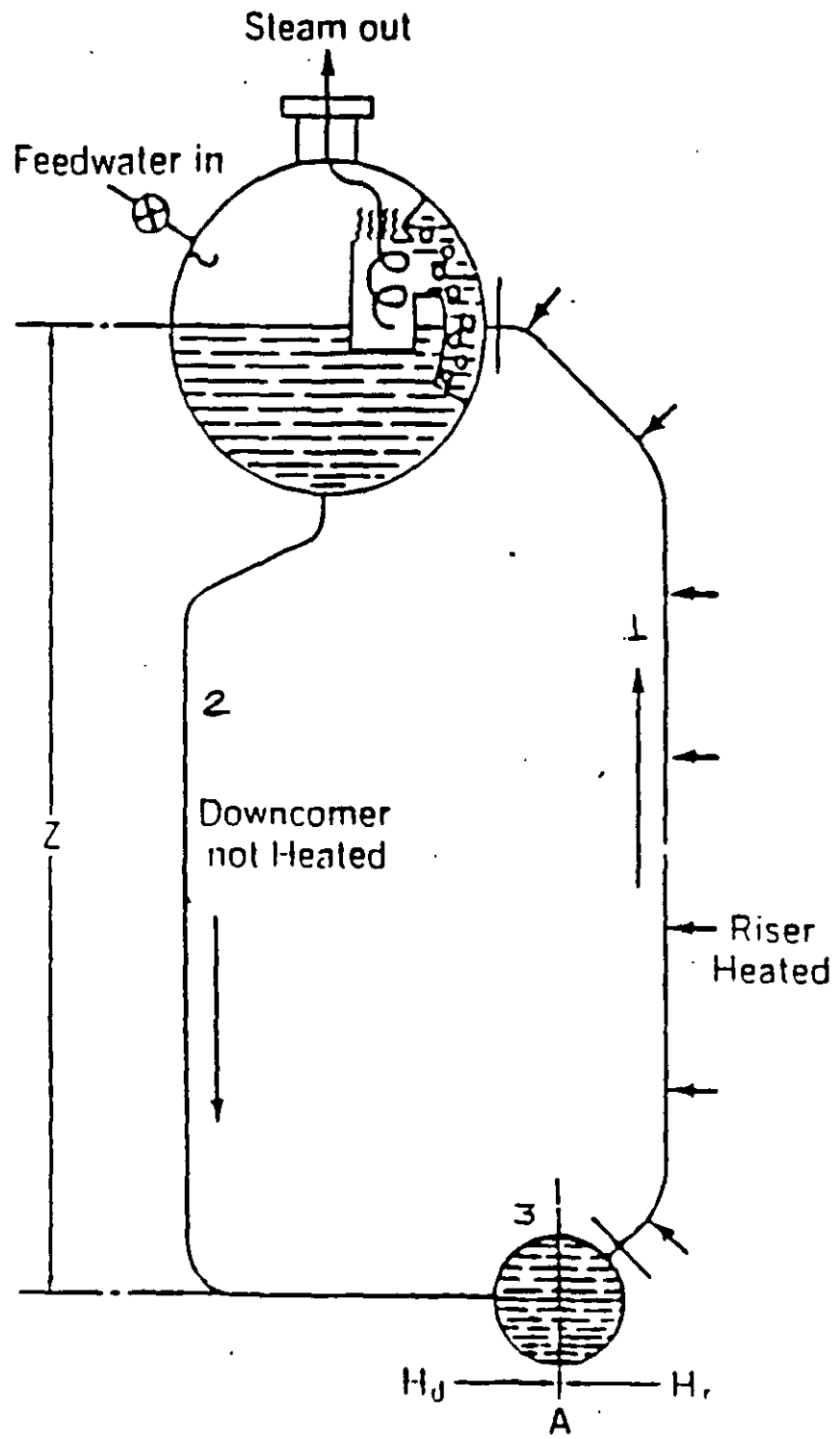


Fig. 1 Simple natural-circulation circuit (diagrammatic) including primary steam separator in drum.

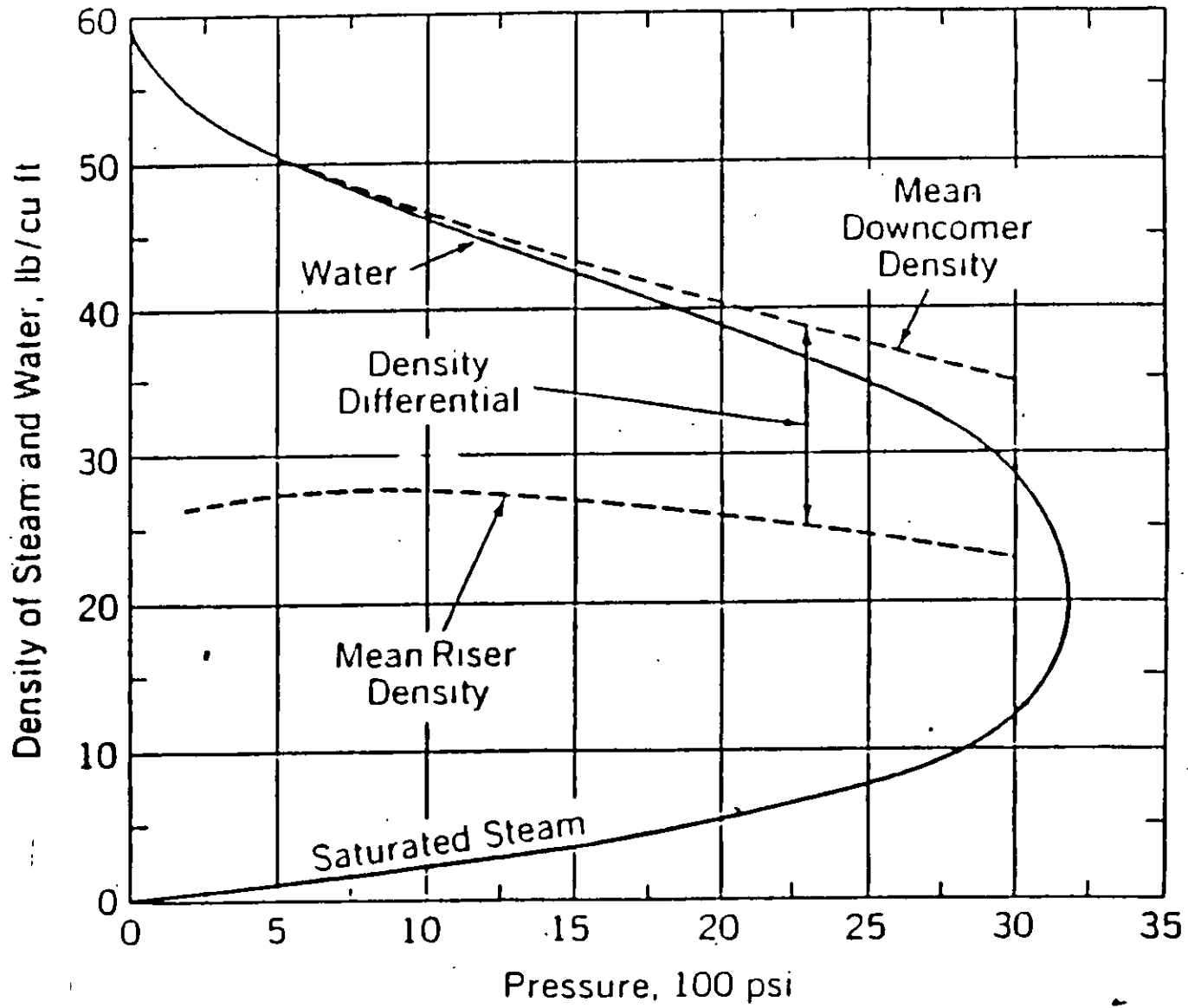


Fig. 2. Effect of pressure on density in downcomers and risers

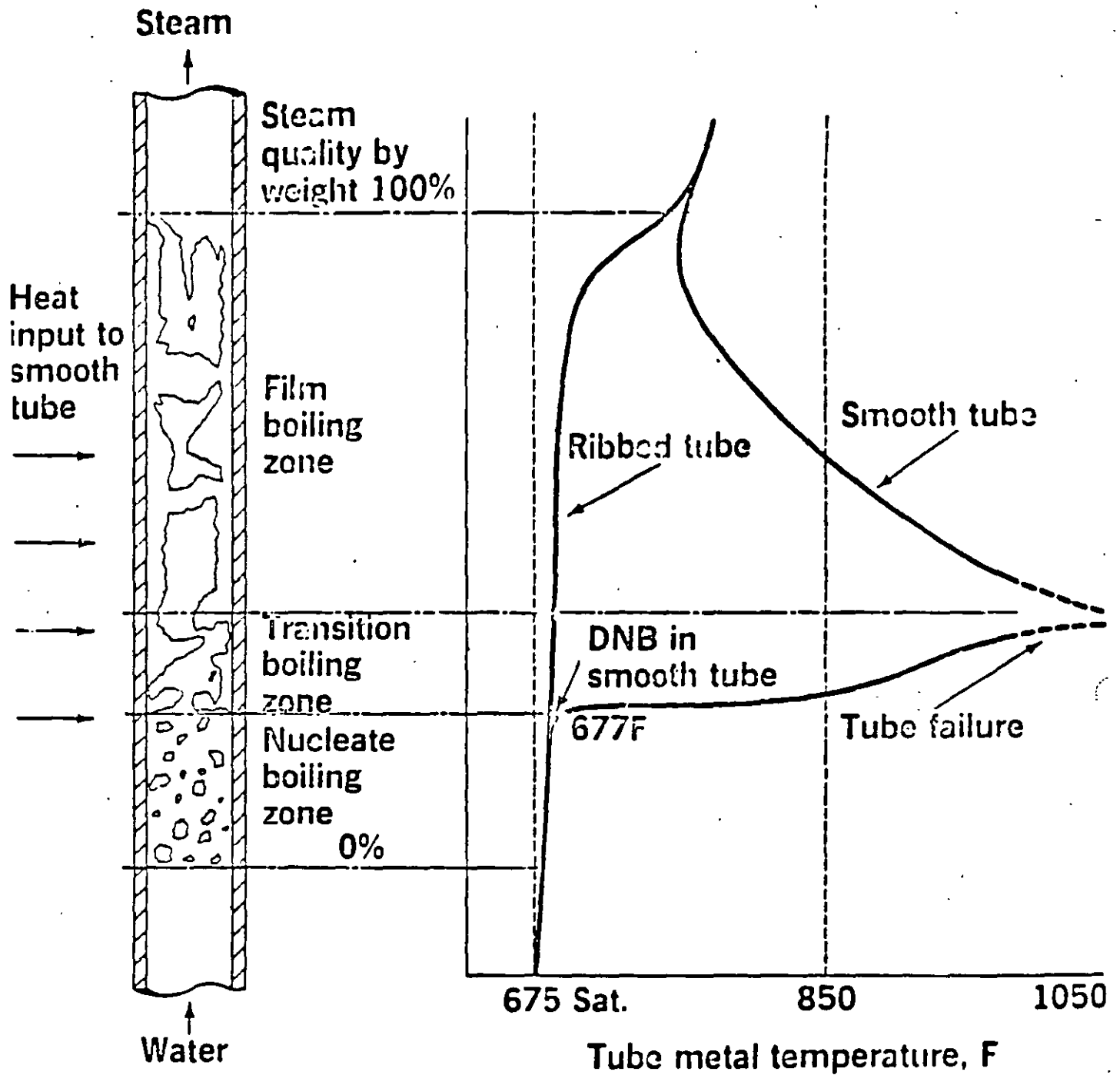


FIG. 3. Furnace smooth tube failure related to DNB

P53-93-1019

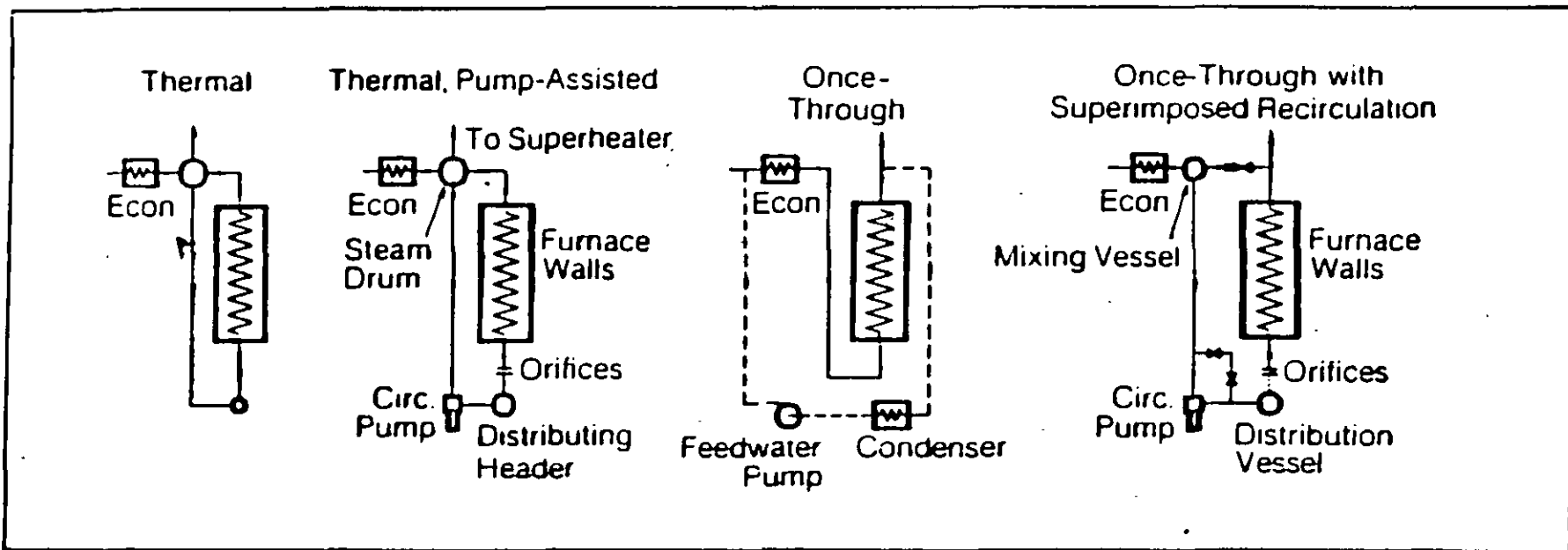


Fig. 4 Steam-generator circulation systems

TABLA No 1  
TIPOS BASICOS DE ESPECIFICACION

	ESPECIFICACION DE DISEÑO DETALLADO	ESPECIFICACION DE COMPORTAMIENTO
ALCANCE	Se le indica al fabricante o vendedor que hacer y como hacerlo	Se le indica al fabricante o vendedor que características o atributos se requieren del producto final, dejándolo en libertad de seleccionar los detalles.
RESPONSABILIDAD DEL RESULTADO	Normalmente recae sobre el solicitante	Completa sobre el Fabricante o vendedor
CALIFICACION Y CUALIDADES DEL FABRICANTE	Se aceptan fabricantes poco experimentados, pero se necesitan ingenieros solicitantes expertos	Se canaliza a fabricantes con un buen historial de experiencia y comportamiento
COSTOS	Generalmente resulta mas costoso, pero pueden ser analizadas y separadas muchas partidas de productos, de linea	Es mas difícil separar partidas y se limita la capacidad de analizar los costos parciales del fabricante.
VIGILANCIA Y SUPERVISION DE PROGRAMAS Y DE SUBCONTRATISTAS	Relativamente facil de vigilar	Se dificulta y frecuentemente se detecta un problema cuando es tarde para tomar acciones correctivas
INTERACCIONES	Se requiere una extensa coordinacion es el mejor camino cuando las interacciones son significativas.	Es el mejor camino si las interacciones estan limitadas o no son determinantes.

## CAPITULO 5

# CONSUMO DE ENERGIA TERMICA

---

### 5.1 SISTEMAS DE VAPOR

Al examinar cualquier sistema de vapor a detalle, es necesario definir las partes principales que lo forman, con lo cual se puede estimar la eficiencia total del mismo y comprender la importancia de elevarla.

Un sistema de vapor incluye las siguientes partes:

- **Caldera o generador de vapor.** Equipo que produce vapor, saturado o sobrecalentado, quemando algún o varios tipos de combustibles.
- **Tuberías de distribución.** Conductos que permiten transportar el vapor producido en la caldera o generador, hasta los puntos en los que será utilizado. Dependiendo del servicio que se desea suministrar con el vapor, las tuberías de distribución requieren para su operación, tales como: válvulas de control, separadores de humedad, acondicionadores de vapor, sistemas de drenado para la eliminación de condensados formado en las tuberías, instrumentos de medición y control y aislamiento térmico para evitar las pérdidas de calor.
- **Sistemas de retorno de condensados.** Estos sistemas comprenden las tuberías de drenado desde los equipos consumidores de vapor, hasta las tuberías de recolección que los conducen al tanque de

almacenamiento, así como los equipos de tratamiento adecuados para hacer que los condensados recuperados puedan ser usados nuevamente en la producción de vapor. Un sistema típico está compuesto de trampas de vapor, válvulas de control, sistemas de bombeo, instrumentación, tanques de almacenamiento y aislamiento térmico.

- **Equipos consumidores de vapor.** Son los equipos en donde el vapor es utilizado como medio de calentamiento, como agente químico, para producir trabajo o para generar indirectamente electricidad.

---

### 5.1.1 EFICIENCIA DE LA CALDERA O GENERADOR

El cálculo de la eficiencia en la generación de vapor se puede realizar por métodos directos o indirectos.

El método directo se basa en la definición de eficiencia, "energía utilizada para generar vapor, o sea, la diferencia de entalpías entre el agua de alimentación y el vapor producido multiplicada por la cantidad producida, dividida entre el poder calorífico de combustible multiplicado por el consumo.

El método indirecto evalúa la eficiencia mediante el análisis de las pérdidas de energía que se presentan en la caldera. Estas son debidas al calor de los gases de escape, pérdidas por radiación y convección desde las paredes del equipo hacia la atmósfera, pérdidas por purgas y pérdidas por combustión fuera de los niveles óptimos. Para obtener la eficiencia, cada una de estas pérdidas deben ser evaluadas utilizando equipo e instrumentación adecuado.

$$\eta = 100\% - \sum (\text{pérdidas}) \quad (5.1)$$



### 5.1.2 EFICIENCIA DE LAS TUBERIAS DE DISTRIBUCION

Similarmente, puede evaluarse la eficiencia de esta parte del sistema directa o indirectamente.

El método directo consiste en medir la energía que llega hasta los usuarios dividida entre la energía de entrada al sistema de distribución.

$$\eta_{\text{dist}} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i h_i}{w_v h_v} \quad (5.2)$$

Donde:

- i = Es el punto de llegada a cada usuario de vapor
- v = El punto de entrada del cabezal principal de vapor
- w = F flujo, kg/h
- h = Entalpia del vapor, kcal/kg

El método indirecto consiste en medir, de manera análoga, las pérdidas de energía por fugas y mal aislamiento.

### 5.1.3 EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADOS

La eficiencia del sistema de retorno de condensado esta en función de la cantidad de condensado que se recupere y se calcula de acuerdo a la energía disponible, dividida entre la energía total del sistema de vapor.

La energía disponible es la suma del calor latente, o entalpia de vaporización, más la entalpia del condensado multiplicado por el porcentaje de condensado que se recupere, por un factor de eficiencia de recolección.

$$\eta_{\text{cond}} = \frac{h_g - h_f(1 - f_c \times f_r)}{h_g} \quad (5.3)$$

Donde:

$h_f$	=	entalpia del fluido, kcal/kg
$h_g$	=	entalpia del vapor, kcal/h
$f_c$	=	condensado recuperado, fracción
$f_f$	=	eficiencia de recolección, factor

---

#### 5.1.4 EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS CONSUMIDORES

Para medir la eficiencia, el único método utilizado es el de restar al 100% cada una de las pérdidas evaluadas, como pueden ser fugas y pérdidas

---

#### 5.1.5 EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA

La eficiencia total de un sistema se define como la relación de energía aprovechada entre la energía proporcionada por el combustible al sistema.

Tanto en las calderas como en las tuberías de distribución, existen pérdidas térmicas que reducen la cantidad de energía útil disponible que disminuyen la eficiencia total del sistema.

La Fig. 5.1 muestra en forma esquemática el balance general de energía para un sistema de vapor.

---

#### Ejemplo 1

Supóngase un sistema de vapor saturado que opera a presión absoluta de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>. A continuación se muestran algunos valores típicos de pérdidas encontradas en los sistemas de vapor, los que permiten calcular el valor de la eficiencia global del sistema.

<b>Eficiencia de la caldera</b>	
Pérdidas por chimenea:	16%
Pérdidas por radiación/convección:	3%
Pérdidas en la purga:	2%
	<u>total: 21%</u>
Eficiencia de la caldera = 100 - 21	79%

---

CONSUMO DE ENERGIA TERMICA

**Eficiencia de las tuberías de distribución**

Fugas + pérdidas de calor en las tuberías: 8%  
 Eficiencia de las tuberías =  $100 - 8 = 92\%$

**Eficiencia del usuario**

La eficiencia del usuario representa el porcentaje de la energía del vapor que está disponible. Suponiendo que el condensado es obtenido a la temperatura de saturación, pero éste no se recupera se tendrá:

De tablas de vapor:

entalpía de vapor saturado a  $10.2 \text{ kg/cm}^2 = 663.23 \text{ kcal/kg}$

entalpía de condensado a  $10.2 \text{ kg/cm}^2 = 182.04 \text{ kcal/kg}$

entalpía de vaporización =  $663.23 - 182.04 = 481.18 \text{ kcal/kg}$

Porcentaje de energía disponible:

$$\frac{481.18 \text{ kcal/kg}}{663.23 \text{ kcal/kg}} \times 100 = 72.5\%$$

**Pérdidas de calor de equipos de proceso**

Suponiendo que las pérdidas de calor en los equipos de proceso son de aproximadamente 3%, la eficiencia de este grupo será de 97%

**Eficiencia total del sistema sin recuperación de condensados**

La eficiencia global del sistema es, tomando en cuenta los valores anteriores

$$(0.79 \times 0.92 \times 0.725 \times 0.97) \times 100 = 51\%$$

Lo que significa que casi la mitad de la energía que proporciona el combustible quemado en la caldera se pierde, y que la otra mitad es la que se aprovecha realmente. Esto es típico de la mayoría de las instalaciones.

