



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.