## 5.2 ACCIONES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA DE VAPOR

Haciendo pequeñas acciones encaminadas a mejorar la eficiencia en cada punto del sistema, se puede lograr un aumento significativo en la eficiencia global del sistema. Si por ejemplo, al sistema anteriormente descrito se le aplica un sistema de control de operación, se evitan fugas de vapor, se mejora el aislamiento y se recupera energía de condensados, se tendría como resultado:

### Eficiencia de la caldera

Pérdidas por chimenea:	14%
Pérdidas por radiación/convección:	2%
Pérdidas en la purga:	1%
	total: 17%
Eficiencia de la caldera = 100 - 17	83%

### Eficiencia de las tuberías de distribución

Fugas + pérdidas de calor en las tuberías:	5%
Eficiencia de las tuberías = 100 - 5	95%

### Eficiencia del retorno de condensados

Considerando el porcentaje de la energía del vapor disponible como la mitad de la energía del condensado recuperado para volver a producir vapor, se tendrá:

De tablas de vapor:

$$\text{entalpía de vapor saturado a } 10.2 \text{ kg/cm}^2 = 663.23 \text{ kcal/kg}$$

Suponiendo que la mitad de la energía del condensado es recuperada ( $f_c=0.5$ ), la entalpía del condensado recuperable será:

$$\text{entalpía de condensado a } 10.2 \text{ kg/cm}^2 = 182.04 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{entalpía condensado recuperado} = 182.04 \times 0.5 = 91.02 \text{ kcal/kg}$$

Considerando un factor de recuperación de 0.9, se tiene:

$$\text{energía neta recuperada} = 91.02 \times 0.9 = 81.92 \text{ kcal/kg}$$

La disponibilidad será:

$$\frac{663.23 - 81.92}{663.23} \times 100 = 87\%$$

Pérdidas de calor en los equipos

Si éstas son reducidas de 3 a 2%, la eficiencia sera de 98%

**Eficiencia total del sistema con recuperación de condensados**

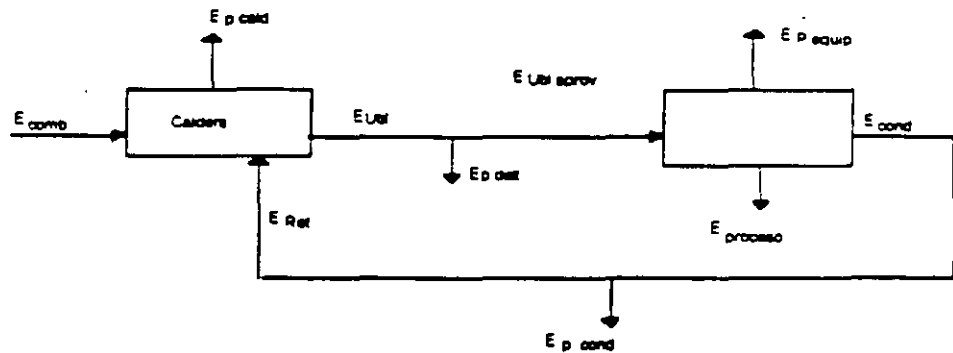
La eficiencia global del sistema es, tomando en cuenta los valores anteriores:

$$(0.83 \times 0.95 \times 0.87 \times 0.98) \times 100 = 67\%$$

El ahorro de combustible que resulta de la combinación de las acciones de ahorros de energía descritas será:

$$\left[ 1 - \frac{0.51}{0.67} \right] \times 100 = 24\%$$

**FIG. 5.1: BALANCE GENERAL DE ENERGIA. SISTEMA DE VAPOR**



$$\begin{aligned} E_{comb} + E_{Ret} &= E_{Util} + E_{p.cald} \\ E_{Util} &= E_{Aprov.} + E_{p\ Dist} \\ E_{Aprov.} &= E_{proceso} + E_{p.equip} + E_{cond} \\ E_{cond} &= E_{Ret} + E_{p. cond} \end{aligned}$$

## 5.3 COSTO DEL VAPOR

Los conceptos anteriores demostraron que las pérdidas del sistema aumentan el costo de generación de una tonelada de vapor. El costo también depende de la temperatura y presión del vapor generado, así como de la temperatura del agua de alimentación. En este caso, el costo unitario de vapor se determina de manera sencilla utilizando la siguiente ecuación

$$C_v = \frac{(h_g - h_a) \times C_c}{PCI \times \eta} \quad (5.4)$$

Donde:

- $C_v$  = costo unitario del vapor en N\$/kg de vapor
- $h_g$  = entalpia del vapor en kcal/kg
- $h_a$  = entalpia del agua de alimentación en kcal/kg
- PCI = poder calorífico inferior del combustible
- $\eta$  = eficiencia de la caldera en % (basado en el PCI)
- $C_c$  = costo unitario del combustible en N\$/kg de combustible

### Ejemplo 2

Se genera vapor saturado a 10.2 kg/cm<sup>2</sup> quemando combustóleo. La temperatura del agua de alimentación es de 85°C y la eficiencia de la caldera es de 75%. El poder calorífico del combustible es de 10,162 kcal/kg y tiene un precio de N\$ 0.24/kg. ¿Cuál es el costo de una tonelada de vapor?

De tablas de vapor:

- entalpia de vapor saturado a 10.2 kg/cm<sup>2</sup> = 663.23 kcal/kg
- entalpia del agua de alimentación a 85°C = 85.03 kcal/kg
- base de producción 1 ton = 1000 kg
- poder calorífico: 10,162 kcal/kg
- eficiencia de la caldera: 75%
- costo del combustible: N\$ 0.24/kg

sustituyendo en la fórmula

$$C_v = \frac{1000 \text{ kg } (663.23 - 85.03) \text{ kcal/kg}}{10,162 \text{ kcal/kg} \times 0.75} \times \text{NS}0.24/\text{kg} = 16.14$$

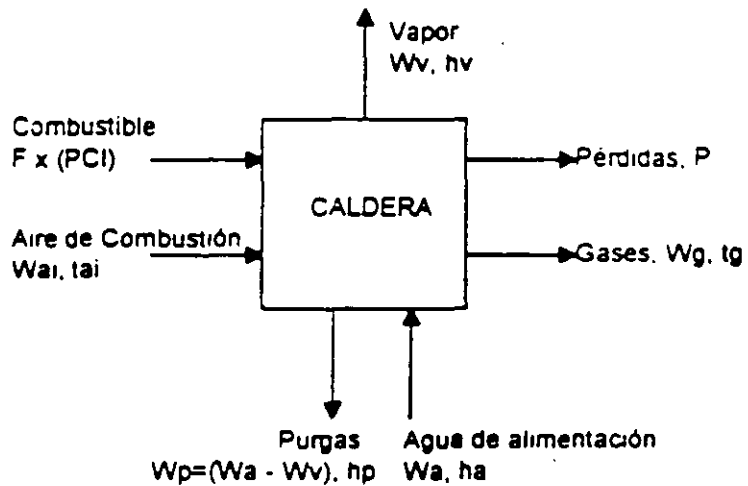
$$C_v = \text{NS } 16.14 / \text{tonelada de vapor}$$

## 5.4 BALANCE DE MASA Y ENERGIA

Para la obtención del rendimiento, considerando éste como la relación de calor útil entre calor suministrado, a veces es necesario realizar balances de masa y energía que incluyan el calor aportado, las pérdidas y el calor útil recuperado.

En la Fig. 5.2 se pueden observar esquemáticamente los componentes que intervienen en el balance de masa y energía en una caldera. Como se observa, las entradas son el combustible, el aire (a temperatura ambiente o precalentado) y el agua de alimentación. Por lo tanto, se puede establecer el siguiente cuadro:

FIG. 5.2: BALANCE DE MASA Y ENERGIA EN LAS CALDERAS



Siendo:

$W_a$	Flujo de agua de alimentación (kg/h)
$h_a$	Entalpia de agua de alimentación (kcal/kg)
$W_v$	Flujo de vapor útil (kg/h)
$h_v$	Entalpia de vapor útil (kcal/kg)
$W_p$	Flujo de purgas (kg/h)
$h_p$	Entalpia de agua de purgas (kcal/kg)
$F$	Flujo de combustible (kg/h)
PCI	Poder calorífica inferior del combustible (kcal/kg)
$W_{ai}$	Flujo de aire de combustión (kg/h)
$t_{ai}$	Temperatura de aire de combustión (°C)
$C_{pai}$	Calor específico del aire (kcal/kg °C)
$W_g$	Flujo de gases de combustión (kg/h)
$t_g$	Temperatura de gases de combustión (°C)
$C_{pg}$	Calor específico de los gases (kcal/kg °C)
$P$	Pérdidas (kcal/h)

Como se observa, las entradas son el combustible, el aire (a temperatura ambiente o caliente) y el agua de alimentación. Por lo tanto, se puede preparar el siguiente cuadro:

<u>Entradas</u>	<u>Flujo másico</u>	<u>Energía entrante</u>
Combustible	$F$	$F \times \text{PCI}$
Aire	$W_{ai}$	$W_{ai} \times C_{pai} \times t_{ai}$
Agua	$W_a$	$W_a \times h_a$

Las salidas serian el flujo de vapor, saturado o sobrecalentado, al proceso, los gases de escape, purgas y perdidas. El cuadro estaria compuesto por:

<u>Entradas</u>	<u>Flujo másico</u>	<u>Energía saliente</u>
Vapor	$W_v$	$W_v \times h_v$
Gases	$W_g$	$W_g \times C_{pg} \times t_g$
Purgas	$W_p$	$(W_a - W_v) \times h_p$
Perdidas	---	$P$



Las pérdidas para combustibles líquidos o gaseosos son las siguientes:

- pérdidas por humedad en el combustible
- pérdidas por humedad en el aire
- pérdidas por combustible no quemado
- pérdidas por radiación y convección en las superficies
- pérdidas por atomización (si aplica)

De los cuadros anteriores se deduce que:

$$F \times PCI + W_{ai} \times Cp_{ai} + W_a \times h_a = W_v \times h_v + W_g \times Cp_g \times t_g - (W_a - W_v) \times h_p - P \quad (5.5)$$

de donde resulta:

$$F \times PCI = W_v (h_v - h_p) + W_a (h_p - h_a) + W_g \times Cp_g \times t_g - W_g \times Cp_{ai} \times t_{ai} - P \quad (5.6)$$

Si las purgas son muy pequeñas, entonces  $W_a = W_v$  y como los gases están formados prácticamente por el flujo de aire, entonces también  $W_{ai} = W_g$

$$F \times PCI = W_v (h_v - h_a) + W_v (h_p - h_a) = W_g \times Cp_g \times t_g - W_g \times Cp_{ai} \times t_{ai} + P \quad (5.7)$$

La diferencia entre el calor específico de los gases de combustión y la del aire, no llega a ser más del 10%, por lo que una aproximación aceptable en la mayoría de los casos es que:

$$Cp_{ai} = Cp_g$$

entonces:

$$F \times PCI = W_v (h_v - h_a) + W_g \times Cp_g \times (t_g - t_a) + P \quad (5.8)$$

Para cálculos más precisos, se puede determinar el  $C_p$  de los gases utilizando la siguiente relación:

$$Cp_g = \sum Cp_i \times Y_i \quad (5.9)$$

Donde:

$Cp_i$  = calor específico del  $i$ ésimo componente

$Y_i$  = fracción volumétrica del  $i$ ésimo componente

## 5.5 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El consumo puntual de combustible viene dado por:

$$F = \frac{W_v \times (h_v - h_a)}{PCI \times \eta} \quad (5.10)$$

Donde

- $W_v$  = Flujo de vapor, kg/h
- $h_v$  = entalpia de vapor, kcal/kg
- $h_a$  = entalpia del agua de alimentación, kcal/kg
- PCI = poder calorífico inferior del combustible, kcal/kg
- $\eta$  = rendimiento de la caldera, en fracción

## 5.6 PRODUCCION DE VAPOR POR UNIDAD DE COMBUSTIBLE

La producción de vapor por unidad de combustible depende de numerosas variables, tales como el tipo de combustible, la entalpia final del vapor, temperatura del agua de alimentación y los rendimientos de los generadores de vapor. Por lo consiguiente, se presenta a continuación una ecuación general:

$$a = \eta \times \frac{PCI}{h_v - h_a} \quad (5.11)$$

## DIPLOMADO

# ESPECIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CALDERAS

**Alberto Plauchú Lina**  
Ingeniero consultor

### Introducción

Se identifican una infinidad de problemas en los generadores de vapor y equipo accesorio y auxiliar relacionado, tanto en su comportamiento, como en el diseño, habilidad para cumplir el servicio para el que fueron adquiridos, uso eficiente de la energía y los efectos de impacto al ambiente que genera su operación, o mejor dicho su deficiente operación.

Una parte importante de esta problemática tiene origen en la forma en que estos equipos fueron especificados para su adquisición. Lo anterior no es exclusivo de los generadores de vapor, desafortunadamente, y el conocimiento y experiencia requeridos para especificar con suficientes fundamentos, claridad y precisión es una necesidad aplicable prácticamente a todo tipo de adquisición, ya sea de equipo u otros suministros o bien de servicios, y se hace manifiesta en las situaciones de conflicto que al terminar una obra o al poner en servicio y probar un equipo se enfrentan sin solución satisfactoria por las razones expuestas antes.

### Algunos problemas con las calderas en servicio.

La falta de capacidad para satisfacer la demanda requerida, el sobredimensionamiento de los generadores de vapor, la falta de capacidad en los equipos auxiliares, el deterioro prematuro en condiciones de servicio críticas, las emisiones excesivas que dañan el ambiente, las condiciones de trabajo, la habilidad para mantener dentro de límites convenientes los parámetros de operación, las pérdidas excesivas de energía por problemas de construcción o de diseño, etc. son algunos de los problemas que se tienen en calderas que no fueron especificadas adecuadamente o en las que no se dió la importancia o prioridad necesarias a los diferentes aspectos que participan en una adecuada toma de decisiones. Figura 1.

### Algunas causas de especificación deficiente

Los propietarios de instalaciones de generación de vapor recurren para la adquisición de los equipos de generación y los elementos que integran el sistema de distribución, a sus propios recursos técnicos, a la asistencia técnica especializada externa, empresas o consultores de ingeniería, o bien a los fabricantes del equipo de acuerdo con las características, capacidades políticas o posibilidades de la empresa.

La participación de una sola de estas opciones en la especificación y decisión de adquisición de estos equipos no es suficiente y puede llevar a situaciones extremas de adquirir lo que está disponible en el mercado, lo que un vendedor hábil

ofrece, o bien en casos fortuitos lo que realmente se requiere, sin embargo esto último se consigue únicamente cuando hay la participación adecuada de toda las entidades con interes en el proyecto, desde luego con la oportunidad y coordinación necesarias. Figura 2.

### ¿Quién debe intervenir?

Los generadores de vapor son por lo general equipos de alto costo inicial, de alta intensidad energética, de alto potencial de ahorro energético, de alta posibilidad de contaminación de alto riesgo si no son bien operados y conservados, de largo tiempo de entrega y en general indispensables en la operación de las instalaciones de producción o de servicio para las que se adquieren.

Es muy importante tomar en cuenta que la participación del usuario final, del ingeniero o proyectista, de los responsables de procuración, del fabricante, de los departamentos de costos y finanzas, del departamento de proceso, de la gente de análisis de resultados, de las entidades a cargo de la seguridad y capacitación, entre otros son fundamentales a fin de que la decisión que se tome en una adquisición importante haya considerado los diferentes puntos de vista de condiciones de servicio, capacidades, prácticas operativas, capacitación de personal, factibilidad económica, disponibuilidad comercial, etc. y que el resultado sea de conveniencia integral para la empresa.

### Características básicas de una especificación.

Existen una serie de vicios y deficiencias en la elaboración de la documentación que para especificar una caldera se prepara, entre otros están la abundancia de referencias de códigos, estándares, especificaciones y reglamentaciones a cumplir que en la mayoría de los casos son desconocidas por quienes las enumeran y que tambien en muchos de ellos se incurre en contradicciones entre unos y otros documentos normativos y en dificultad para comprobar su cumplimiento. Figura 3.

Otros problemas que se enfrentan tienen su origen en tomar amplios márgenes en los parámetros de operación con respecto a los requerimientos de los servicios que deben satisfacerse, y en la capacidad de evaporación.

En ocasiones no se elabora especificación y los documentos de origen para adquisición fueron las proposiciones de fabricantes.

Existen también muchas situaciones en las que el documento de especificación es transcripción de otras especificaciones preparadas para otras necesidades, para otros propósitos, para otra magnitud y complejidad de equipos y en algunos casos para necesidades de otras localidades e inclusive de otros países.

La lista de estos casos, que finalmente se manifiestan como deficiencias de un documento de especificación que debe reflejar fielmente las necesidades precisas del servicio que cumplirá la caldera, puede ser interminable. Aquí sólo deseamos orientar la

atención hacia algunas de las características que debe cumplir la elaboración de una especificación de compra y reducir la problemática actual.

En primer lugar una especificación debe ser clara, debe ser de preferencia autosuficiente, debe ser realista en sus exigencias. Figura 4.

Si es demasiado abierta dará problemas en la evaluación, abrirá las puertas a fabricantes o proveedores sin experiencia o desleales, y se recibirán proposiciones con interpretaciones propias y diferentes de cada ofertante.

Si por otra parte es demasiado estricta o demasiado cerrada limitará la participación fabricantes y la aplicación de su habilidad o experiencia para ofrecer lo que mejor convenga comercialmente con la aplicación de sus tecnologías o atributos particulares cumpliendo de cualquier manera con los requerimientos de la especificación. Una especificación demasiado cerrada o más todavía con demasiadas particularidades puede llevar a la condición de que se trate de diseñar por parte del comprador y se diluya la responsabilidad por este concepto de parte del fabricante. Figura 5.

Una especificación debe incluir los criterios sobre los que se evaluará tanto para créditos como en penalizaciones, deberá dar la misma oportunidad de participación a cuantos se inviten, en el caso de un concurso o licitación, o bien si hay la justificación suficiente deberá ser con todo el detalle y precisión orientados a un fabricante. Esto último requiere desde luego una muy amplia experiencia y una actitud honesta de parte del comprador o bien del consultor que haga esta recomendación.

**Algunas soluciones para mejorar una especificación.**

En la experiencia del expositor el volumen de una especificación no es reflejo de la calidad del documento, la mención, muy frecuente, "de acuerdo con tal norma, última revisión" tampoco es una buena recomendación aménos que quien lo establece esté completamente actualizado con normalizaciones y reglamentaciones vigentes y que haya comprobado que efectivamente las revisiones recientes afectan el servicio requerido de la caldera. De otra manera solamente encarecerán las proposiciones. Figura 6.

El análisis a que se sujetará las proposiciones que se reciban deberá considerar los aspectos ambiental, energético, de seguridad, de operación, de cumplimiento a códigos, de fabricación, de inspección en fábrica, de inspección en sitio, y de pruebas de comportamiento y aceptación, y todo esto debe quedar claramente establecido en el documento de especificación así como otros conceptos que hagan posible la verificación del cumplimiento de estas exigencias.

Lo anterior requiere de la consideración de las capacidades disponibles del personal de operación, de mantenimiento, de evaluación, de elementos de medición y del personal encargado de comprobar mediante pruebas, con todo el protocolo requerido, el

comportamiento esperado de la unidad y la satisfacción de todos los valores que se consideren garantizados.

Es muy importante la estimación oportuna de las capacidades propias del comprador o usuario y oportunamente determinar la necesidades de asistencia externa cuando éste sea el caso. Figura 7.

Esta es una exposición muy breve, probablemente incompeteta, puesto que el tema y los elementos de discusión y análisis son muy amplios y se tratará con el material de apoyo, de ampliar su cobertura y aclarar los conceptos mencionados en el desarrollo del tema.

Morelia, Michoacán  
Mayo de 1995

# CONTENIDO

Un contenido Detallado Precede a Cada Parte, al Apéndice y a las Formas.

Introducción .....	vii	
Declaraciones de Política.....	ix	
Personal .....	xi	
Personal Comité Calderas AMIME .....	xxi	
Preámbulo .....	xxiii	
Parte PG	Requisitos Generales para todos los Métodos de Construcción .....	1
Parte PW	Requisitos para Calderas Fabricadas mediante Soldadura .....	77
Parte PR	Requisitos para Calderas Fabricadas mediante Remachado .....	113
Parte PWT	Requisitos para Calderas Acuotubulares .....	115
Parte PFT	Requisitos para Calderas de Tubos de Humo .....	121
Parte PFH	Requisitos Opcionales para el Calentador de Agua de Alimentación (Cuando se localice Dentro del Alcance de las Reglas de la Sección I) .....	147
Parte PMB	Requisitos para Calderas Miniatura .....	149
Parte PEB	Requisitos para Calderas Eléctricas .....	155
Parte PVG	Requisitos para Generadores Vaporizantes de Fluidos Orgánicos .....	161
Apéndice I	Obligatorio - Preparación de Solicitudes Técnicas para el Comité de Calderas y Recipientes a Presión .....	167
Apéndice	Explicación del Código con Aspectos No Obligatorios a Menos que las Reglas del Código se Refieran Específicamente a ellos .....	169
Formas y Guías para Reportes de Datos .....		263
Unidades SI .....		301
Índice .....		305

### CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UNA CALDERA

1. La caldera seleccionada debe tener una construcción robusta y compensadora de las dilataciones térmicas.
2. Suficiente capacidad tanto del agua como de vapor, de forma que pueda absorber fluctuaciones en la demanda de vapor.
3. La relación entre la superficie de calefacción y la capacidad de vaporización adecuada, para evitar la formación de espuma.
4. Juntas de dilatación protegidas de la acción del fuego.
5. Cámara de combustión con dimensiones adecuadas para que la combustión se realice totalmente, antes de que los gases pasen a los recuperadores.
6. Debe contar con un tambor para extraer las impurezas del agua (fangos), para evitar que estos fangos queden sujetos a la acción del fuego.
7. Disposición de la superficie de transferencia con respecto al flujo de gases tal que se obtengan buenos coeficientes de convección.
8. Facilidad para limpiar las superficies de intercambio, para aumentar la seguridad y la economía.
9. Debe mostrar flexibilidad en su funcionamiento.
10. Debe estar provista de los equipos auxiliares necesarios para garantizar la medición, el control y la seguridad.

FUENTE:

CONAE



## Evaluación y Especificación de Calderas

### **Propósito de Códigos y Normas.**

- ▶ Seguridad
- ▶ Calidad
- ▶ Comportamiento
- ▶ Medición
- ▶ Pruebas
- ▶ Cuidado del Ambiente
- ▶ Conservación de Energía
- ▶ Comercial

FIGURA 5

## **Especificación y evaluación de Calderas**

### **Algunos problemas**

- ▶ Limitaciones técnicas y económicas
- ▶ Equipo caro y complicado
- ▶ Falta de capacidad
- ▶ Equipo fuera de servicio
- ▶ Responsabilidades indebidas a operación - mantenimiento - fabricación
- ▶ Refacciones y componentes importados
- ▶ Falta de adecuación de equipo
- ▶ Discrepancia de condiciones y necesidades de servicio

### **Algunas soluciones**

- Conocimiento de condiciones de servicio específicas
- Particularidades del propietario tomadas en cuenta
- Adecuación a personal y preparación disponibles
- Comprobación de diseños por especialistas
- Consultoría especializada en el proceso especificación - aceptación
- Establecimiento y ejecución de pruebas de comportamiento y aceptación con la formalidad requerida

## **Especificación y Evaluación de Calderas**

### **Algunos atributos deseables**

- ▶ Seguridad de operación
- ▶ Confiabilidad
- ▶ Redundancia en reserva
- ▶ Redundancia de operación en paralelo
- ▶ Facilidad de mantenimiento

## **Especificación y Evaluación de Calderas**

### **Características fundamentales de especificación**

- **Claridad**
- **Precisión**
- **Factibilidad económica**
- **Factibilidad técnica**
- **Congruencia con recursos y facilidades disponibles**

## F I L O S O F I A D E D I S E Ñ O

### . CARGA

- RANGO DE GENERACION
- PLANTA BASE
- VARIACIONES MINIMAS

### . FRECUENCIA DE OPERACIONES DE ARRANQUE Y PARO

- OPERACION LOCAL
- OPERACIONES A CONTROL REMOTO

### . CRITERIO DE AUTOMATIZACION

- CONTROL LOCAL
- CONTROL REMOTO
- SUPERVISION REMOTA

### . OPERACION CALDERA CENTRAL

- CALDERA EN SEGUIMIENTO
- CENTRAL EN SEGUIMIENTO

### . CRITERIOS DE SUMINISTRO DE VAPOR

- RESPALDO
- REPOSICION

# CODIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION 1989

## SECCIONES

- I Calderas de Potencia
- II Especificaciones de Materiales
  - Parte A - Materiales Ferrosos
  - Parte B - Materiales No Ferrosos
  - Parte C - Varillas para Soldar, Electrodo y Metales de Aportación
- III Subsección NCA - Requisitos Generales para División 1 y División 2
- III División 1
  - Subsección NB - Componentes Clase 1
  - Subsección NC - Componentes Clase 2
  - Subsección ND - Componentes Clase 3
  - Subsección NE - Componentes Clase MC
  - Subsección NF - Soportes para Componentes
  - Subsección NG - Estructuras de Soporte del Núcleo
  - Apéndices
- III División 2 - Código para Reactores y Contenedores de Concreto
- IV Calderas para Calefacción
- V Pruebas No Destructivas
- VI Reglas Recomendadas para el Cuidado y Operación de Calderas para Calefacción
- VII Guías Recomendadas para el Cuidado de Calderas de Potencia
- VIII Recipientes a Presión
  - División 1
  - División 2 - Reglas Alternativas
- IX Calificaciones de Soldadura
- X Recipientes a Presión de Plásticos Reforzados con Fibra de Vidrio
- XI Reglas para Inspección en Servicio de Componentes para Plantas Nucleares

## ADENDA

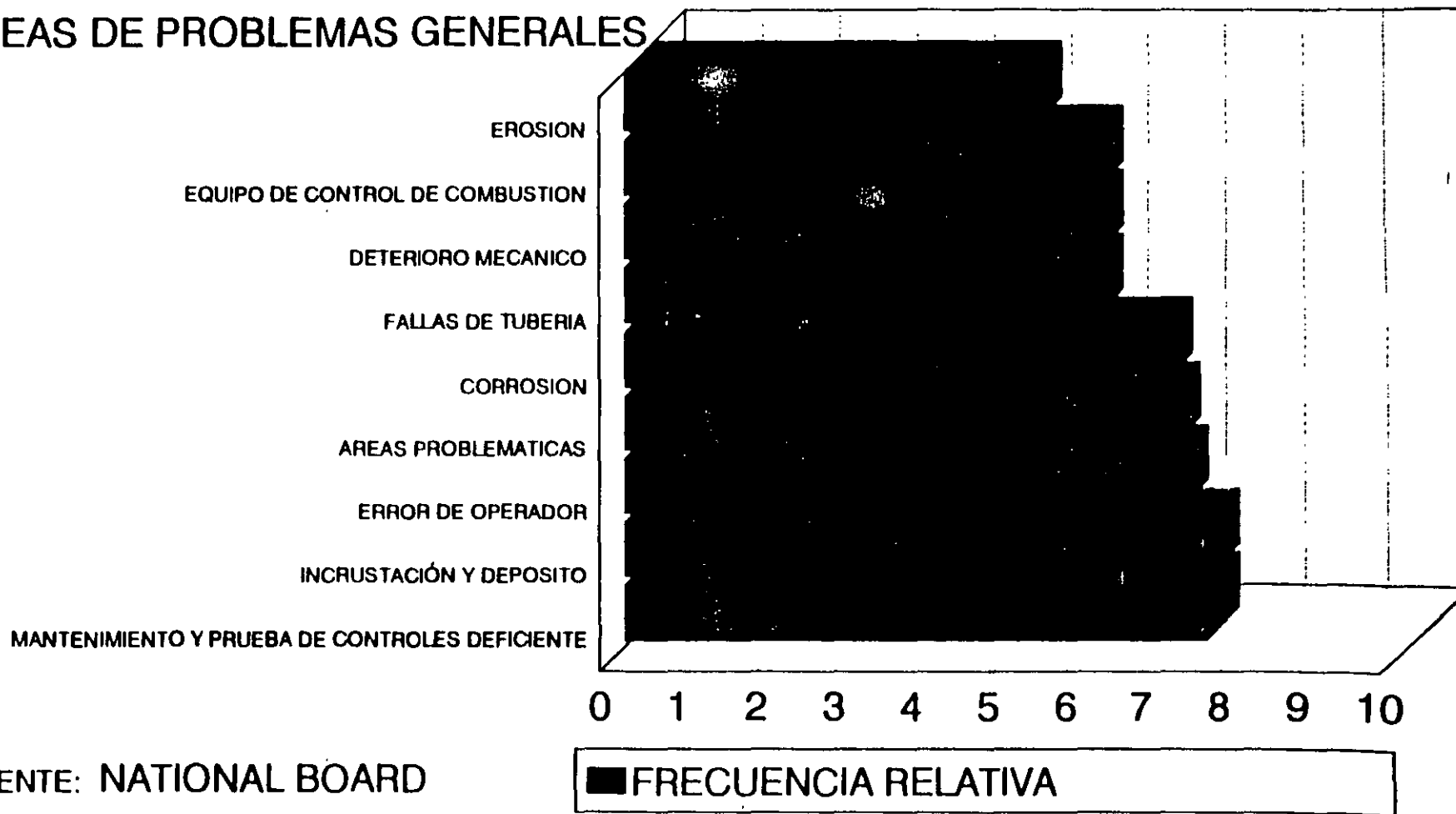
La "Adenda" en hojas de color, que incluyen las adiciones y revisiones a las secciones individuales del Código, se publican anualmente y se enviarán automáticamente a los compradores de las Secciones aplicables hasta la publicación del Código 1992. El Código 1989 está disponible sólo en formato de hojas sueltas; en consecuencia serán emitidas las Adendas en el formato de hojas sueltas, para reemplazo de página.

## INTERPRETACIONES

AMIME emite réplicas por escrito a las solicitudes que añaden interpretación de aspectos técnicos del Código. Las interpretaciones de cada Sección individual se publicarán separadamente y se incluyen como parte del servicio de po.

# OPERACION Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS

## AREAS DE PROBLEMAS GENERALES



(1,2) MUY RARA VEZ; (3,4) RARA VEZ; (5,6) OCASIONALMENTE; (7,8) FRECUENTEMENTE; (9,10) CON ALTA FRECUENCIA

## PREAMBULO

Este código cubre las reglas para la construcción de calderas de potencia,<sup>1</sup> calderas eléctricas,<sup>2</sup> calderas miniatura,<sup>3</sup> y calderas para agua de alta temperatura,<sup>4</sup> para usarse en servicio estacionario e incluye aquellas calderas de potencia usadas en servicio locomóvil, portátil y de tracción. La referencia a un párrafo incluye todos los subpárrafos y subdivisiones dentro de ese Párrafo.

El Código no contiene reglas que abarquen la totalidad de detalles de diseño y construcción. Donde no se especifiquen detalles completos se entiende que el fabricante, sujeto a la aceptación del Inspector Autorizado, deberá suministrar detalles de diseño y construcción, los cuales deberán estar, en lo que a seguridad se refiere, a la altura de lo previsto por las reglas del Código.

El alcance de la jurisdicción de la Sección I se aplica a la caldera propiamente dicha y a la tubería externa de la caldera

Los sobrecalentadores, economizadores y otras partes a presión conectadas directamente a la caldera sin la intervención de válvulas, deberán considerarse como partes de la caldera propiamente dicha, y su construcción deberá sujetarse a las reglas de la Sección I.

La tubería externa de la caldera deberá considerarse como aquella tubería que empieza donde la caldera propiamente dicha termina, esto es en:

<sup>1</sup> *Caldera de potencia* una caldera en la cual se genera vapor de agua u otro vapor a una presión de más de 15 lb/pulg<sup>2</sup> (100 kPa) para uso externo de la misma.

<sup>2</sup> *Caldera eléctrica* una caldera de potencia o una caldera para agua de alta temperatura en la cual la fuente de calor es la electricidad.

<sup>3</sup> *Caldera miniatura* una caldera de potencia o una caldera para agua de alta temperatura en la cual no se exceden los límites especificados en PMB-2.

<sup>4</sup> *Caldera para agua de alta temperatura* una caldera para agua destinada para operar a presiones que exceden de 160 lb/pulg<sup>2</sup> (1100 kPa) y/o temperaturas en exceso de 250°F (121°C).

a) La primera junta circunferencial para conexiones soldables; o

b) La carta de la primera brida en conexiones bridadas atomilladas; o

c) La primera junta roscada en ese tipo de conexión; y la cual se extiende hasta e incluyendo la válvula o válvulas requeridas por este Código.

La certificación de Código ASME (incluyendo Formas para Datos y Estampado de Símbolos del Código) y/o inspección por el Inspector Autorizado, cuando se requiera por este Código, es requerida para la caldera propiamente dicha y tubería externa de la misma.

Las reglas de construcción para materiales, diseño, fabricación, instalación y prueba de tubería externa de la caldera están contenidas en ANSI B31.1, Tubería a Presión. La tubería después de la válvula o válvulas requeridas por esta Sección I, no está dentro del alcance de esta Sección I, y no es la intención que el Símbolo del Sello del Código se aplique a esta tubería o a cualquier otra.

El material para calderas de circulación forzada, calderas sin línea fija entre vapor y agua, y calderas para agua de alta temperatura, deberá cumplir con los requisitos del Código. También deberán cumplirse todos los demás requisitos, excepto en los casos que se relacionan con características especiales de construcción necesarias en calderas de estos tipos, y con los accesorios que manifiestamente no son necesarios o usados en conexión con tales calderas, como indicadores de nivel de agua, columnas de agua, y grifos.

Los recalentadores que reciben vapor que ha pasado a través de una parte de una turbina o de otra fuente motriz y sobrecalentadores de vapor de fuego separado que no sean parte integral de la caldera, son considerados recipientes a presión expuestos a fuego, y su construcción deberá cumplir con los requisitos del Código para sobrecalentadores, incluyendo dispositivos de seguridad. La tubería entre las



presiones máximas de diseño y de operación, considera materiales, construcción, métodos de fabricación, inspección y dispositivos de seguridad. Se puede conceder permiso a cuerpos y organizaciones reguladores que publiquen normas de seguridad, para usar como referencia una Sección completa del Código. Si el uso de una Sección, tal como la Sección IX, incluye excepciones, omisiones o cambios de estipulaciones, la intención del Código podría no cumplirse.

Cuando un Estado u otro cuerpo de regulación efectúa adiciones u omisiones en la impresión de cualquier Sección del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión, se recomienda que tales cambios se indiquen claramente.

El Consejo Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión (National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors) está constituido por inspectores en jefe, de Estados y municipalidades en los Estados Unidos y de provincias en el Dominio de Canadá que han adoptado el Código para Calderas y Recipientes a Presión. Esta institución, desde su organización en 1919, ha funcionado para administrar y hacer cumplir uniformemente las reglas del Código para Calderas y Recipientes a Presión. La cooperación de esta organización con el Comité de Calderas y Recipientes a Presión, ha sido extremadamente útil.

Deberá señalarse que el Estado o municipalidad en donde se ha hecho efectivo el Código para Calderas y Recipientes a Presión tiene jurisdicción definida sobre cualquier instalación particular. Las consultas que tratan problemas de carácter local deberán dirigirse a la propia autoridad de tal Estado o municipalidad. Si hay alguna duda o pregunta en cuanto a la interpretación apropiada, los Estados, provincias, municipalidades u otros cuerpos de reglamentación pueden referir la pregunta al Comité de Calderas y Recipientes a Presión.

Las especificaciones para materiales base dadas en la Sección II, Partes A y B, son idénticas a, o similares a las de La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales [The American Society for Testing and Materials]. Cuando en una Especificación de Materiales de ASME se hace referencia a una Especificación ASTM para la cual existe una Especificación ASME acompañante, la referencia deberá interpretarse como aplicable a la Especificación de Materiales ASME. Las Especificaciones para materiales de soldar

dados en la Sección II, Parte C, son idénticas a, o similares a las de la Sociedad Americana de Soldadura [American Welding Society]. No todos los materiales incluidos en las Especificaciones de Materiales ASME de la Sección II se han adoptado para uso del Código. El uso se limita a los materiales y grados adoptados por al menos una de las otras Secciones del Código para aplicación bajo las reglas de esa Sección. Todos los materiales que se permiten por estas diversas Secciones y usados para construcción dentro del alcance de sus reglas deberán ser suministrados de acuerdo a la Especificación de Materiales ASME contenidas en la Sección II, excepto en donde se estipule de otro modo en los Casos del Código o en la Sección del Código que sea aplicable. Los materiales cubiertos por estas Especificaciones son aceptables para uso en partidas cubiertas por Secciones del Código solamente hasta el grado indicado en la Sección aplicable. Los materiales para uso de Código deberán ser, de preferencia, pedidos, producidos y documentados sobre esta base; sin embargo, el material producido bajo una Especificación ASTM se puede usar en lugar de la correspondiente Especificación ASME, con la condición de que los requisitos de la Especificación ASTM sean idénticos (excluyendo las diferencias editoriales) o más estrictos que la Especificación ASME para el Grado, Clase y Tipo producido y siempre y cuando se confirme que el material cumple con la Especificación ASTM. El material producido para una Especificación ASTM con requisitos diferentes a los requisitos de la Especificación ASME correspondiente se pueden usar, de acuerdo con lo anterior, con la condición de que el fabricante del material o el fabricante del recipiente certifique, con evidencia aceptable, al Inspector Autorizado, que se han satisfecho los requisitos de la Especificación ASME correspondiente. El material producido para una Especificación de Materiales ASME o ASTM no está limitado como para el país de origen.

Cuando se requiera por el contexto en esta Sección, el singular deberá interpretarse como el plural y viceversa; y el género masculino, femenino, o neutro se tratará como tal otro género como sea apropiado.

La publicación de la Edición SI (Métrica) del Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión se discontinuó con la Edición 1986. Efectivo en el 1o. de Octubre de 1986, la Edición SI se retiró como documento del Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión.

## INTRODUCCION

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers) estableció un comité en 1911 con el propósito de formular reglas tipo para la construcción de calderas de vapor y otros recipientes a presión. Este se conoce actualmente como Comité de Calderas y Recipientes a Presión.

La función del Comité es establecer reglas de seguridad que normen el diseño, la fabricación, y la inspección durante la construcción de calderas y recipientes a presión, e interpretar estas reglas cuando surjan dudas relativas a su significado. Al formular estas reglas, el Comité considera las necesidades de usuarios, fabricantes e inspectores de recipientes a presión. El objeto de las reglas es proporcionar una protección razonable de vidas y propiedades así como proveer un margen de deterioro en servicio, con objeto de dar un período de utilización razonablemente largo y seguro. Se han reconocido el progreso en el diseño y materiales, y la evidencia de la experiencia.

El Comité de Calderas y Recipientes a Presión (Boiler and Pressure Vessel Committee) se ocupa del cuidado e inspección de calderas y recipientes a presión en servicio únicamente hasta el punto de proveer reglas sugeridas de buenas prácticas como una ayuda a los usuarios y a sus inspectores.

Las reglas establecidas por el Comité no deben interpretarse como aprobación, recomendación, o garantía para algún diseño específico o patentado, o como limitación en alguna forma a la libertad del fabricante para elegir cualquier método de diseño o forma de construcción que satisfaga a las reglas del Código.

El Comité de Calderas y Recipientes a Presión se reúne regularmente para considerar revisiones de las reglas, nuevas reglas que dicta el desarrollo tecnológico, Casos del Código y solicitudes para interpretaciones. Las solicitudes para interpretación pueden dirigirse al Secretario por escrito y deben dar referencias completas para recibir consideración y una interpretación por escrito (véase el Apéndice Obligatorio que cubre la preparación de solicitudes técnicas). Las revisiones propuestas se presentarán al Comité Principal para la acción apropiada. La acción del Comité Principal llega a ser efectiva sólo después de confirmación

por balota de cartas del Comité y la aprobación por la ASME.

Las revisiones propuestas al Código aprobadas por el Comité se dejan a la decisión del Instituto Nacional de Normas [American National Standards Institute] y se publican en "Mechanical Engineering" para invitar a los comentarios de todas las personas interesadas. Después del tiempo asignado para la revista pública y aprobación final por ASME, se publican anualmente los Suplementos (Addenda) al Código.

Los Casos del Código pueden usarse en la construcción de componentes que van a ser estampados con el símbolo del Código ASME, a partir de la fecha de su aprobación por ASME.

Después de que las revisiones al Código son aprobadas por ASME, estas pueden usarse a partir de la fecha de su publicación que aparece en el Suplemento. Las revisiones de hacen obligatorias, como un requisito mínimo, seis meses después de la fecha de su publicación, excepto para el caso de calderas o recipientes a presión contratados en fechas anteriores al cumplimiento del período de seis meses.

Se previene a fabricantes y usuarios de componentes contra el uso de revisiones y Casos que son menos restrictivos que requerimientos anteriores sin tener la seguridad de que hayan sido aceptados por las autoridades apropiadas la jurisdicción en la cual el recipiente va a ser instalado.

Se invita a cada Estado o Municipalidad en los Estados Unidos y cada provincia en el Dominio de Canadá que adopta o acepta una o más Secciones del Código de Calderas y Recipientes a Presión, a nombrar un representante para que actúe en el Comité de Conferencias para el Comité de Calderas y Recipientes a Presión. Toda vez que los miembros están en contacto activo con la administración y hacer cumplir las reglas, los requisitos para inspección en Código corresponden con aquellos en vigor en sus respectivas jurisdicciones. Las calificaciones requeridas para un Inspector Autorizado bajo estas reglas pueden obtenerse de la autoridad administrativa de cada Estado, municipalidad o provincia que haya adoptado estas reglas.

El Comité de Calderas y Recipientes a Presión, en la formulación de sus reglas y en el establecimiento de las

al día esa Sección. Se emitirán dos veces al año (julio y diciembre) hasta la publicación del Código 1992. Las interpretaciones de Sección III, Divisiones 1 y 2, con el servicio de poner al día para la Subsección NCA. Las Interpretaciones no son parte del Código o de la Adenda.

### CASOS DEL CODIGO

El Comité de Calderas y Recipientes a Presión se reúne en forma regular para considerar adiciones propuestas y revisiones al Código y para formular Casos para aclarar el intento de requisitos existentes o proveer, cuando la necesidad es urgente, reglas para materiales o construcciones no cubiertas por las reglas existentes del Código. Los Casos que se han aceptado aparecerán en el libro apropiado de Casos del Código 1989:(1) Calderas y Recipientes a Presión y (2) Componentes Nucleares. Se enviarán suplementos automáticamente a los compradores de los libros "Casos de Código" hasta la publicación del Código 1992.

## CÓDIGO ASME - SECCIÓN I

### CALDERAS DE POTENCIA

#### INTRODUCCIÓN

En el año de 1914, tuvo su origen la Sección del Código ASME para calderas y recipientes a presión al elaborarse y editarse la primera impresión del Código de Calderas de Potencia por la ASME. A partir de entonces la tecnología de calderas ha tenido avances trascendentales y los generadores de vapor tienen hoy sólo pequeñas semejanzas con aquellos de principios de 1900. Sin embargo, muchos de los conceptos fundamentales y básicos que se usaron en el código original son totalmente válidos en la actualidad. En este curso corto, consideramos brevemente algunos de los hechos históricos del desarrollo del primer código, más adelante revisaremos la Sección I actual para Calderas de Potencia con el fin de conocerla más a fondo y poderla utilizar adecuadamente, para contar así con calderas seguras y confiables.

#### HECHOS HISTÓRICOS

Las explosiones en calderas se presentaban con bastante frecuencia hacia fines de 1880 y principios de 1900 y en los Estados Unidos, durante el período de 1889 a 1903 murieron cerca de 1200 personas como consecuencia de 1600 explosiones de calderas. En 1905 sucedió una explosión catastrófica en una fábrica de zapatos de Wrocton, Mass, y 58 personas perecieron, resultaron heridas y el monto de los daños en propiedades fue de un cuarto de millón de dólares (de entonces).

Esta desgracia junto con otro accidente de mayor cuantía dieron por resultado que en 1907, la Commonwealth de Massachusetts promulgara el primer código legal de reglas para la construcción de calderas.

En un principio, este primer código tuvo solamente tres páginas, pero a intervalos frecuentes se efectuaron revisiones y adiciones, de manera que para fines de 1908 ya se habían impreso seis ediciones.

Otros estados y un número de ciudades donde ocurrieron explosiones de calderas, reconocieron que éstas se podían prevenir por medio de un diseño, construcción, instalación e inspección y seguros apropiados. Como resultado, estos estados y ciudades formularon reglamentos de seguridad para calderas.

En ciertos casos, algunas reglas se contraponían a las de otros estados o ciudades. Durante el año de 1911, New York y Ohio promulgaron leyes similares a las de Massachusetts, siguiendo New Jersey en 1913, Indiana en 1915, Delaware en 1916, Pennsylvania, California, Michigan y Arkansas en 1917, Oklahoma en 1919 y Oregon en 1920.

La carencia de uniformidad en las leyes, trajo como consecuencia una situación caótica, ya que algunos materiales y métodos de construcción que se consideraban seguros en una jurisdicción no

se permitían en otra. Esta situación representó un obstáculo tanto para el usuario que quería llevar una caldera de una planta a otra en diferentes áreas, como para el fabricante que quería producir calderas de reserva para después venderlas en diferentes localidades. La inspección para el uso de una caldera fuera del estado o ciudad de fabricación presentó serias dificultades.

Debido a estos problemas, la "Asociación Americana de Fabricantes de Calderas", (American Boiler Manufacture's Association) intentó, sin éxito, elaborar reglas que pudieran usar los fabricantes de todos los estados. Sin embargo, el Coronel E. D. Meir, líder de este esfuerzo, fue elegido Presidente de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) y en 1911 logró convencer al consejo directivo sobre la necesidad de un comité que formulara especificaciones estándar para la construcción de calderas de vapor y otros recipientes a presión y para el cuidado en la operación de los mismos.

Este comité estuvo integrado por siete miembros con las siguientes especialidades:

- Un ingeniero consultor.
- Dos profesores de ingeniería.
- Dos ingenieros empleados por fabricantes de calderas.
- Un ingeniero empleado por un fabricante de materiales.
- Un ingeniero empleado por una compañía aseguradora de calderas.

La conveniencia de una representación más amplia se hizo notar, dando por resultado el nombramiento de un "Comité de Consejo" con representantes de fabricantes de calderas y recipientes a presión, usuarios, diseñadores, fabricantes de materiales y accesorios y compañías aseguradoras. Esta junta pasó más tarde a formar el primer "Comité de Calderas de Código".

El primer "Código de Calderas ASME" se imprimió en 1914, en el que, en la Parte I, la Sección I cubría las calderas de potencia, la Sección II calderas de calentamiento; y la Parte II trataba las instalaciones existentes. El Código ganó rápidamente la aceptación de estados y municipios, esto contribuyó a que las explosiones se redujeran de manera considerable.

Los participantes en la preparación de primer código fueron aquellos representantes de la industria, expertos en los campos de diseño y fabricación de calderas, fabricación de materiales, operación de calderas y el aseguramiento de éstas. El propósito de tener una representación extensa en los comités del código se sigue todavía, y se procura mantener un balance de los intereses afectados, evitando que algún interés personal domine este comité.

Los elementos que proporcionaban la seguridad en el primer código, podrían enumerarse como sigue:

- El uso de materiales con propiedades conocidas.
- El empleo de fórmulas y reglas de diseño para establecer un espesor adecuado con un factor de seguridad mínima.
- Uso de métodos de construcción con integridad conocida.
- Uso de accesorios apropiados y válvulas de seguridad.
- Inspección y pruebas durante la fabricación y al completar el ensamble.
- La aplicación de un estampado al completar la caldera para mostrar que se cumplieron las reglas del código.

Conforme se vava revisando la Sección I se verá que estos elementos básicos, los cuales se han refinado de acuerdo al avance en el diseño de calderas y la tecnología de materiales, siguen siendo requisitos fundamentales del Código.

Como el comité del código amplió su alcance y el interés y el apoyo recibidos aumentaron, se vio la necesidad de abarcar otras secciones. En la actualidad se tienen 22 volúmenes que incluyen la mayor expansión desde 1963, en la que se incluyeron, en el alcance del código los componentes para plantas termonucleares.

En nuestra discusión veremos la Sección I y otras secciones del Código a las que se hace referencia, como las Secciones II, V y IX, así como las Secciones ANSI-B-16 para conexiones, bridas y válvulas y ANSI B31.1 para Sistemas de Tuberías de Potencia del Código para tuberías a presión.

## OPERACIÓN DE CÓDIGO

### SECCIÓN I.- PANORAMA GENERAL

Para familiarizarse con la Sección I, se recomienda empezar por el principio para saber que es lo que contiene. La primera parte abarca un bosquejo de todo el "Código para calderas y recipientes a presión", una introducción, el establecimiento de políticas, las listas de comités y sus miembros, una tabla de contenido y un preámbulo. Después de este último están las reglas del Código divididas en varias partes y al final se encuentra un apéndice, muestras de forma y guías de reporte, factores de conversión al Sistema Internacional de Unidades y finalmente un índice". Aun cuando no es necesario conocer todo el contenido del Código para diseñar y construir calderas, sí es conveniente saber cómo opera el Comité al preparar y mantener actualizado el Código, incluyendo todas sus secciones. Se sugiere leer la información que se encuentra al principio de la Sección I hasta el Preámbulo para obtener una visión más amplia de la que podemos cubrir en estas pláticas. Sin embargo, mostraremos cierta información relacionada directamente con la preparación y uso del "Código para calderas de potencia".

### COMENTARIOS GENERALES

Antes de empezar a analizar las reglas específicas de la Sección I, es conveniente considerar algunos factores significativos relacionados con el Código de calderas de potencia.

Dado que la Sección I cubre todas las calderas que operan a más de 1 Bar (15 PSI), se puede observar que cubre muy diferentes tamaños y tipos. En ellas se incluyen las calderas paquete igneotubulares más pequeñas, las paquete de tubos de agua; las industriales montadas en campo, y las más grandes para Plantas y Centrales generadoras de energía eléctrica tanto las tipo domo y las de un solo paso (monotubulares o "ONCETHROUGH"). Estas últimas pudiendo operar a presiones mayores 350 kg/cm<sup>2</sup> (5000 psi) con temperaturas de vapor del orden de 650°C (1200°F). A fin de cubrir calderas tan diferentes en tamaños y tipos, y que operan en un rango de presiones tan amplio, es necesario que las reglas sean generales.

El Código dicta reglas y requisitos mínimos para el diseño y fabricación de calderas, pero siempre en función de seguridad; por lo tanto, no es un código que permita diseñar en base a él exclusivamente, una caldera. De ahí, que el diseñador y el fabricante tengan la responsabilidad de proporcionar una caldera que suministre la cantidad de vapor a las condiciones de presión y temperatura deseadas, con un mínimo de problemas de operación o mantenimiento y con la certeza de que es totalmente segura. Debido a esto, el fabricante debe cumplir con las reglas y tanto el inspector autorizado, como el propio fabricante, deben certificarlo para poder estamparla con sello autorizado por el Código.

## CERTIFICACIÓN Y POLÍTICAS

Una de las principales razones por las que el Código ASME ha obtenido un excelente "Record" de seguridad y la aceptación en el mundo entero, es su sistema de certificación, que es el medio por el cual ASME evalúa y establece la calificación de un fabricante, tanto de calderas como de materiales, en cuanto al cumplimiento del Código. VER ÍNDICE.

El aspirante al SELLO ASME de calderas debe cumplir con lo siguiente:

- \* Mantener en vigor un contrato con una agencia de inspección autorizada para contribuir con la inspección de un tercero.
- \* Controlar las operaciones de diseño, fabricación y pruebas e inspección, a través de un sistema de calidad descrito en un manual y en vigor en su organización.
- \* Una revisión por parte de un grupo de evaluación designado por ASME, para verificar que el manual anterior está de acuerdo con los requisitos del Código y que se esté aplicando con efectividad y vigilancia.
- \* La aprobación del Comité del Sello ASME una vez que se haya revisado el reporte del grupo designado.

Cuando se hayan completado los requisitos anteriores, el aspirante recibirá un Certificado de Autorización para usar el Sello cuya aplicación al equipo descrito en dicha autorización queda abajo.

Su total responsabilidad quedando sujeto el fabricante a refrendar la vigencia de la autorización y a acatar las disposiciones del COMITE DEL SELLO si se reportan desviaciones importantes en su buen uso.

## INTRODUCCIÓN

La introducción nos proporciona la información referente al modo de operar del Comité de Calderas y Recipientes a Presión. Aquí se esbozan algunos de los aspectos administrativos más importantes de la preparación, revisión e impresión de los casos del Código y la Enmiendas, así como las fechas en que se hacen efectivas estas últimas.

El Comité principal y los Subcomités se reúnen seis veces al año a intervalos aproximados de dos meses. Las revisiones y adiciones se emiten tres veces al año como Enmiendas, y entran en vigor como parte del Código, seis meses después de su edición. Los casos de Código pueden editarse para suministrar reglas permisivas, si es que las existentes no cubren adecuadamente una situación determinada, tales como un material nuevo o un avance en la tecnología.



La introducción también habla sobre ciertos aspectos relacionados con el uso del Código por estados, municipios, provincias u otras jurisdicciones legales que adoptan o hacen referencia a éste en sus leyes. Es importante hacer notar, que el Código no tiene carácter legal mientras no sea requerido por alguna jurisdicción legal. El "Consejo Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión", (NATIONAL BOARD OF BOILER AND PRESSURE VESSEL INSPECTORS) se compone de los Inspectores y Jefes de inspección estatales de los Estados Unidos y Canadá que han adoptado el Código ASME. En la introducción se menciona la importante función que desarrolla este Consejo Nacional de inspectores para lograr una administración y cumplimiento uniformes de las reglas del Código.

Una frase de la introducción que cabe citar es la siguiente: "En la formulación de las reglas y el establecimiento de las presiones de diseño y máxima operación, el "Comité de Calderas y Recipientes a Presión" debe considerar los materiales, construcción, método de fabricación, inspección y dispositivos de seguridad". Nótese la similitud con el primer Código editado en 1914.

La introducción señala que "Las especificaciones para materiales base incluidos en la Sección II, Partes A y B son idénticas o similares a aquellas que establece la "Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM)". También determina, que "Las especificaciones para soldaduras de materiales dados en la Sección II, Parte C son idénticas o similares a las de la "Sociedad Americana de Soldadura (AWS)". ASME reconoce que los expertos en la preparación y edición de especificaciones para materiales base están con ASTM, así como los de soldadura están con AWS. Mediante la revisión y adopción de estas especificaciones, se elimina la duplicidad de esfuerzo y se puede seguir la práctica comercial normal en la fabricación de materiales.

#### ESTABLECIMIENTO DE POLÍTICA

El establecimiento de políticas se relaciona con el uso de los símbolos del Código y las marcas de ASME para publicidad. Esto es lo suficientemente claro y por lo tanto no se necesita discutir.

#### PERSONAL

La lista del personal que participa en las actividades del Código es bastante larga y se presenta para información. Esta lista es impresionante si se considera que todos son colaboradores voluntarios que representan muy variados intereses. Un requisito de procedimiento de ASME es tener Comités balanceados con representación de los intereses afectados, tales como el Comité Principal y los Subcomités de Recipientes de I, III, IV, VIII y X. Esto va de acuerdo con el criterio para consensos estándares según lo establece el Instituto Nacional Americano de Estándares.

El Subcomité de Calderas de Potencia tiene representantes de fabricantes, usuarios, Instituciones de Reglamentación, Agencias de inspección y seguros, publicaciones técnicas, ingenieros

consultores e ingenieros proyectistas. Entre los representantes que tiene México en este Subcomité se cuentan los Ingenieros A. Plauchú, R. Sánchez P., L. Sánchez G., J. Aguilar, J. R. Vázquez y H. Colter.

## CONTENIDO DE LA SECCIÓN I

En la Tabla de Contenido de la Sección I, se puede notar que está dividida en varias partes, cada una representada por iniciales. La razón por la que se usa este sistema, es para identificar con la primera letra la sección ("P" para potencia), y con la segunda, la parte ("W" para soldadura) y evitar así cualquier confusión con las otras secciones del Código.

La Tabla de Contenido identifica que es lo que cubre cada parte y anota especialmente, que la parte PG se aplica a todos los métodos de construcción.

## PREÁMBULO

El preámbulo a la Sección I identifica de manera más específica los usos que incluye esta sección, los cuales se muestran en la Tabla I. El empleo de la Sección I del "Código para Calderas y Recipientes a Presión" puede dictarlo, ya sea la autoridad Jurisdiccional o el comprador en su especificación. El uso que se planea dar a esta sección se explica en el preámbulo, y es aplicable exclusivamente a calderas expuestas a fuego y generadores de vapor orgánicos. En adición, se incluyen también varios componentes que normalmente son parte de calderas de potencia. Esto incluye sobrecalentadores, recalentadores, economizadores y, bajo algunas circunstancias, calentadores de agua de alimentación. La Sección I contiene reglas específicas para calderas de potencia, eléctrica, miniatura y calderas de tubos de agua de alta temperatura.

Cuando un generador de vapor no sea expuesto a fuego, se puede aplicar la Sección I o la VIII. El preámbulo lista aquellos casos en que la Sección I no se utiliza, tales como recipientes a presión no sujetos a fuego directo los cuales pertenecen exclusivamente a la Sección VIII, y las unidades donde se genera vapor orgánico para procesos de manufactura químicos o de petróleo, los cuales están cubiertos por los estándares tipo industrial.

TABLA I

USO QUE CUBRE

SECCIÓN I	SECCIÓN VIII Y I	SECCIÓN VIII
1. Calderas sujetas a fuego. 2. Generadores de vapor orgánicos a fuego.	Calderas no sujetas a fuego.	Recipientes a presión no sujetos a fuego.
INCLUYENDO	INCLUYENDO	INCLUYENDO
* Sobrecalentadores integrales y separados. * Recalentadores. * Calentadores de agua de alimentación PFI-I.	* Tanques de expansión en calderas de alta temperatura.	* Evaporadores. * Recipientes de intercambio de calor. * Recipientes de sistemas de procesos químicos y de petróleo.

OTRAS SECCIONES

Generadores de vapor orgánicos para procesos de manufactura químicos o de petróleo.

En muchos casos es fácil decidir cuándo se debe utilizar la Sección I, sin embargo, en ocasiones surgen dudas sobre la aplicación de las diferentes secciones del Código en equipo nuevo o especializado. Un ejemplo de esto es la caldera solar a la cual se le aplicó la Sección I, ya que la caldera se calienta por reflexión a través de espejos y éste puede estimarse como un método de fuego indirecto. Además de esta consideración básica, la caldera solar tiene componentes estándar que solamente cubre la Sección I. En ocasiones se han presentado a los Comités del Código algunos dispositivos que generan vapor y que son mucho más difíciles de clasificar a este respecto.

La Sección I también tiene ciertos límites de servicio. Por ejemplo, para calderas que operan a menos de 1 BAR (15 psig) y aquellas acuatubulares de alta temperatura menores de 11 kg/cm<sup>2</sup> (160 psig), se recomienda que el diseñador use la Sección IV, aunque puede usar la Sección I si así lo prefiere.

## REQUISITOS GENERALES PARA TODOS LOS MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN PARTE PG

Esta parte abarca los requisitos generales para todos los métodos de construcción que cubre la Sección I. La Tabla de Contenido nos muestra un panorama de los diversos aspectos comprendidos. En la revisión de esta sección, se tratará de profundizar en los párrafos más significativos, con el objeto de entender mejor el Código. En ella se hace referencia a otros párrafos del mismo Código y a otros estándares tales como el ASTM y el ANSI B-16.

PG-1 y 2 proporcionan información más específica que la del preámbulo, sobre el alcance y limitaciones de servicio.

PG-5 a PG-13 establecen las reglas sobre los materiales que pueden usarse en la construcción de calderas, los cuales se identifican por un número de especificación. Las especificaciones completas se incluyen en la Sección II del Código. Se debe recordar que las especificaciones ASTM se revisaron y aprobaron para usarlas en el Código por lo que éstas son idénticas o con ligeras modificaciones, normalmente requisitos adicionales, a las de ASTM. Cuando el Comité del Código las adopta, se mantiene la designación de ASTM, pero con la letra "S" en el prefijo. Por ejemplo: El ASTM A-515 pasa a ser ASME SA-515, los materiales se listan por forma de producto.

En PG-9 se encuentran los tubos y partes que contienen presión, así como las partes de las calderas y las de los sobrecalentadores. La razón para hacer esta separación, es que ciertas aleaciones de materiales austeníticos que pueden usarse en partes de sobrecalentadores que operan a esfuerzos y temperaturas elevados, pueden estar sujetas a esfuerzos por corrosión de cloruros si se usan como parte de caldera y, por lo tanto, no se permite su empleo en este último caso.

En PG-5 se hace referencia a las tablas de esfuerzos PG-23.1 y PG-23.2 que se encuentran en el Apéndice, donde se listan los materiales aprobados en la Sección I y sus esfuerzos permisibles. Aún cuando más adelante se hablará de estas tablas, es importante hacer notar, que los materiales que no se encuentren en ellas se pueden usar para construcción de acuerdo a la Sección I, siempre que satisfagan o excedan los requisitos de estos párrafos, "Las especificaciones son requisitos mínimos".

PG-10 da las reglas para determinar las propiedades químicas y físicas por medio de pruebas, con el fin de establecer, si un material que no está totalmente identificado, cumple con los requisitos de una especificación aceptable. Si las pruebas confirman que se encuentra dentro del rango de la especificación y el inspector acepta los resultados, el material se podrá marcar como se indica en PG-10.3 y se podrá usar para construcción según el Código.

PG-1, llamado Partes a Presión Misceláneas, establece las reglas para prefabricar o preformar partes a presión, cuando éstas las suministra un fabricante de calderas diferentes. Los materiales para estas partes deben cumplir con los listados en la Sección I

o en el Código ANSI en sus partes aplicadas. De manera similar, las partes hechas con los estándares del fabricante o las partes formadas que se suministran como materiales, deben cumplir con la Sección I.

Las previsiones que cubre PG-11 y sus subpárrafos 11.1, 11.2 y 11.3 son muy importantes para establecer la aceptación por la Sección I de las partes preformadas. Si están fundidas, forjadas, roladas, formadas o soldadas, pueden usarse si el material es aceptable y el producto está identificado conforme a un estándar; ya sea de ANSI o del fabricante. Los requisitos de identificación y certificación se dan como requisitos de inspección para partes soldadas.

## DISEÑO

Los requisitos de diseño se dan en los párrafos PG-16 a PG-25. Esta subparte de PG se debe comprender lo mejor posible, ya que cubre las reglas para construir diferentes tipos de calderas. Por lo tanto, veremos los aspectos más significativos de los requisitos de diseño.

### PG-16 GENERAL

En PG-16 se establece que las reglas de diseño de esta parte deben aplicarse en adición a las reglas de diseño específicas de otras partes. Estas son: PWT para fabricación de calderas de tubos de agua, PFT para calderas de tubos de humo, PMB para calderas miniatura, PEB para calderas eléctricas y PVG para generadores de vapor orgánicos.

PG-16.2 exige un diagrama especial para identificar la localización de las diferentes partes a presión cubiertas en la Sección I, cuando se diseñen generadores de vapor de circulación forzada, donde no existe una línea entre el vapor y el agua, y cuando se diseñe para diferentes niveles de presión como lo permite PG-21.2.

Otros párrafos de PG-16 proporcionan los requisitos especiales para espesores mínimos de placas y tolerancias para placas y tubos.

PG-18 de las previsiones para efectuar un aprueba hidrostática de deformación en una parte cualquiera, cuando las reglas de diseño no son aplicables a una parte específica. Las reglas para esta prueba se establecen en el Apéndice A-22.

### PG-21 PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA PERMISIBLE (MAWP)

Este es quizá, uno de los aspectos más significativos de diseño del Código, ya que es la base para establecer el espesor de las partes a presión y el ajuste de las válvulas de seguridad. Para los fabricantes de calderas, es la presión de diseño a usar en la caldera, o en el caso de calderas de circulación forzada, es la presión de diseño para los diversos componentes de partes presión diseñados para diferentes presiones. Aquí se establece que la presión de trabajo máxima permitida se determina aplicando

los valores de esfuerzos (PG-23 a PG-38, PG-52 y PG-53), y las definiciones (Diámetro, Espesor y Geometría) designadas en la Sección I.

#### PG-23 VALORES DE ESFUERZOS PARA FORMULAS DE CALCULO

Este párrafo establece que las tablas de esfuerzos PG-23.1 y PG-23.2 que aparecen en los Apéndices A-24 y A-25, y las referencias A-150, dan las bases para seleccionar los esfuerzos permisibles. Estos son los esfuerzos que se usan en las formulas de diseño de PG-27 y de otros párrafos que tienen una fórmula con una "S". Debido a que la base para establecer los esfuerzos permisibles es una de las partes más significativas de la Filosofía de diseño de la Sección I, veremos que está directamente relacionada con:

- 1.- La filosofía criterio de diseño.
- 2.- El tipo de fabricación permitido.
- 3.- El grado de análisis que se requiere.
- 4.- La cantidad necesaria de exámenes no destructivos.

En la Sección I, el espesor requerido y la presión de trabajo máxima permitida por medio de los esfuerzos permisibles, que esencialmente son los esfuerzos de la membrana. Los dobleces secundarios o las concentraciones de esfuerzos no se calculan. La fórmula empleada, las construcciones permitidas y los esfuerzos permisibles incluyen suficiente margen para limitar a un nivel seguro, los dobleces o los esfuerzos pico. En la Sección I, generalmente se usan factores de 4 en el esfuerzo a la tensión de 1.6 con base en el punto de cedencia. Hace varios años la Sección I y el "Comité Principal" aprobaron el uso del factor 1.5 para el punto de cedencia y apareció como revisión en la enmienda de invierno de Enero de 1980.

El Apéndice A-150 da el criterio completo para establecer los esfuerzos de la Sección I, y el primer párrafo es muy significativo ya que relaciona el uso de las experiencias exitosas para determinar los valores de los esfuerzos. Este párrafo se cita:

"En la determinación de los valores de esfuerzos permisibles para partes a presión, el Comité se guía por experiencias exitosas en servicio, siempre que se disponga de una evidente operación satisfactoria. Tal evidencia se considera equivalente a datos de pruebas donde las condiciones de operación se conocen con razonable certeza. En la evaluación de nuevos materiales, es necesario guiarse hasta cierto punto, por comparación de información de pruebas con datos similares sobre aplicaciones exitosas de materiales similares".

Esta afirmación es importante, ya que le da al Comité la oportunidad de emitir un juicio, al determinar si los valores de esfuerzos podrían o no cambiar, cuando se tienen nuevos datos de materiales con una historia de aplicaciones exitosas en las construcciones del Código, lo cual indica que un cambio en los valores de esfuerzos daría por resultado la aplicación de los factores de los datos evaluados en materiales con un buen

registro de servicio. También permite al Comité emitir un juicio al establecer los esfuerzos para las variaciones de materiales existentes o de materiales nuevos que son similares a los existentes.

A temperaturas menores del rango plástico, el esfuerzo máximo permisible no debe ser mayor de:

- 1.-  $1/4$  del esfuerzo mínimo a la tensión especificado a la temperatura ambiente.
- 2.-  $1/4$  del esfuerzo a la tensión a la temperatura.
- 3.- a).  $5/8$  del esfuerzo mínimo de cedencia especificado a la temperatura para materiales ferrosos.  
b).  $2/3$  del esfuerzo mínimo de cedencia especificado a la temperatura para materiales no ferrosos.
- 4.- a).  $5/8$  del esfuerzo de cedencia a la temperatura para materiales ferrosos.  
b).  $2/3$  del esfuerzo de cedencia a la temperatura para materiales no ferrosos.

A temperaturas en el rango plástico, el esfuerzo máximo permisible no excede el mínimo de lo siguiente:

- 1.- 100% del esfuerzo promedio para producir un rango de 0.01% cada 1000 h.
- 2.- 67% del esfuerzo promedio para producir una ruptura después de 10,000 h.
- 3.- 80% del esfuerzo mínimo para ruptura después de 1000 h.

En el rango de temperatura donde el esfuerzo a la tensión o de cedencia gobierna la determinación de los esfuerzos, los esfuerzos mayores se pueden justificar para algunos materiales no ferrosos y austeníticos cuando una ligera determinación mayor no es, en sí misma, objetable. Los esfuerzos alternativos para tales materiales y usos se proporcionan e identifican por medio de una nota de pie de página en las tablas. Al establecer estos esfuerzos, los valores pueden exceder  $5/8$ , pero no 0.90 del esfuerzo de cedencia a la temperatura. Estos esfuerzos mayores son satisfactorios para tubos, pero no se recomiendan para el diseño de bridas u otras aplicaciones sensibles a la deformación.

En la Tabla PG-23.1 del "Código de Criterios de Diseño en los U. S.- Evaluación de las propiedades de los esfuerzos" se presenta una discusión detallada de cómo se obtienen los valores de esfuerzos permisibles para estos materiales a partir de los datos de prueba.

## PG-25 FACTORES DE CALIDAD PARA LAS FUNDICIONES DE ACERO.

Este párrafo y los subpárrafos 25.1 y 25.2 proporcionan los factores de calidad que se aplican a los esfuerzos dados en PG-23.1. Un factor del 80% se puede usar a menos que los requisitos especiales de examen y reparación de PG-23.2 se cumplan, en cuyo caso se puede utilizar un factor del 100%.

A continuación se hablará de los diversos requisitos y fórmulas de diseño para establecer el espesor de las partes a presión.

## PG-27 COMPONENTES CILÍNDRICOS BAJO PRESIÓN INTERNA.

Este párrafo y sus subpárrafos abarcan componentes como tubos, domos y cabezales. En estos párrafos encontrará un uso extensivo de notas. En el párrafo 27.4 estas notas son muy importantes, por ser tanto explicativas como complementarias a las fórmulas.

En el 27.2.1, la fórmula se da para determinar el espesor de la tubería hasta e incluyendo 127 mm (5 pulg.) de diámetro exterior. Las notas (2), (4), (8) y (10) son aplicables.

En el 27.2, se indica la fórmula para tuberías, domos y cabezas y las notas (1), (3), (5), (6 a 10) son aplicables.

El párrafo 27.2.3., se aplica cuando es espesor de la parte a presión es mayor que la mitad del radio interno, y requiere que se usen las fórmulas de A-125.

Los símbolos que se utilizan para estas fórmulas se dan en el párrafo 27.3. Una vez más, se enfatiza la importancia de las notas del párrafo PG-27.4 al aplicar las fórmulas.

Uno de los aspectos más significativos en el uso de las fórmulas es la selección de los esfuerzos permisibles, "S", de las tablas de esfuerzos en el párrafo PG-23. El esfuerzo se selecciona para el material a la temperatura de operación del metal. Esto lo debe determinar el diseñador, excepto bajo las condiciones descritas en la nota (2), que da una temperatura mínima de 700°F para tubos que reciben calor.

Para calderas de tubos de agua tipo domo y para calderas de tubos de humo, los tubos que forman el hogar y los bancos de tubos, los cuales están esencialmente a temperatura de saturación, el esfuerzo permisible se selecciona para el valor de 370°C (700°F), aunque la temperatura de saturación esté considerablemente abajo de esa temperatura. Esta es una medida de seguridad que ha tenido el Código por muchos años y que da un buen margen de diseño, reconociendo que pueden depositarse ciertas incrustaciones en los tubos elevándose así la temperatura del metal arriba de la de saturación.

Para los tubos del sobrecalentador y recalentador, el metal del tubo se enfría con vapor y los cálculos de los fabricantes para determinar la temperatura máxima de metal para diseño son más complejos. Se debe considerar un margen suficiente sobre las condiciones promedio para cubrir las variaciones, tales como



combustión desbalanceada y condiciones de operación desfavorables que pueden elevar la temperatura por arriba de la normal. Las dos variables más importantes que afectan la temperatura de metal del tubo son el rango de flujo de vapor, el cual afecta la conductancia de la película de vapor, y el rango de absorción de calor, que afecta el gradiente de temperatura a través de la pared del tubo y de la película de vapor. Un ejemplo esquemático del significado de estos efectos se muestra en la Fig.

Nótese que la temperatura de la pared exterior del tubo en "B" se incrementa  $20^{\circ}\text{C}$  ( $35^{\circ}\text{F}$ ) cuando se reduce el flujo de vapor en 50% de "A". En "C" la temperatura de la pared exterior del tubo bajó  $35^{\circ}\text{C}$  ( $63^{\circ}\text{F}$ ) cuando se redujo el rango de absorción de calor a 50% de "B". El ejemplo en "D" muestra el efecto de la incrustación en el lado de vapor, y el aumento de  $15^{\circ}\text{C}$  ( $26^{\circ}\text{F}$ ) en la temperatura del metal sobre las condiciones de "A" debido a la incrustación.

El conocimiento seguro de la temperatura del metal del tubo es muy importante, cuando los tubos operan en el rango de temperatura donde los esfuerzos están calculados en función del punto de ruptura plástico del metal, en lugar de las propiedades a la tensión o a la cedencia. Un tubo de sobrecalentador que opera continuamente a una temperatura de  $50^{\circ}\text{F}$  abajo de la de diseño usada para seleccionar los valores de esfuerzo, en el Código, puede reducir su vida al ser afectada por un factor de 10 o más.

Otro de los símbolos con una nota importante de referencia es "E", eficiencia. Este aparece en las fórmulas para tubería, domos y cabezales, según se vio en una de las figuras anteriores, y en diversas fórmulas que aún no hemos discutido. Como se define en el primer renglón del párrafo de la Nota 1, la "E" representa la eficiencia de juntas soldadas longitudinales o de ligamentos entre aberturas, el que sea menor.

La segunda y tercera líneas describen cuando el factor 1.00 se puede usar, y la cuarta, cuando el factor 0.90 se debe utilizar. Estos factores se relacionan con la fabricación soldada o sin costura.

La quinta línea se relaciona con la eficiencia de los ligamentos que abarcan los párrafos PG-52 y PG-53. Esto tiene como fin proporcionar un factor para compensar la pérdida de metal disponible para contener la presión debida a las aberturas de tubos o boquillas en el domo o cabezal.

Aunque ni las notas que se aplican a las fórmulas o al símbolo "E" hacen referencia a las reglas para aberturas y compensaciones, se deben tomar en consideración los requisitos de PG-32 al PG-39 para llevar a cabo los cálculos que requiera la eficiencia de los ligamentos. Hay una relación que se debe establecer para ciertas configuraciones de conexiones de tubos o boquillas de domos para definir que el diseño se base ya sea en requisitos de refuerzo o en requisitos de eficiencia de ligamento, o posiblemente en ambos. Esta relación da al

# 1990 INCIDENT REPORT

INITIAL PART FAILURE	CAUSES							TYPE OF FAILURES							NUMBERS		
	Low Water Cutoff	Faulty Design, Fabrication or Installation	Corrosion or Erosion	Operator Error or Poor Maintenance	Burner Failure	Pressure Control Failure	Other	Burned or Overheated	Collapsed Inward	Combination Explosion	Cracked	Torn Assureds (rupture)	Leakage	Other	Accidents	Injuries	Deaths
<b>POWER BOILERS</b>																	
Tube	30	1	52	29	10	4	39	41	0	7	30	14	49	5	181	3	0
Shell	41	0	2	7	1	1	12	3	0	2	29	18	20	11	46	4	1
Drum	3	0	0	0	0	2	3	2	0	0	2	0	0	2	7	0	0
Furnace	6	2	3	4	16	0	62	11	2	0	21	6	4	6	62	18	3
Tube Sheet	24	0	2	6	8	0	108	1	0	11	84	2	2	12	108	7	0
Header	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0
Piping	0	0	1	0	2	0	5	0	1	0	1	5	1	0	8	0	0
Safety Valves	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1	1	4	6	0	0
Miscellaneous	107	2	5	18	9	7	130	16	1	19	24	7	3	183	269	9	1
														Subtotals	689	41	5
<b>STEAM AND HOT WATER STEEL HEATING BOILERS AND FIRED HOT WATER STORAGE TANKS</b>																	
Tube	59	0	31	21	1	0	41	33	0	3	29	43	54	24	131	1	0
Shell	41	3	1	7	0	2	20	23	0	12	0	5	19	20	72	6	2
Drum	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	2	3	0	0
Furnace	11	4	6	4	3	0	4	5	0	0	9	6	0	12	32	42	1
Tube Sheet	16	1	13	5	1	0	21	21	0	1	19	4	8	9	57	3	0
Header	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Piping	0	0	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0
Safety Valves	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	0	0
Miscellaneous	193	1	24	2	14	5	26	3	0	2	6	4	0	240	251	3	0
														Subtotals	557	55	3
<b>CAST IRON BOILERS</b>																	
Sections	304	22	30	72	29	11	243	28	6	8	669	37	18	9	724	4	0
Tie Rods	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Burners	0	4	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	2	6	0	1
Piping	0	1	2	0	0	0	7	0	0	0	0	6	0	4	10	0	0
Safety Valves	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Miscellaneous	281	3	18	6	11	15	60	5	2	0	2	3	32	341	387	0	0
														Subtotals	1129	4	1
<b>PRESSURE VESSELS</b>																	
Shell	0	2	140	16	0	7	37	0	6	8	171	4	31	36	246	7	2
Head	0	8	38	0	0	0	22	0	9	4	24	0	10	23	60	1	2
Attachments	0	1	0	24	0	0	5	0	0	0	30	0	0	6	31	0	1
Piping	0	0	26	5	0	0	7	0	0	0	16	0	0	19	38	1	0
Safety Valves	0	0	0	0	0	0	11	0	4	0	1	0	2	3	10	0	0
Miscellaneous	0	7	12	9	0	9	96	0	8	3	16	3	1	104	131	4	3
														Subtotals	516	13	8
														Totals	2891	113	17

This report was compiled from data submitted by National Board jurisdictional authorities and authorized inspection (insurance) agencies as of March 1, 1991. It also includes material submitted from several insurance companies that insure boilers but do not provide inspection services.

Please note when studying this compilation, that an incident may have more than a single cause, that single or multiple causes may produce single or multiple types of failures, and that a single incident may affect more than one part of a vessel. So, the total number of causes and/or types of failures will not necessarily reflect the total number of incidents.

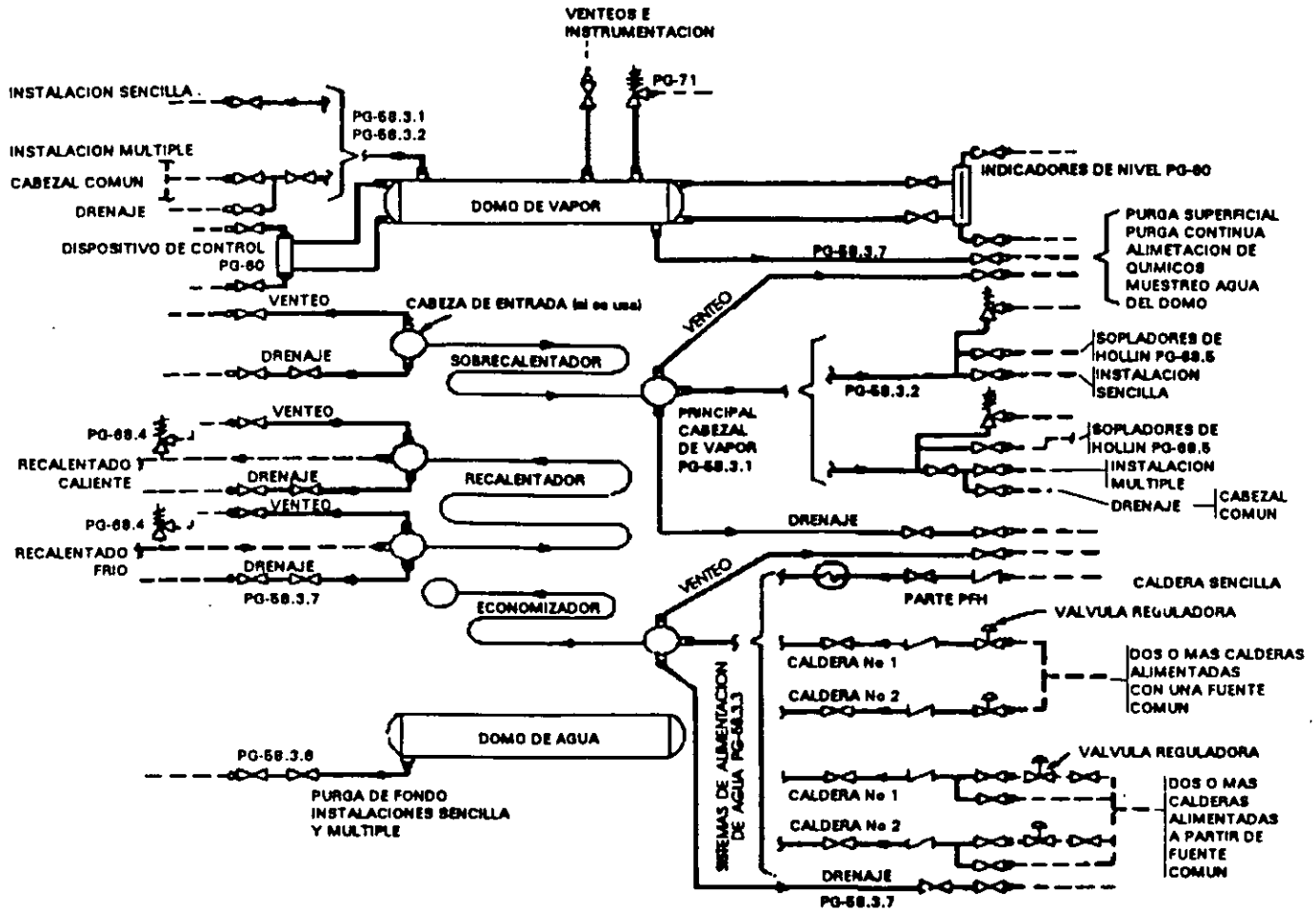


FIG. PG-58.3.1 LIMITES JURISDICCIONALES DEL CODIGO PARA TUBERIA - CALDERAS DEL TIPO DOMO

Table 3

## Nondestructive examination of shop fabricated components

Components	Required by ASME code Section 1	Additional NDE required per company standards
<b>Drums</b>		
A. Drum Plate		UT on 9" Grid
B. Longitudinal Weld Seams Circumferential Weld Seams	RT 100%, visual	MT 100% inside and outside surface of weld
C. Nozzle and Stub Attachment Weld		
1. Under 6-5/8" O.D.	visual	UT 10% minimum MT 100% outside
2. 6-5/8" O.D. up to 12-3/4" O.D.	visual	UT or RT 10% and MT 100% outside
3. 12-3/4" O.D. and Larger Nozzles	visual	UT or RT 100% and MT 100% outside
4. Downcomer connections to drum	visual	UT and RT 100% and MT finished surfaces of all welds
D. Surfaces exposed by openings for 6-5/8" diameter and larger nozzles or stubs.	visual	100% MT
<b>Headers downcomers and piping</b>		
A. Circumferential Seams		
1. Welds not in contact with furnace gases.		
a. Containing steam. Header over 16" O.D. regardless of thickness or over 1-5/8" thick regardless of O.D.	RT 100%, visual	MT 100% outside
b. Containing water. Header over 10-3/4" O.D. regardless of thickness or over 1-1/8" thick regardless of O.D.	RT 100%, visual	MT 100% outside
2. Weld in contact with furnace gases.		
a. Header over 6-5/8" O.D. regardless of thickness or over 3/4" thick regardless of O.D.	RT 100%, visual	MT 100% outside
3. Header socket welds		
a. Carbon steel thru croloy 1/2	visual	MT 10% outside
b. Croloy 1-1/4 and higher alloys	visual	MT 25% outside
4. Nozzle welds to headers		
a. Under 6-5/8" O.D.	visual	MT 100% outside
b. 6-5/8" O.D. up to 12-3/4" O.D.	visual	UT or RT 10% and MT 100% outside
c. 12-3/4" O.D. and over	visual	UT or RT 100% and MT 100% outside
5. Attachment of header end plugs and spun header ends	visual	MT 100% outside
6. Attachment of hollow end plugs using full penetration welds	visual	RT 100% and MT 100% outside
7. Flat header end plate welds	visual	UT or RT 100%
8. Base Material for flat header end plates	visual	UT
B. Surfaces exposed by openings for 6-5/8" diameter and larger nozzles or stubs	visual	100% MT
C. Handhole fittings and radiograph plug seal welds	visual	MT 100% Root Pass and Final Weld
<b>Superheater, reheater and economizer</b>		
A. Superheater and Reheater Tubing	UT or Hydro	UT 100%
B. Electric Resistance Butt Welds	visual	Destructive bend test of weld samples ( <i>minimum 2 per shift</i> )
C. Ring Butt Welds	visual	RT 2%
D. Shop hydrostatic testing of Superheater, Reheater and Economizer Sections		100%
<b>Furnace walls and screens</b>		
A. Butt Welds	visual	100% Fluoroscopy or RT 10%

Radiography (RT), Ultrasonics (UT), Magnetic Particle (MT).

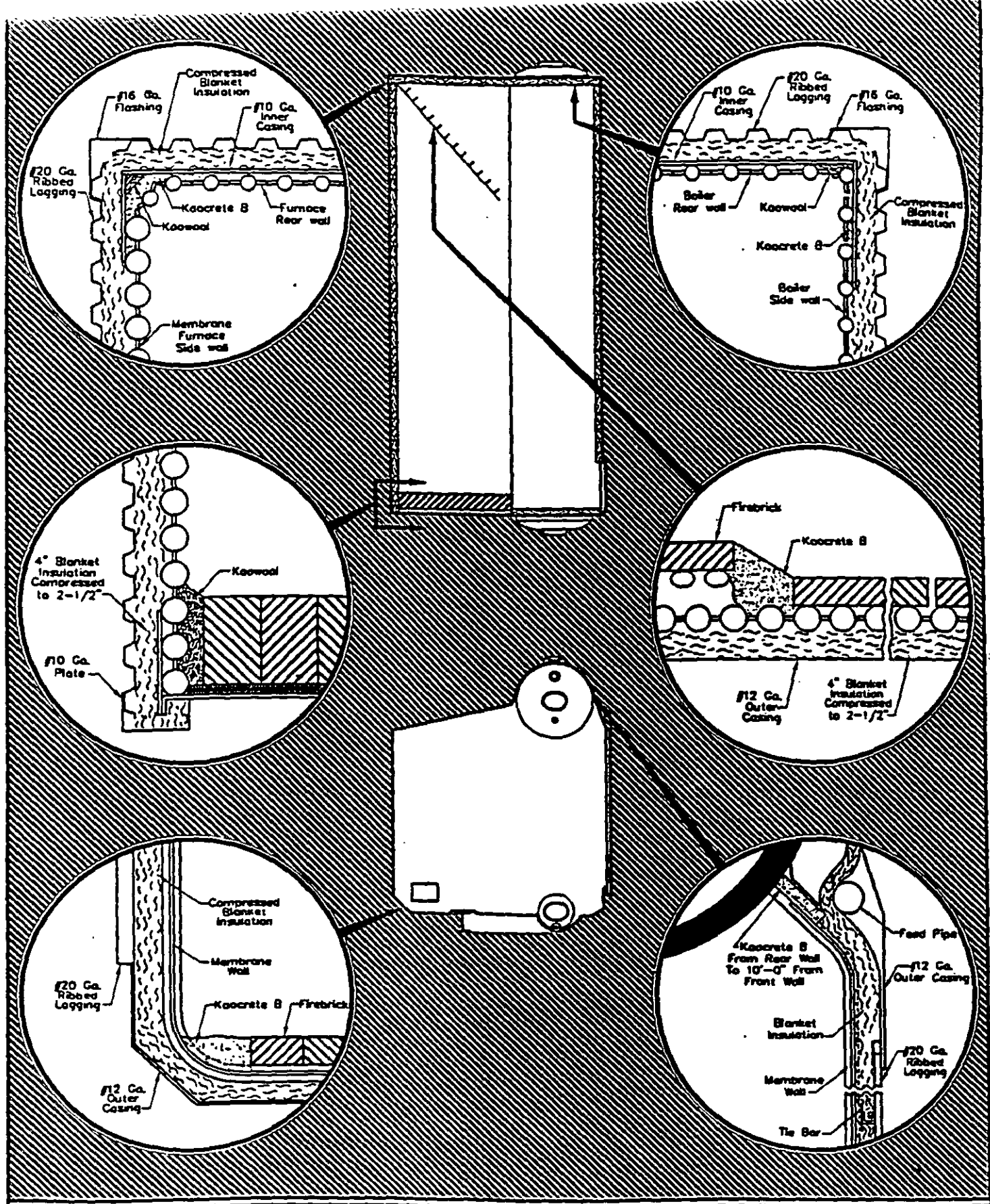
## UTILIZACION DE INSTALACIONES DE GENERACION DE VAPOR EN VARIOS GIROS INDUSTRIALES

CARACTERISTICAS DE OPERACIÓN (1)																		
	Estacional	Periódico	Continuo	Intermitente	Media - Alta	Baja - Media	Muy variable	Variable Moderada	Estable	Alto	Normal	Bajo	Altas	Medianas	Bajas	A	B	C
GIRO DE ACTIVIDAD (3)																		
<b>Aguas Envasadas</b>		•		•		•		•			•				•		•	•
<b>Alimentaria</b>		•		•	•	•	•	•		•	•				•		•	•
<b>Azúcar</b>	•				•		•					•	•					•
<b>Celulosa y Papel</b>			•	•	•		•		•			•	•	•		•	•	•
<b>Cerveza y Malta</b>			•		•		•		•			•	•		•	•		
<b>Fertilizantes</b>			•		•	•	•		•						•		•	•
<b>Manufactura</b>		•		•		•		•			•				•		•	•
<b>Petroquímica</b>			•		•		•		•			•	•		•	•		
<b>Química</b>			•	•	•		•		•			•		•		•	•	•
<b>Siderurgia</b>			•		•		•		•			•			•	•		
<b>Textil</b>		•	•			•		•			•		•		•		•	•

(1) Se muestran condiciones predominantes

(2) Para Nivel de Equipamiento ver Anexo

(3) Se muestran ramas prioritarias por uso del vapor



Typical setting details for type FM boilers  
 membrane construction

## **ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN GENERADORES DE VAPOR MEDIANTE ASME PCT 4.1.**

La norma ASME PCT 4.1. se compone de 10 secciones. La estructura de esta norma es la siguiente :

- Sección 0: Introducción.
- Sección 1: Objetivos y alcance.
- Sección 2: Simbología.
- Sección 3: Guías principales.
- Sección 4: Eficiencia por el método directo (entrada-salida).
- Sección 5: Eficiencia por el método de pérdidas de calor.
- Sección 6: Información adicional.
- Sección 7: Cálculos.
- Sección 8: Otras características de operación.
- Sección 9: Apéndice.

A continuación se analiza cada de las secciones que la componen:

Sección 0 :

### **INTRODUCCION.**

Aquí se presentan los aspectos generales de la norma ASME PCT 4.1. comenzando con la definición de Generador de Vapor y de los equipos que lo constituyen y que son las siguientes:

1. "Un generador de Vapor es una combinación de aparatos para liberar y recuperar calor, y transmitirlo a un fluido de trabajo".
2. "Un generador de Vapor puede estar compuesto por los siguientes aparatos: caldera, hogar, sobrecalentador, economizador, calentadores de aire y quemadores".

**Esta norma se complementa con otras, tales como la PTC 1 (Instrucciones generales), PTC 2 (Definiciones y valores) y PTC 19 (Instrumentos y aparatos), que se recomienda consultar para una mejor comprensión de los términos y/o procedimientos que se utilizan en las secciones subsecuentes. Así mismo, se debe estudiar detalladamente lo concerniente a la norma PTC 19, ya que los resultados de todas las pruebas dependen en gran medida de la selección y aplicación de la precisión de las lecturas.**

**Otro aspecto de vital importancia en los resultados de las pruebas, es la determinación adecuada de las propiedades del combustible empleado, por lo que se debe tener cuidado con el procedimiento seguido para su análisis de acuerdo con la norma correspondiente para cada tipo de combustible (PTC 3.1 Diesel y quemadores, PTC 3.2 combustibles sólidos y PTC 3.3 Combustibles gaseosos).**

**La norma PTC 4.1 es una guía de como llevar a cabo las pruebas de todo tipo de Generadores de Vapor, pero en algunos casos puede no ser posible aplicar todos los conceptos que se mencionan en la misma, debido a la gran variedad de diseños existentes. En cada caso, el responsable de conducir la prueba, estudiará la unidad en particular y desarrollará el procedimiento de prueba que esté más acorde con el objetivo general de esta norma.**

**Las instrucciones generales contenidas en la norma, puede aplicarse también para la prueba de calentadores de agua que manejen altas temperaturas, con la única restricción de que la determinación de la eficiencia, se realizará por el método de pérdidas de calor.**



## **Sección 1 :**

### **OBJETIVOS Y ALCANCE.**

**El propósito de la norma PTC 4.1. es establecer los procedimientos para realizar las pruebas de operación , con el fin de determinar lo siguiente:**

- a) Eficiencia del Generador de Vapor.**
- b) Capacidad del Generador de Vapor.**
- c) Otras características de operación, tales como:**
  - Temperatura del vapor**
  - Temperatura de gases de combustión**
  - Pérdidas de tiro**
  - Sólidos contenidos en el vapor**

**La determinación de cualquiera o todos los parámetros especificados puede ser necesario para propósitos tales como:**

- a) Verificar la operación actual contra la de garantía.**
- b) Comparar condiciones de operación actuales contra las condiciones normales.**
- c) Comparar diferentes condiciones o métodos de operación.**
- d) Determinar la operación de diferentes partes del Generador de Vapor.**
- e) Comparar la operación cuando se queman diferentes combustibles.**
- f) Determinar el efecto de reparaciones y/o sustituciones de algunos componentes o equipos del Generador de Vapor.**

**Para la prueba de los diferentes aparatos auxiliares, se deben consultar las normas específicas para cada caso.**

**Las instrucciones para las pruebas de determinación de la eficiencia de los Generadores de Vapor se dan por dos métodos; el primero, es el de la medición directa de las entradas o suministros y las salidas de calor. El otro método, es a través de la medición de las pérdidas de calor, debiendo especificarse claramente en el reporte de la prueba el método que se empleó.**

Los suministros o entradas de calor se definen como el calor en el combustible, más el calor agregado al fluido de trabajo, aire y/o gases que atraviesan la frontera del Generador de Vapor, tal como se muestra en la figura 4.1

La salida de calor se define como el calor absorbido por el fluido o fluidos de trabajo.

El calor suministrado, es definido como aquellas otras cantidades de calor agregadas en los límites del Generador de Vapor, además del poder calorífico del combustible, tal y como se observa en la figura 2 y son: calor sensible en el combustible y el aire, vapor de atomización, la energía consumida por el sistema de pulverización (cuando se trata de combustible sólido), por los ventiladores de aire forzado, por la bomba de recirculación y por ventiladores de recirculación.

La eficiencia de un Generador de Vapor determinada por medio de esta norma, es la eficiencia bruta y está definida como la relación del calor absorbido por el fluido de trabajo al calor suministrado.

Esta norma no podrá aplicarse cuando las pruebas se realicen quemando dos o más combustibles al mismo tiempo.

## Sección 2 :

### SIMBOLOGIA.

En esta sección se incluye la descripción de la simbología y unidades empleadas en la norma ( se utiliza el sistema inglés de unidades) .

Con la ayuda del diagrama de la figura 1, se pueden localizar todos los puntos de interés del Generador de Vapor, que en un momento dado servirán para las tomas de lecturas, aunque esto no es obligatorio, ya que dependiendo del tamaño del

**Generador de Vapor, en algunos casos no es posible contar con toda la instrumentación que se considera en esta norma.**

**La simbología se explica en la sección de cálculos conforme aparecen los términos en las diferentes ecuaciones.**

**Una prueba se define como el procedimiento completo para obtener el comportamiento del Generador de Vapor, y una corrida es el conjunto completo de observaciones realizadas durante un periodo de tiempo, en donde una o más de las variables de operación se mantienen constantes.**

### **Sección 3**

#### **GUIAS PRINCIPALES.**

**La sección de guías principales contiene la información respecto a los principales aspectos que deben tomarse en cuenta para la prueba del Generador de Vapor, y que son :**

- a) Método de prueba ( directo o de pérdidas)**
- b) Cantidad de calor suministrado no medido, pero que se estima mediante un porcentaje.**
- c) Pérdidas de calor que serán medidas.**
- d) Pérdidas de calor no medidas pero que se estiman mediante un porcentaje.**
- e) Selección del personal que conducirá la prueba.**
- f) Establecimiento de las condiciones de operación, cargas a las que se tomarán lecturas y duración de la prueba.**
- g) Combustible empleado, método de obtención de muestras del combustible para su análisis y selección del laboratorio que se encargará de hacer el análisis.**
- h) Instrumentación empleada, calibración de los instrumentos y otros equipos a ser usados, así como el método de medición de los mismos .**
- i) Tolerancias y límite de error en las mediciones.**

La norma ASME PTC 4.1, no incluye consideraciones de todas las tolerancias, o márgenes de garantía de operación. Los resultados serán reportados como calculados de las observaciones de las pruebas, con las correcciones pertinentes por calibración.

El límite de error probable en el cálculo de la eficiencia de los Generadores de Vapor, será tomado como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores individuales.

En la tabla 1. Se muestra el efecto en la eficiencia de los errores de medición. Los valores de ésta son aproximados y se han obtenido a través de la experiencia, por lo que su uso está restringido, ya que no está oficialmente aceptada. Sin embargo, estos valores se ajustan con bastante precisión a los encontrados durante las pruebas, por lo que dan una clara idea como afectan en la determinación final de la eficiencia. Esta tabla se compone de dos partes : La primera, para el método directo, y la segunda, para el método de pérdidas.

Las principales recomendaciones que se dan en esta sección son las siguientes :

### 3.1 Pruebas de aceptación.

Una prueba de aceptación se llevará a cabo, tan pronto como la unidad se encuentre en condiciones aptas para la misma, lo cual será determinado por las partes interesadas.

La persona designada para dirigir la prueba, servirá como arbitro en eventuales disputas o para aclaraciones sobre las condiciones o métodos de operación, precisión de las observaciones, etc.

**Tabla 1. Errores de medición probables y su influencia en el cálculo de la eficiencia.**

**a) Método Directo**

Medición	Error en la medición (%)	Error en el cálculo de la Eficiencia (%)
1) Tanques de pesado (calibrados)	$\pm 0.10$	$\pm 0.10$
2) Tanques volumétricos (calibrados)	$\pm 0.25$	$\pm 0.25$
3) Toberas u orificios para flujos, incluyendo manómetro	$\pm 0.35$	$\pm 0.35$
4) Toberas u orificios para flujos, incluyendo registrador	$\pm 0.55$	$\pm 0.55$
5) Básculas de carbón (continua o intermitente (calibradas)	$\pm 0.25$	$\pm 0.25$
6) Toberas u orificios para flujos, incluyendo manómetro. No calibrado	$\pm 1.25$	$\pm 1.25$
7) toberas u orificios para flujos, incluyendo registrador. No cal.	$\pm 1.60$	$\pm 1.60$
8) Poder calorífico del combustible (carbón)	$\pm 0.50$	$\pm 0.50$
(gas y combustóleo)	$\pm 0.35$	$\pm 0.35$
9) Flujo recalentado (basado en los cál. balance térmico)	$\pm 0.60$	$\pm 0.10$

10) Temperatura a la salida del sobrecalentador (instrumentación calibrada)	$\pm 0.25$	$\pm 0.15$
11) Presión a la salida del sobrecalentador (instrumentación calibrada)	$\pm 1.00$	$\pm 0.00$
12) Temperatura de entrada y salida del recalentador (instrumentación calibrada)	$\pm 0.25$	$\pm 0.10$
13) Presiones de entrada y salida del recalentador (instrumentación calibrada)	$\pm 0.50$	$\pm 0.00$
14) Temperatura del agua de alimentación (instrumentación calibrada)	$\pm 0.25$	$\pm 0.10$

**b) Método de Pérdidas**

Medición	Error en la medición (%)	Error en el cálculo de la Eficiencia (%)
1) Poder calorífico del combustible (carbón)	$\pm 0.50$	$\pm 0.03$
(gas y combustóleo)	$\pm 0.35$	$\pm 0.02$
2) Análisis de Orsat	$\pm 3.00$	$\pm 0.30$
3) Temperatura de gases de combustión (instrumentación calibrada)	$\pm 0.50$	$\pm 0.02$

<b>4) Temperatura del aire para la combustión (instrumentación calibrada)</b>	<b>± 0.50</b>	<b>± 0.00</b>
<b>5) Análisis del combustible (carbón )</b>	<b>±1.00</b>	<b>±0.10</b>
<b>(hidrógeno)</b>	<b>± 1.00</b>	<b>± 0.10</b>
<b>6) Humedad del combustible</b>	<b>± 1.00</b>	<b>± 0.00</b>

### 3.2 Preparación de las pruebas

El Generador de Vapor se revisará para verificar si existen fugas, y cuando así sea, deberán corregirse.

Cualquier desviación de las condiciones previamente especificadas sobre el estado del equipo, limpieza de las superficies de transmisión de calor, características del combustible o variaciones en la carga, serán descritas en el reporte de la prueba.

### 3.3. Pruebas preliminares

Los objetivos de las pruebas preliminares son :

- a) Verificar la operación de todos los instrumentos
- b) Entrenamiento del personal encargado de la prueba
- c) Realizar los últimos ajustes
- d) Establecer las condiciones adecuadas de combustión para el tipo de combustible usado.

### 3.4 Inicio de la Prueba

Se deberán mantener lo más estables que sea posible, desde el inicio, y hasta el final de la prueba, las siguientes variables :

- a) Condiciones de combustión
- b) Nivel de agua

**c) Exceso de aire**

**d) Cualquier variable que pueda afectar los resultados de la prueba, tales como presiones y temperaturas.**

**En algunos casos puede ser necesario detener una prueba antes de concluirla, debido a que sea imposible mantener estables las condiciones iniciales.**

### **3.5 Duración de pruebas.**

**Para unidades que queman carbón, usando pulverizadores, como por ejemplo, en el caso de los quemadores tipo ciclón, la prueba no tendrá una duración menor de 4 horas, cuando se lleve a cabo empleando el método directo. Cuando se emplean alimentadores mecánicos, la prueba tendrá una duración de 24 horas de preferencia. Pero no menos de 10 horas. Cuando se emplea el método de pérdidas de calor, la duración de la prueba no será menor de 4 horas.**

**Para unidades que queman combustibles líquidos o gaseosos, las pruebas no tendrán una duración menor de 4 horas. Lo mismo que en el caso de las calderas de recuperación, para ambos métodos.**

**En el reporte se debe especificar claramente la duración real de la prueba.**

### **3.6 Curvas de rendimiento.**

**Se recomienda, aunque no es obligatorio, que las pruebas se realicen cuando menos en 4 condiciones diferentes de operación, para que las curvas de rendimiento puedan ser dibujadas para los puntos de pruebas respectivos.**



### 3.7 Frecuencia de las lecturas.

Las lecturas se tomarán con intervalos de 15 minutos, pero si existen fluctuaciones, se puede variar esta frecuencia.

### 3.8 Instrumentos de medición.

Para información acerca de los instrumentos necesarios para realizar la mediciones, se recomienda consultar las normas respectivas, tales como la: PTC 19.1 (Consideraciones generales), PTC 19.2 (Mediciones de presión), PTC 19.3 (Mediciones de temperatura), PTC 19.10 (Análisis de los gases de combustión), etc..

## SECCIÓN 4

### EFICIENCIA POR EL MÉTODO DIRECTO. (entrada y salida)

Este método está basado en la relación entre el aprovechamiento de calor y la suma del combustible y calores suministrados. Para la aplicación del método directo, se requiere la medición de la cantidad de combustible quemado, de su poder calorífico y del calor absorbido por el fluido o fluidos de trabajo.

La eficiencia de un Generador de Vapor, por este método, se expresa como sigue :

$$\eta_g = \frac{\text{Calor aprovechado}}{\text{Calor suministrado}} \times 100 \text{ [\%]} \quad (1)$$

o bien :

$$\eta_g = \frac{\text{Calor absorbido por el fluido de trabajo}}{\text{Calor del combustible} + \text{Calores suministrados}} \times 100 \text{ [\%]} \quad (2)$$

Siendo :

$\eta_g$  : Eficiencia del Generador de Vapor [%]

**La determinación del calor suministrado, se efectúa de acuerdo con los siguientes métodos :**

#### **4.1 Combustibles sólidos**

**La cantidad de combustible se determinará pesándolo en el punto lo más cercano posible al punto donde se quemará, y tomando en cuenta todas las pérdidas que existan entre el punto donde se pesó y el punto de introducción al Generador de Vapor.**

**Se debe obtener una muestra representativa del combustible, de acuerdo con los procedimientos marcados en las normas ASME PTC 3.2 y ASTM D 271, para determinar su poder calorífico.**

**El poder calorífico determinado de acuerdo a las normas anteriores es a volúmen constante, pero ya que éste es quemado dentro del Generador de Vapor a presión constante, este valor determinado en laboratorio a través de la bomba calorimétrica, debe convertirse a presión constante (ver sección 7 cálculos). Cuando la prueba del Generador de Vapor se realiza por el método directo, solamente se requiere conocer el valor del Poder Calorífico del combustible y la humedad contenida en él.**

#### **4.2 Combustibles líquidos**

**Se recomienda el empleo de tanques de pesado calibrados, pero de no ser posible, entonces se emplearán tanques volumétricos calibrados.**

**Se deben tomar en cuenta las pérdidas que existen entre el punto de medición y el punto donde se quema el combustible. Las muestras de combustible se obtendrán de acuerdo con los procedimientos señalados en la norma ASME PTC 3.1. Se debe considerar que la determinación del Poder Calorífico, al igual que en los combustibles sólidos, se realiza a volumen**

constante, por lo que hay que hacer las mismas consideraciones al respecto.

#### **4.3 Combustibles gaseosos**

La medición de los volúmenes de un combustible gaseoso en las pruebas de los Generadores de Vapor, requiere del uso de placas de orificio, toberas o tubos venturi.

Se deben seguir las recomendaciones de la norma PTC 19.5, para el diseño, construcción, calibración y uso de los elementos de medición, así como para su localización e instalación.

En la medición del volumen de combustible gaseoso, debe ponerse atención en que no existan fluctuaciones de flujo, tales como las originadas por el uso de equipos recíprocos.

El análisis del combustible y la determinación de su poder calorífico se realizarán de acuerdo a la norma PTC 3.3.

#### **4.4 Calores suministrados**

Los calores suministrados serán determinados por los flujos másicos respectivos, multiplicados por la diferencia de entalpia, o por la conversión a unidades térmicas si se trata de energía eléctrica.

La medición de los flujos de entrada o de salida se realizará por los métodos siguientes :

##### **a) Medición del Flujo de vapor.**

La cantidad del flujo de vapor principal puede ser determinado por medio de toberas o placas de orificio. Todas las pérdidas que puedan afectar los resultados de las mismas, deberán ser eliminadas, y si no es posible, deberán tomarse en cuenta en las mediciones.

## **b) Temperatura de vapor y agua de alimentación**

La temperatura del vapor sobrecalentado será medida tan cerca como sea posible de la salida del sobrecalentador y/o recalentador, con el fin de disminuir las pérdidas de calor; asimismo, la temperatura del agua de alimentación será medida tan cerca como sea posible de la entrada del economizador.

Dada la importancia de las temperaturas del vapor y del agua de alimentación se recomienda que se tomen en dos puntos diferentes.

## **c) Humedad del vapor.**

La humedad del vapor a la temperatura de saturación, será medida con un calorímetro, y su construcción, instalación y operación deberá estar de acuerdo con la norma PTC 19.11.

## **d) Presiones del vapor y agua de alimentación.**

Los manómetros para medir la presión, se deben localizar en lugares donde no puedan ser afectados por calor excesivo o vibraciones, y colocados en posiciones convenientes para facilitar su lectura.

## **SECCIÓN 5**

### **EFICIENCIA POR EL MÉTODO DE PÉRDIDAS DE CALOR.**

Este método se basa en la precisión y más completa información que se pueda obtener durante las pruebas, para calcular todas las pérdidas y calores suministrados que influyen en la eficiencia.

El cálculo de la eficiencia por éste método, se expresa como :

$$\eta_g = 100 - \left[ \frac{\text{Pérdidas de calor} \times 100}{\text{Calor del combustible} + \text{Calores suministrados}} \right] [\%] \quad (3)$$

Los datos requeridos para aplicar éste método son los siguientes :

- a) Análisis del combustible.
- b) Composición o análisis de los gases de combustión (Contenido de CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y otros gases de combustión).
- c) Temperatura de los gases de combustión.
- d) Temperatura del aire suministrado para la combustión.
- e) Combustible sin quemar arrastrado por los gases de combustión.
- f) Combustible sin quemar en los colectores de polvo.
- g) Combustible sin quemar en los residuos del foso de escorias.
- h) Temperatura del combustible suministrado en el punto de entrada al Generador de Vapor.
- i) Temperatura, presión y cantidad de cualquier medio empleado para la operación del Generador de Vapor, como son bombas de agua, vapor de atomización y agua de enfriamiento.
- j) Humedad del aire suministrado para la combustión.
- k) Radiación.
- l) Calor sensible en el flujo de partículas arrastradas por los gases de combustión.
- m) Pérdidas de calor en el foso de escorias.
- n) Calor rechazado en los pulverizadores.
- o) Energía eléctrica para la operación de los ventiladores de recirculación de gases, bombas de agua de circulación del Generador de Vapor, ventiladores de aire primario y pulverizadores.

A continuación se explican los procedimientos que se siguen para obtener algunos de los datos anteriores :

- a) Análisis del combustible.

**El contenido de los elementos componentes del combustible es determinado en porcentaje en peso, o porcentaje en volumen del combustible quemado.**

**b) Análisis de los gases de combustión.**

**Se requiere de un análisis de Orsat de los gases de combustión a la salida del Generador de Vapor. Generalmente, para el análisis se toman muestras en los puntos 15,14 o 12 de acuerdo con la figura 1. (Salida del calentador de aire, salida del economizador o salida de la caldera), aunque algunas veces se requiere hacer un análisis de los gases en otros puntos.**

**Puede existir variación con respecto a las lecturas tomadas en la chimenea debido principalmente a la estratificación e infiltración de aire. Para obtener resultados representativos se divide la sección transversal para el ducto en áreas iguales, cuyo número depende del tipo y configuración del ducto ; las áreas serán aproximadamente cuadradas y los puntos de muestreo no estarán separados por más de 3 pies, debiendo usarse no menos de cuatro puntos de muestreo.**

**c) Medición de la temperatura del aire y de los gases de combustión.**

**Se requiere medir la temperatura de los gases de combustión a la salida del Generador de Vapor. Esta se medirá en los mismos puntos y siguiendo el mismo procedimiento que se siguió para la toma de las muestras de gases de combustión.**

**Se requiere la determinación de las temperaturas del aire primario, secundarios y temperatura del aire a la entrada y salida del precalentador de aire.**

**d) Residuos.**

**El método de pérdidas de calor requiere la determinación de las pérdidas de calor del combustible sin quemar en los residuos o desechos. Lo más difícil es la determinación**

precisa de la cantidad de residuos descargados o removidos de la unidad. En algunas instalaciones es impráctico o imposible coleccionar y pesar los residuos ; en tal caso, será necesario determinar la cantidad de residuos por volumen o por diferencia, en un balance, teniendo cuidado de incluir todos los residuos descargados o removidos de la unidad, excluyendo todos los que son retornados para su combustión posterior. Asimismo, se debe tomar en cuenta el tiempo requerido para que los residuos pasen del hogar al punto de descarga.

Los residuos coleccionados en varios puntos de la unidad, serán pesados separadamente y de preferencia en estado seco. La humedad contenida en los residuos, se determina por análisis de laboratorio, así como el contenido de combustible y su poder calorífico.

e) Humedad del aire.

La humedad contenida en el aire de combustión, puede determinarse con la ayuda de un sicrómetro o aparato similar. Las temperaturas de bulbo seco y húmedo, se determinan del aire atmosférico a las condiciones de entrada de la unidad.

f) Radiación y pérdidas en el foso de escorias.

Las pérdidas de calor por radiación se determinan en forma aproximada con el uso de la gráfica 8. Para medir las pérdidas de calor por radiación en una instalación cualquiera, se requiere una extensa instalación de termopares sobre diversas áreas seleccionadas, por lo que resultaría muy complicado hacerlo directamente. Se ha demostrado que los cálculos con la figura 8, son conservadores.

Parte del calor liberado en el hogar es transmitido al foso de escorias por radiación y es perdido como calor sensible en las cenizas removidas del mismo. Cuando estas pérdidas en el foso de escorias no pueden ser determinadas por mediciones directas, no se calculan como pérdida individual, sino se

**incluyen como parte de las pérdidas de radiación y convección de las superficies.**

## **SECCIÓN 6**

### **INFORMACIÓN ADICIONAL.**

#### **6.1 Determinación del consumo de energía de los auxiliares a vapor.**

**Para determinar el consumo de energía de los equipos auxiliares operados con vapor, incluidos dentro de los límites de la frontera del Generador de vapor, se requiere disponer de la siguiente información:**

- a) Flujo de vapor**
- b) Presiones de vapor a la entrada y salida**
- c) Temperaturas.**
- d) Calidad del vapor.**

#### **6.2 Determinación del consumo de energía eléctrica de auxiliares.**

**La determinación del consumo de energía eléctrica de los equipos auxiliares, se hará de acuerdo con la norma PTC 19.6, y en la determinación del calor equivalente de los auxiliares, el equipo deberá operarse tan cerca de sus condiciones de diseño como sea posible.**

#### **6.3 Eficiencia neta.**

**La eficiencia neta del Generador de Vapor, está fuera del alcance de esta norma, sin embargo como información adicional se incluyen algunas consideraciones al respecto.**

**La eficiencia neta es el calor absorbido por el fluido de trabajo, dividido por el calor total en el combustible más calores suministrados, calor equivalente de los auxiliares externos a la**



unidad, y el calor equivalente de las pérdidas de la operación de los equipos auxiliares dentro de los límites del sistema.

Los equipos externos a las fronteras del Generador de Vapor, que deben tomarse en cuenta en la determinación de la eficiencia neta pueden ser los siguientes:

- a) Ventiladores de tiro forzado
- b) Ventiladores de tiro inducido
- c) Ventiladores de recirculación de aire
- d) Sopladores de hollín
- e) Equipo de manejo de cenizas
- f) Precipitadores eléctricos.
- g) Controles de accionamiento
- h) Sistemas de manejo de combustible
- i) Bombas de combustible
- j) Sistemas de preparación de carbón
- k) Agua de enfriamiento.

En el cálculo de la eficiencia neta, además de considerar el calor equivalente de los equipos externos mencionados anteriormente, también deben considerarse las pérdidas por la operación de los auxiliares dentro de las fronteras del Generador de Vapor, tales como: motores, turbinas y acoplamientos eléctricos e hidráulicos, que están asociados a los siguientes equipos:

- a) Pulverizadores.
- b) Molinos
- c) Bombas de vacío
- d) Ventiladores de recirculación de gases.
- e) Calentadores de aire.

## SECCIÓN 7

### CALCULOS

Los siguientes procedimientos de cálculo son para determinar la eficiencia bruta de un Generador de Vapor por los métodos directo y de pérdidas de calor.

### 7.1 Eficiencia por el método directo.

$$\eta_g = \frac{\text{Salidas (calor aprovechado)}}{\text{Suministros (calor suministrado)}} \times 100 \quad (1)$$

Salida : Se define como el calor aprovechado por el fluido de trabajo (figura 1 y 2)

Suministros : Es el poder calorífico en el combustible, más calores suministrados al fluido de trabajo (figuras 1 y 2).

El cálculo correspondiente se realiza por la siguiente expresión: --

$$\eta_g = \left[ \frac{W_{se31} (h_{s32} - h_{w24}) + W_{we25} (h_{s32} - h_{w25}) +}{(H_f \times W_{fe}) + B_e} \right. \\ \left. + \frac{W_{se33} (h_{s34} - h_{s33}) + W_{we26} (h_{s34} - h_{w26}) +}{(H_f \times W_{fe}) + B_e} \right. \\ \left. + \frac{W_{we35} (h_{w35} - h_{w24})}{(H_f \times W_{fe}) + B_e} \right] \times 100 \quad (4)$$

Para generadores de Vapor con bombas de recirculación, se debe agregar a la ecuación (4), el siguiente término :

$$\frac{W_{we48} (h_{w48} - h_{w47}) + (W_{we47} - W_{we48}) \times (h_{w24} - h_{w47})}{(H_f \times W_{fe}) + B_e} \quad (5)$$

donde :

$\eta_g$	Eficiencia bruta	[%]
$W_{se31}$	Flujo de vapor que entra al sobrecalentador	[lb/hr]
$W_{se33}$	Flujo de vapor recalentado	[lb/hr]
$W_{we25}$	Flujo de agua de atomización al sobrecalentador.	[lb/hr]
$W_{we26}$	Flujo de agua de atomización al recalentador	[lb/hr]
$W_{we35}$	Flujo de agua de purgas	[lb/hr]
$W_{we47}$	Flujo de agua de inyección a la bomba	[lb/hr]
$W_{we48}$	Flujo de agua de fugas en la bomba	[lb/hr]
$h_{s32}$	Entalpía del vapor a la salida del sobrecalentador	[Btu/lb]
$h_{s33}$	Entalpía del vapor a la entrada del recalentador	[Btu/lb]
$h_{s34}$	Entalpía de vapor a la salida del recalentador	[Btu/lb]
$h_{w24}$	Entalpía del agua de alimentación a la entrada de la unidad	[Btu/lb]
$h_{w25}$	Entalpía del agua de atomización del isobrecalentador	[Btu/lb]
$h_{w26}$	Entalpía del agua de atomización del recalentador	[Btu/lb]
$h_{w35}$	Entalpía del agua purgas	[Btu/lb]
$h_{w47}$	Entalpía del agua de inyección	[Btu/lb]
$h_{w48}$	Entalpía del agua de fugas	[Btu/lb]
$W_{fe}$	Consumo de combustible	[lb/hr]
$H_f$	Poder calorífico superior del combustible, obtenido del análisis del laboratorio, que debe ajustarse a las condiciones de combustión en el Generador de Vapor, considerando su contenido de humedad.	[Btu/lb]

$$H_f = H_f' \left( \frac{100 - m_f}{100} \right) \quad (6)$$

donde :

$H_f'$  : Poder calorífico superior del combustible obtenido por análisis de laboratorio (base seco) [Btu/lb]

$m_f$  : Porcentaje de humedad contenida en el combustible, determinada por análisis de la muestra. [%]

Cuando el poder calorífico se obtiene a volumen constante, se debe convertir a presión constante, como sigue :

$$H_{fp} = H_{fv} + \frac{\Delta\Psi R_u T}{778.2} = H_{fv} + \Delta\Psi \frac{1545 \times 537}{778.2} \quad (7)$$

$$H_f = H_{fv} + \Delta\Psi 1066 = H_{fv} + \frac{1066}{4.032} H = H_{fv} + 264.4 H \quad (8)$$

donde :

$H_{fp}$  : Poder calorífico superior del combustible a presión constante [Btu/lb]

$H_{fv}$  : Poder calorífico superior del combustible a volumen constante [Btu/lb]

$\Delta\Psi$  : lb mol de oxígeno removido en la reacción, por la condensación del vapor de agua formado [lb mol/lb]

$$\Delta\Psi = \frac{H}{2 \times 2.016} = \frac{H}{4.032} \quad (9)$$

donde :

**H** = lb de hidrógeno contenido en la humedad del combustible, por lb de combustible quemado, determinado por análisis de laboratorio. [lb/lb c]

**R<sub>u</sub>** : Constante universal de los gases (1545 [ft lb/lb mol° R ] )

**T** : Temperatura standar del calorímetro (537 [ °R ] )

778.2 : (ft lb Btu) Equivalente mecánico del calor

Si se emplean combustibles sólidos o líquidos, el peso es determinado por medición directa. Pero cuando se emplean combustibles gaseosos, se debe convertir el volumen medido a peso, para lo que se emplea la siguiente expresión.

$$W_{fe} = Q_{fe} \times \gamma_f \quad (10)$$

**Q<sub>fe</sub>**: Consumo de combustible gaseosos quemado.

**γ<sub>f</sub>**: Peso específico del combustible. Puede obtenerse por medio de tablas, de la Asociación Americana de Gas, y corregirse a 68 F.

### 7.1.1 Calores Suministrados

$$B_e = B_{ae} + B_{ze} + B_{fe} + B_{xe} + B_{m_{ae}} \quad (11)$$

**B<sub>e</sub>** : Calor total suministrado, definido como aquellas cantidades de calor suministradas al Generador de Vapor, diferentes del Poder calorífico superior del combustible. (figura 2.)  
[Btu/hr]

**B<sub>ae</sub>** : Calor suministrado al aire por los calentadores aire-vapor  
[Btu/hr]

**B<sub>ze</sub>** : Calor suministrado por el vapor de atomización cuando la fuente es externa al Generador de Vapor  
[Btu/hr]

**B<sub>fe</sub>** : Calor sensible suministrado por el combustible [Btu/hr]

**B<sub>xe</sub>** : Calor suministrado por los equipos auxiliares dentro de las fronteras del Generador de Vapor [Btu/hr]

**B<sub>mAe</sub>** : Calor suministrado por el calor sensible de la humedad que entra del aire [Btu/hr]

7.1.1.1. : Calor suministrado al aire por los calentadores aire-vapor.

$$B_{Ae} = (W_{A'} - W_{A5}) \times W_{fe} \times C_{pA} [t_{A7, A8} - t_{RA}] + \\ + W_{A5} \times W_{fe} \times C_{pA} [t_{A5} - t_{RA}] \quad (12)$$

donde :

**W<sub>A</sub>** : Flujo de aire seco por lb de combustible quemado (relación aire-combustible). [lb/lb c]

**W<sub>A5</sub>** : Flujo de aire de atemperación para el pulverizador. [lb/lb c]

**C<sub>pA</sub>** : Calor específico del aire seco a la temperatura que entra al Generador de vapor. Se calcula con la gráfica 5. [Btu/lb F]

**t<sub>A7,A8</sub>** : Temperatura del aire a la entrada del Generador de Vapor. Si la unidad cuenta con calentadores de aire después del calentador principal (figura 1), y el aire es suministrado de una fuente externa al Generador de Vapor, la temperatura de entrada será (t<sub>A8</sub>) . Pero si se trata de aire recirculado directamente del Generador, la temperatura del aire se tomará como (t<sub>A7</sub>) [°F]

**t<sub>RA</sub> : Temperatura de referencia del aire**

**[59°F]**

**t<sub>A'5</sub> : Temperatura del aire suministrado del cuarto de máquinas ó de la descarga del ventilador de tiro forzado para atemperación del pulverizador [°F]**

$$W_{A'} = \left( \frac{W_{C'} N_2 - N}{0.7685} \right) \quad (13)$$

donde :

**W<sub>C'</sub> N<sub>2</sub> : Contenido de Nitrógeno en gases de combustión, por lb de combustible quemado [lb/lb c]**

**N : Contenido de Nitrógeno en el combustible, por lb de combustible quemado [lb/lb c]**

$$W_{C'} N_2 = \frac{W_{C'} \times 28.02 N_2}{44.01 CO_2 + 32.00 O_2 + 28.02 N_2 + 28.01 CO} \quad (14)$$

$$W_{C'} = \frac{44.01 CO_2 + 32.00 O_2 + 28.02 N_2 + 28.01 CO}{12.1 (CO_2 + CO)} \times \frac{(C_b + 12.01 S)}{32.07} \quad (15)$$

**W<sub>C'</sub> : Flujo de gases secos de combustión, por lb de combustible quemado. [lb/lb/ c]**

**CO<sub>2</sub> : Porcentaje en volumen de CO<sub>2</sub> en gases de combustión [%]**

**O<sub>2</sub> : Porcentaje en volumen O<sub>2</sub> en gases de combustión [%]**

**CO : Porcentaje en volumen de CO en gases de combustión [%]**

**N<sub>2</sub>**: Porcentaje en volumen de nitrógeno en gases de combustión. Determinado por diferencia del total de CO<sub>2</sub>, CO y O<sub>2</sub> del 100% [ % ]

**C<sub>b</sub>**: Cantidad de carbono del combustible que se quema [lb/lbc]

**S**: Contenido de azufre en el combustible [lb/lbc]

Sustituyendo los términos anteriores se tiene :

$$WC'N_2 = \frac{28.02 N_2}{12.1 (CO_2 + CO)} \left( \frac{C_b + 12.01 S}{32.07} \right) \quad (16)$$

$$C_b = C - \frac{Wd'p' - Hd'p'}{14500} \quad (17)$$

donde :

**C**: Contenido de carbono en el combustible, determinado por análisis de laboratorio [lb/lb c]

**W<sub>d'p'</sub>**: lb de residuos totales secos, por lb de combustible quemado [lb/lb c]

**H<sub>d'p'</sub>**: Poder calorífico total de los residuos secos, determinado por análisis del laboratorio [Btu/lb]

**14500**: Poder calorífico de 1 lb de carbono tal y como se encuentra en los residuos [Btu/lb]

7.1.1.2. Calor suministrado por el vapor de atomización cuando la fuente es externa al Generador de Vapor.

$$B_{ze} = W_{ze} ( h_{z42} - h_{rv} ) \quad (18)$$



donde :

**W<sub>ze</sub>**: Flujo de vapor de atomización [lb/hr]

**h<sub>z42</sub>**: Entalpía del vapor de atomización a las condiciones de presión y temperatura en el punto de medición [Btu/lb]

**h<sub>RV</sub>**: Entalpía del vapor saturado a la temperatura de referencia [Btu/lb]

7.1.1.3 Calor suministrado por el calor sensible del combustible

$$B_{fe} = W_{fe} \times C_{pf} (t_{f1,3,4} - t_{RA}) \quad (19)$$

**C<sub>pf</sub>**: Calor específico del combustible. Se puede usar un valor de 0.3 Btu/lb F para carbón. Para combustóleo se obtiene de la figura 4.2, y para gas de la figura 3 [Btu/lb °F]

**t<sub>f1</sub> ó t<sub>f3</sub>**: Temperatura de entrada del combustible (figura 1)

7.1.5 Calor suministrado por los equipos auxiliares dentro de la frontera del Generador de Vapor.

$$B_{xe} = W_{sxe} (h_{sx} - h_{ix}) \eta_x \quad (20)$$

donde :

**W<sub>sxe</sub>**: Consumo de vapor de auxiliares [lb/hr]

**h<sub>sx</sub>**: Entalpía del vapor suministrado para operar los auxiliares [Btu/lb]

**$h_{ix}$**  : Entalpía a las condiciones de presión de salida y entalpía de entrada del vapor para operar los auxiliares [Btu/lb]

**$\eta_x$**  : Eficiencia global de operación de los auxiliares, que incluye turbina y eficiencia de acoplamientos [%]

Quando se trata de auxiliares que emplean energía eléctrica :

$$B_{xe} = 3413 \times (\text{KWh}) \eta_x \quad (21)$$

donde :

**$\eta_x$**  : Eficiencia global de operación de auxiliares, que incluye eficiencias de motores y acoplamientos eléctricos e hidráulicos [%]

7.1.5.1 Calor suministrado por el calor sensible de la humedad del aire.

$$B_{mAe} = W_{mA'} \cdot W_{A'e} \cdot C_{ps} (t_{A7, A8} - t_{RA}) \quad (22)$$

$$W_{A'e} = W_{A'} \times W_{fe} \quad (23)$$

donde :

**$W_{mA'}$**  : Contenido de humedad por lb de aire seco [lb/lb]

**$W_{A'e}$**  : Suministro de aire seco total [lb/hr]

**$C_{ps}$**  : Calor específico del vapor, determinado de la gráfica 4 [Btu/lb °F]

## 7.2 Método de pérdidas de calor.

La eficiencia se calcula de acuerdo con la ecuación general :

$$\eta_g = 100 - \left[ \frac{L}{H_f + B} \times 100 \right] \quad (24)$$

bien:

$$\eta_g = \frac{\text{salida} \times 100}{\text{suministros}} \quad (1')$$

Para este método se deben considerar las siguientes pérdidas :

$$L = L_{uc} + L_{c'} + L_{mf} + L_H + L_{mA} + L_z + L_{co} + L_{uH} + L_{uHc} + L_{\beta} + L_p + L_d + L_r + L_w \quad (25)$$

**L** : Pérdidas totales [Btu/lb]

**L<sub>uc</sub>** : Pérdidas debidas al carbono no quemado en los residuos totales secos [Btu/lb]

**L<sub>c'</sub>** : Pérdidas debidas a los gases secos de combustión [Btu/lb]

**L<sub>mf</sub>** : Pérdidas debidas a la humedad del combustible quemado [Btu/lb]

**L<sub>H</sub>** : Pérdidas por la humedad formada durante la combustión del H<sub>2</sub> [Btu/lb]

**L<sub>mA</sub>** : Pérdidas por la humedad en el aire [Btu/lb]

**L<sub>z</sub> : Pérdidas debidas a la atomización con vapor**  
[Btu/lb]

**L<sub>co</sub> : Pérdidas por la formación de monóxido de carbono**  
[Btu/lb]

**L<sub>uH</sub> : Pérdidas por hidrógeno no quemado**  
[Btu/lb]

**L<sub>uHc</sub> : Pérdidas por hidrocarburos no quemados**  
[Btu/lb]

**L<sub>β</sub> : Pérdidas por radiación y convección de las superficies**  
[Btu/lb]

**L<sub>p</sub> : Pérdidas debidas a la radiación al foso de escorias, calor sensible en escorias, y si es aplicable, el calor latente de fusión de las escorias.**  
[Btu/lb]

**L<sub>d</sub> : Pérdidas debidas al calor sensible en particulas de los gases de combustión**  
[Btu/lb]

**L<sub>f</sub> : Pérdidas de calor rechazado en el pulverizador**  
[Btu/lb]

**L<sub>w</sub> : Pérdidas de calor en el agua de enfriamiento que entra al Generador de Vapor**  
[Btu/lb]

**7.2.1 Pérdidas debidas al carbono no quemado en los residuos totales secos**

$$L_{vc} = W_{d'p'} \times H_{d'p'} \quad (26)$$

$$Wd'p' = \frac{Wd'p'e}{Wfe} \quad (27)$$

**Wd'p'e** : Flujo total de residuos secos [lb/hr]

Cuando es posible la medición directa de los residuos en los puntos de muestreo, entonces se puede emplear la siguiente ecuación :

$$L_{uc} = a + b + c + d + e \quad (28)$$

donde :

**a** : Valor calorífico de residuos en el foso de escorias [Btu/lb c]

**b** : Valor calorífico de residuos en la tolva de la caldera  
[Btu/lb c]

**c** : Valor calorífico de residuos en el colector del economizador  
[Btu/lb c]

**d** : Valor calorífico de residuos en el colector del calentador de aire  
[Btu/lb c]

**e** : Valor calorífico de residuos en la tolva del colector de polvos  
[Btu/lb c]

### 7.2.2 Pérdidas debidas a los gases secos de combustión

$$L_{c'} = W_{c'} \times C_{pc'} (t_c - t_{RA}) \quad (29)$$

donde :

**C<sub>pc'</sub>** = Calor específico de gases de combustión secos.  
Determinado por la gráfica 7 [Btu/lb f]

**$t_c$**  : Temperatura de gases de combustión a la salida de la unidad en el punto 12,14 o 15 [°F]

### 7.2.3. Pérdidas debidas a la humedad del combustible quemado

$$L_{mf} = m_f (h_{12,14,15} - h_{Rw}) \quad (30)$$

**$h_{12,14,15}$**  : Entalpía del vapor a la presión parcial y temperatura de salida de los gases de combustión, en los puntos 12, 14 o 15, determinada por tablas de vapor [Btu/lb]

**$h_{Rw}$**  : Entalpía de líquido saturado a la temperatura de referencia [Btu/lb]

$$P_{mc} = \frac{P_A}{1 - \left[ \frac{100 \times 1.5 C_b}{m_c (CO_2 + CO)} \right]} \quad (31)$$

donde :

**$P_{mc}$**  : Presión parcial de la humedad en los gases de combustión [lb/pg<sup>2</sup>]

**$P_A$**  : Presión atmosférica

Para usos prácticos,  **$P_{mc}$**  es aproximadamente 1 psia para la presión parcial existente a la salida del Generador de Vapor. Para cálculos más exactos puede usarse :

$$m_c = 8.936 H + (WmA') (WA') + m_f + W_2 + m_p \quad (32)$$

**$m_c$**  : lb de humedad en los gases de combustión por lb de combustible quemado [lb/lb]

**Wz** : lb de vapor de atomización por lb de combustible quemado

[lb/lb]

**mp** : lb de humedad evaporada en el cenicero por lb de combustible quemado

[lb/lb]

#### 7.2.4 Pérdidas por la humedad formada durante la combustión de H<sub>2</sub>

$$LH = 8.936 \times (h_{12,14,15} - h_{Rw}) \quad (33)$$

8.936 = 8.936 lb de agua producidas de la combustión de 1 lb de hidrógeno.

#### 7.2.5 Pérdidas por la humedad en el aire

$$L_{mA} : W_{mA'} \times W_{A'} (h_{12,14,15} - h_{Rv}) \quad (34)$$

Pérdidas por la humedad en el aire

#### 7.2.6. Pérdidas debidas a la atomización con vapor

$$L_z = \frac{W_{zE}}{W_{fe}} (h_{12,14,15} - h_{Rv}) \quad (35)$$

donde:

**WzE** : Lb de vapor de atomización

[lb/hr]

### 7.2.7 Pérdidas por la formación de monóxido de carbono.

$$L_{co} = \frac{CO}{CO_2 + CO} \times 10160 \times C_b \quad (36)$$

donde:

10 160 Btu producidas por la combustión de 1 lb de carbono para convertirlo de CO a CO<sub>2</sub>. Representa la diferencia entre el carbono quemado, como se encuentra en el combustible para formar CO<sub>2</sub> (14 540 Btu), y el carbono quemado como se encuentra en el combustible para formar CO (4380 Btu), es decir 14 540-4380 = 10 160 Btu.

### 7.2.8 Pérdidas por hidrógeno no quemado

$$L_{uH} = \frac{H_2 \text{ (pies}^3\text{)} \times W_G \times 318.9}{\text{peso específico de gases secos}}$$

donde :

**H<sub>2</sub>** : Contenido de hidrógeno en gases de combustión, determinado por análisis de laboratorio.

318.9 = Btu/ft<sup>3</sup> de hidrógeno a 14.7 psia y 68 F.

El peso específico de los gases de combustión a 68 °F y 14.7 psia es igual a :

$$0.0401 \left[ \frac{CO_2 + O_2 + CO + N_2 + SO_2 + H_2 + \frac{HC}{1545}}{35.11 \quad 48.28 \quad 55.16 \quad 55.14 \quad 42.12 \quad 766.36 \quad MHC} \right] \quad (38)$$

donde :



**HC : Porcentaje de hidrocarburos en gases de combustión [% ]**

**M<sub>Hc</sub> : Peso molecular de hidrocarburos en gases de combustión**

**[lb mol]**

### 7.2.9 Pérdidas por hidrocarburos no quemados

UHC (pies3)

$$L_{UHC} = \frac{\text{gases secos (pies3)} + W_{c'} + KU_{Hc}}{\text{peso específico de gases secos}} \quad (39)$$

donde :

**UHC : Porcentaje de hidrocarburos no quemados en gases de combustión** **[%]**

**[UHC (pies3)]** Relación de hidrocarburos no quemados, gases secos (pies3) determinados por análisis de

laboratorio, a los gases de combustión.

**KU<sub>Hc</sub> : Poder calorífico de hidrocarburos no quemados. Determinado por análisis de laboratorio** **[Btu/ft<sup>3</sup>]**

### 7.2.10 Pérdidas por radiación y convección a la superficie.

**L<sub>β</sub> : Se determinan por la carta de perdidas de la ABMA, figura 8.**

Los valores de las pérdidas por radiación obtenidos a través de la figura 8 son para una diferencia de temperaturas de 50 °F, entre las superficies y el medio ambiente, con una velocidad del aire de 100 ft/min. Las correcciones para diferentes condiciones, se harán de acuerdo con las normas de la ASTM para materiales refractarios.

El cálculo de las pérdidas por radiación con la figura 8 se realiza de la siguiente forma: Entrando con el valor de la producción máxima continua en millones de Btu/hr, se traza una línea vertical a la curva de pérdidas a producción máxima continua, este punto, se translada hacia la parte izquierda de la gráfica hasta las líneas de los factores de corrección para paredes enfriadas, se baja sobre esta línea avanzando hacia la izquierda, a cruzar con la línea de número de paredes enfriadas, a partir de este punto se traza una línea horizontal y en el punto donde corte el eje, se lee el valor de las pérdidas por radiación.

7.2.11 Pérdidas debidas a la radiación al foso de escorias, calor sensible en escorias, y si es aplicable, el calor latente de fusión de las escorias.

$$L_p = H_{pw} + H_{epw} + S_{hl} \quad (40)$$

$H_{pw}$ : Pérdidas de calor por el incremento de temperatura del agua suministrada para remover las cenizas del foso de escorias. [Btu/lb]

$H_{epw}$ : Pérdidas por evaporación del agua en el foso de escorias. [Btu/lb]

$S_{hl}$ : Pérdidas de calor sensible en los residuos [Btu/lb]

$$H_{pw} = \frac{W_{we38} \times (t_{w39} - t_{w38})}{W_{fe}} \quad (41)$$

$W_{we38}$ : Consumo de agua suministrada al foso de escorias. [lb/hr]

$t_{w39}$ : Temperatura del agua a la salida del foso de escorias [F]

$t_{w38}$ : Temperatura del agua a la entrada del foso de escorias [F]

$$H_{epw} = \left[ W_{w38} + \left[ W_{fe} \times \frac{P}{100} \times \frac{S_{ww}}{S_{wR}} \right] - W_{we39} \right] \left[ \frac{h_{v12,14,15} - h_{w39}}{W_{fe}} \right] \quad (42)$$

**P** : Residuos en el foso. Se expresa como un porcentaje del combustible quemado [%]

**S<sub>ww</sub>** : Peso específico del agua a la temperatura  $t_{w39}$  [lb/ft<sup>3</sup>]

**S<sub>wR</sub>** : Peso específico de residuos [lb/ft<sup>3</sup>]

**h<sub>w39</sub>** : Entalpia del agua descargada [Btu/lb]

$$SHL = \frac{C_{pp} W_{pe}}{W_{fe}} (t_{w39} - t_{RA}) \quad (43)$$

**C<sub>pp</sub>** : Calor específico de los residuos húmedos [Btu/lb F]

**W<sub>pe</sub>** : Flujo de residuos húmedos [lb/hr]

Cuando los residuos son removidos en estado seco, las pérdidas se calculan por la ecuación :

$$L_p = \frac{C_{pp'} (t_{p'37} - t_{RA}) W_{p'e}}{W_{fe}} \quad (44)$$

**C<sub>pp'</sub>** : Calor específico de los residuos secos en el foso de escorias [Btu/lb F]

**t<sub>p'37</sub>** : Temperatura de los residuos en el foso de escorias [F]

**W<sub>p'e</sub>** : Peso de los residuos secos que salen del foso de escorias [lb/hr]

7.2.12 Pérdidas debidas al calor sensible en particular de los gases de combustión.

$$L_d = \frac{C_d' (t_{c 12,14,15} - t_{RA}) W_d'e}{W_{fe}} \quad (45)$$

**C<sub>d'</sub>** : Calor específico de las partículas en los gases de combustión [Btu/lb F]

**W<sub>d'e</sub>** : Peso de las partículas en los gases de combustión, en el punto de muestreo [lb/hr]

7.2.13 Pérdidas del calor rechazado en el pulverizador.

$$L_r = \frac{W_{re} \times H_r}{W_{fe}} \quad (46)$$

**W<sub>re</sub>** : Lb de combustible rechazado en el pulverizador [lb/hr]

**H<sub>r</sub>** : Poder calorífico de combustible rechazado, determinado por análisis de laboratorio. [Btu/lb]

7.2.14 Pérdidas de calor en el agua de enfriamiento que entra al Generador de vapor.

$$L_w = \frac{W_{we} (t_{wout} - t_{win})}{W_{fe}} \quad (47)$$

**W<sub>we</sub>** : Flujo de agua de enfriamiento cuando se emplean paredes enfriadas por agua [lb/hr]

**t<sub>wout</sub>** : Temperatura de salida del agua de enfriamiento [F]

**t<sub>win</sub>** : Temperatura de entrada del agua de enfriamiento [F]

Además de las pérdidas señaladas anteriormente, hay que considerar los calores suministrados, como en el caso del método directo, por lo que se tiene :

$$B = B_{ae} + B_{ze} + B_{fe} + B_{xe} + B_{mAe} \quad (48)$$

## **W<sub>fe</sub>**

**B** : Calor total suministrado por libra de combustible quemado.  
Calor suministrado en forma de calor sensible [Btu/lb[

### **SECCIÓN 8**

#### **OTRAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN**

Esta sección trata acerca de los factores que influyen en la operación del Generador de Vapor y como puede determinarse. Está estrechamente relacionada con la sección 3 (guías principales).

Los factores que se mencionan como principales variables que pueden afectar la eficiencia del Generador de Vapor son :

- a) Fugas de aire y filtraciones
- b) Capacidad máxima de carga
- c) Temperatura del vapor
- d) Temperatura de gases de combustión
- e) Presión estática de gases y aire
- f) Pérdidas de tiro
- g) Pérdidas de presión
- h) Contenido de sólidos en el vapor

### **SECCIÓN 9**

#### **APÉNDICE**

En esta sección se presentan algunas ecuaciones complementarias para determinar : peso de aire seco, exceso de aire y peso específico de gases de combustión.

Las ecuaciones que se mencionan de este capítulo, son complementarias a las citadas en las secciones precedentes. A continuación se muestran las ecuaciones que no se incluyeron anteriormente.

## 9.1 Peso del aire seco por libra de combustible quemado

$$WA' = \frac{28.02 (N_2) \times [ C_b + \frac{12.01}{32.07} s ]}{\frac{12.01 (CO_2 + CO)}{0.7685}} \quad (49)$$

## 9.2 Exceso de aire

Para lograr la combustión completa del combustible, se requiere de la siguiente relación aire- combustible :

$$A'_{\theta} = 11.51 C + 34.30 \left[ H - \frac{O}{7.937} \right] + 4.335 S \quad (50)$$

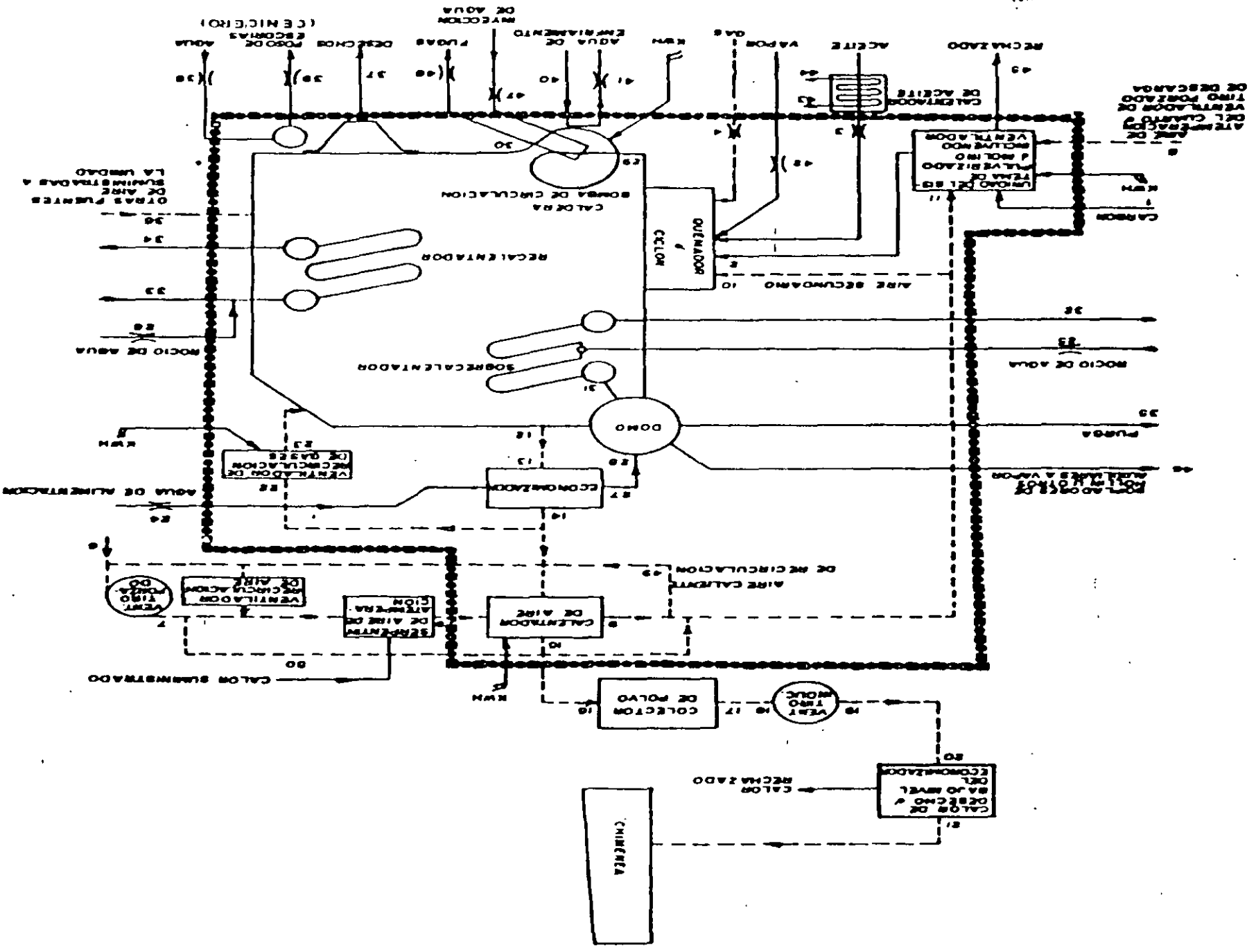
$A'_{\theta}$  : lb de aire teórico requerido para quemar completamente  
1 lb de combustible [lb/lb c]

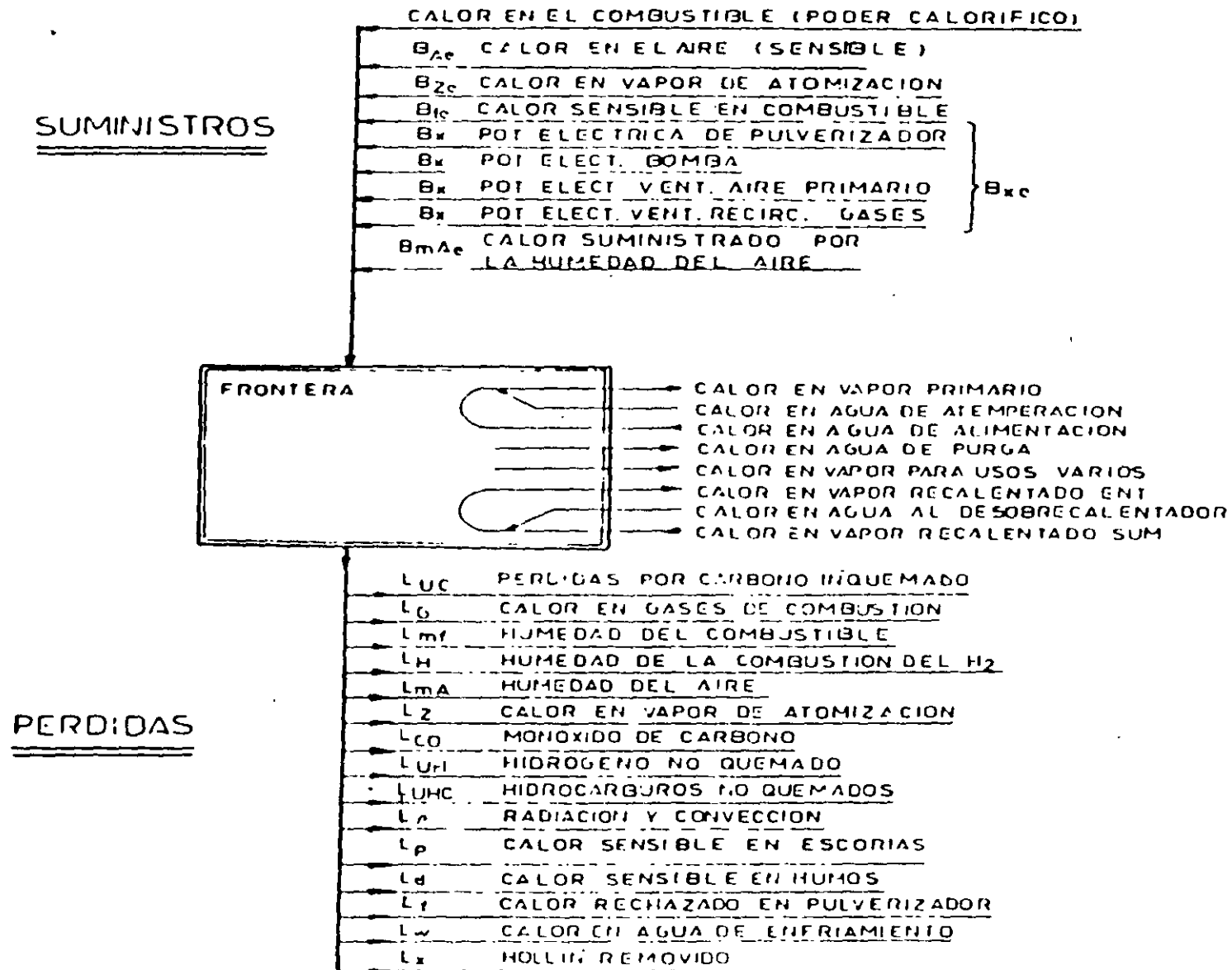
$O$  : lb de oxígeno contenido en el combustible por lb de  
combustible quemado, determinado por análisis de laboratorio  
[lb/lb c]

El exceso de aire se calcula como porcentaje :

$$A'_{x} = \frac{WA' - A'_{\theta}}{A'_{\theta}} \times 100 \quad (51)$$

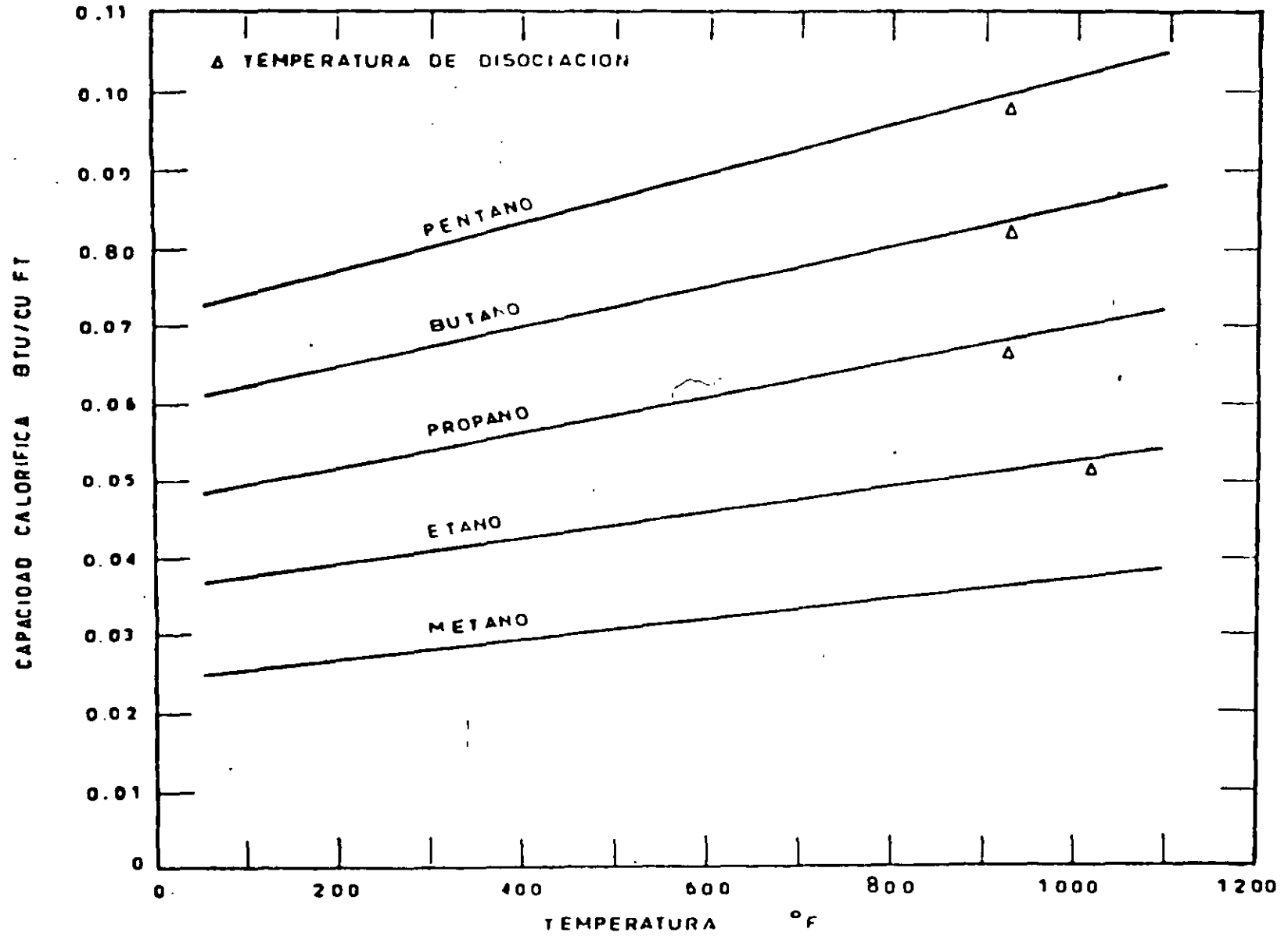
$A'_{x}$  : Porcentaje de exceso de aire [%]

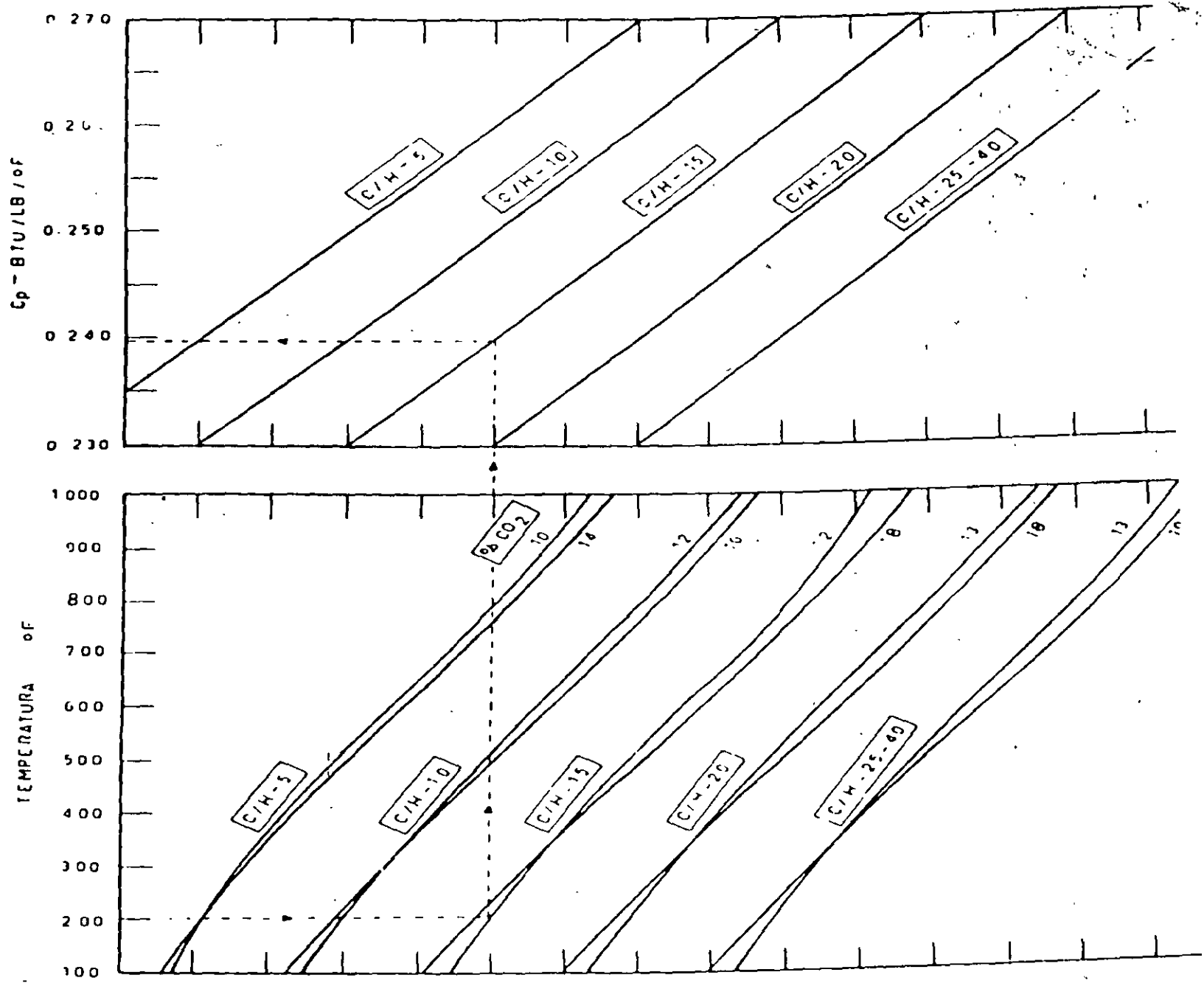


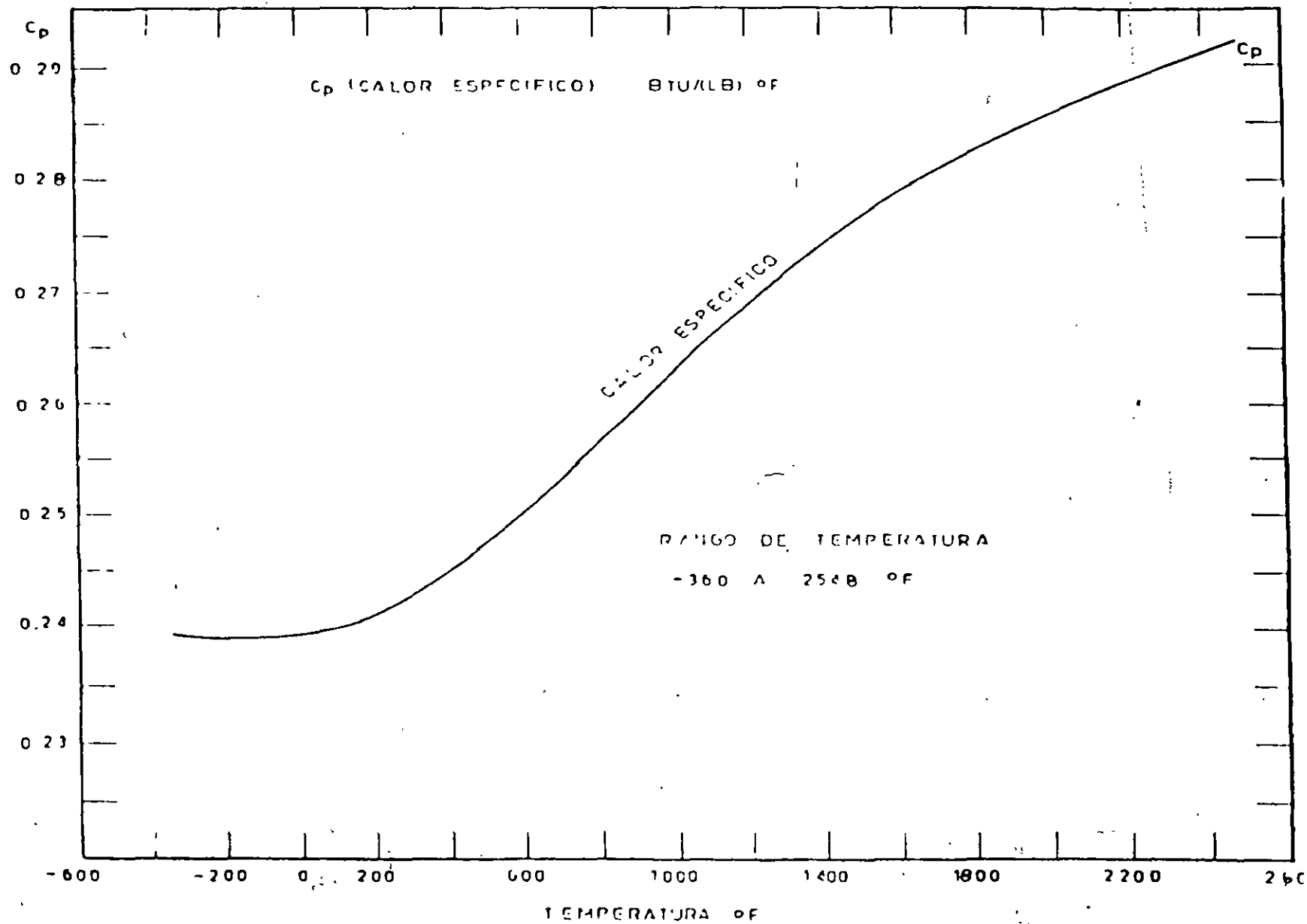


$$\text{ENTREGA} = \text{SUMINISTROS} - \text{PERDIDAS}$$









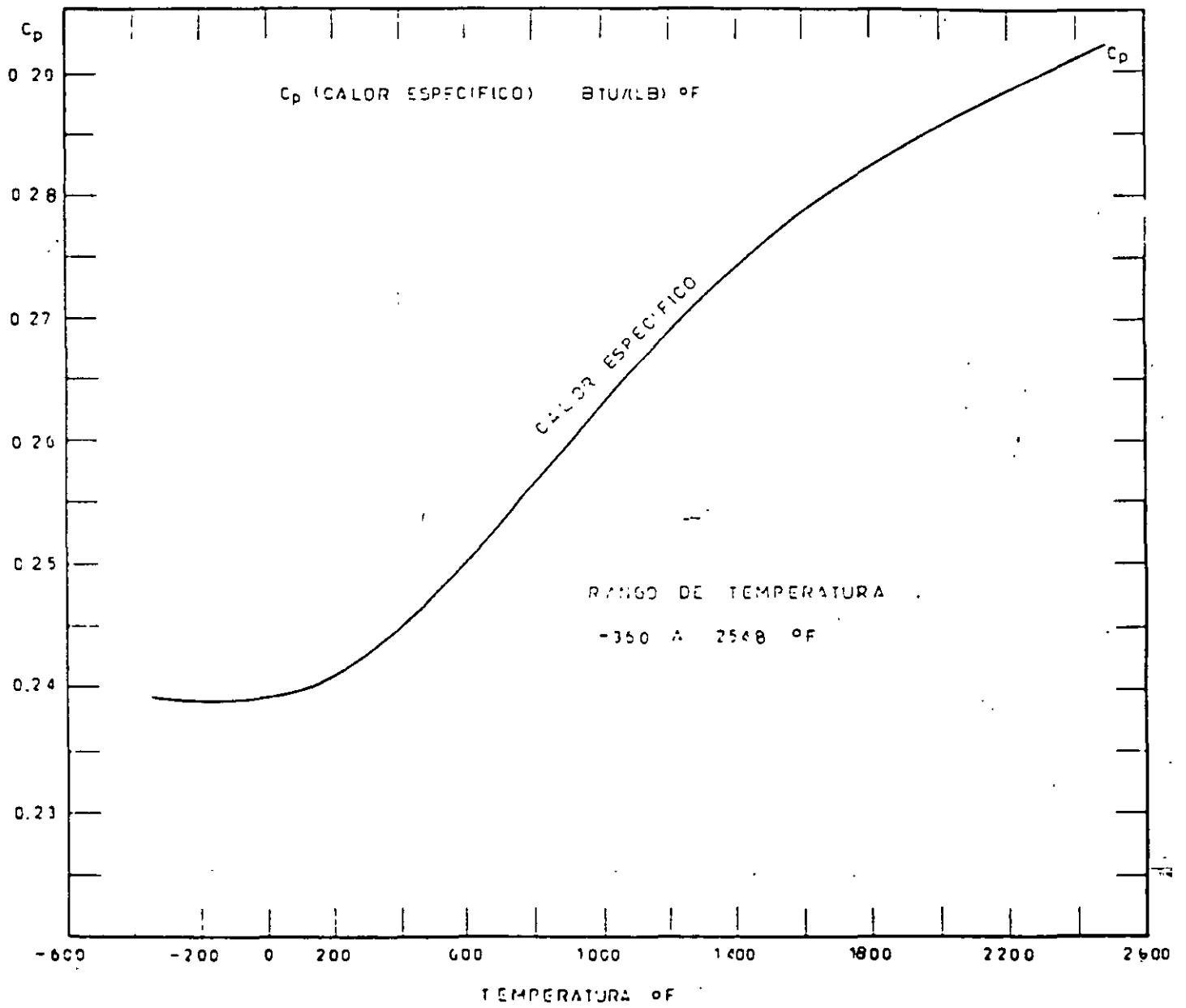


Figura 4.5: Calor específico del aire.

06

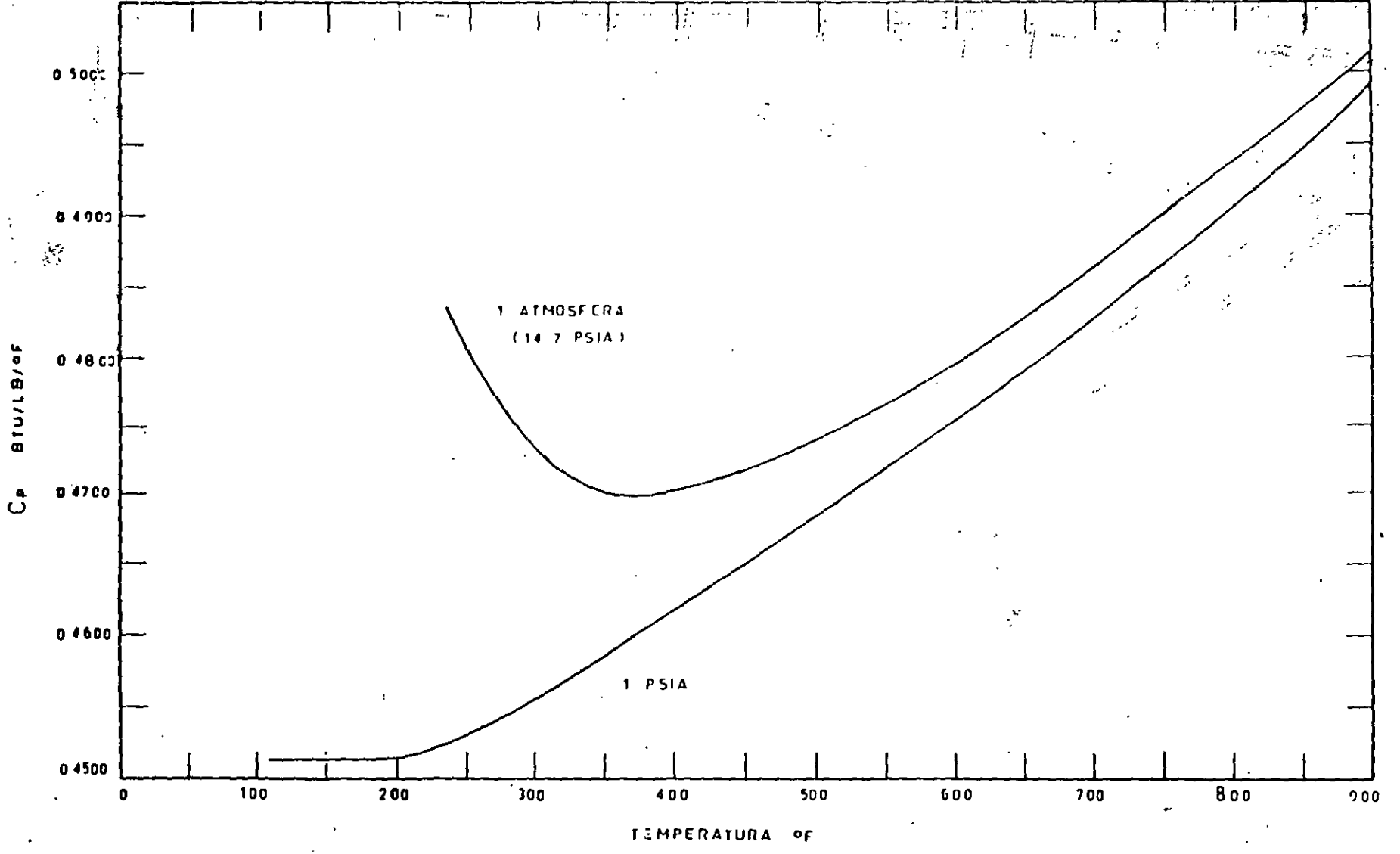


Figura 6. Cal específico del vapor de agua.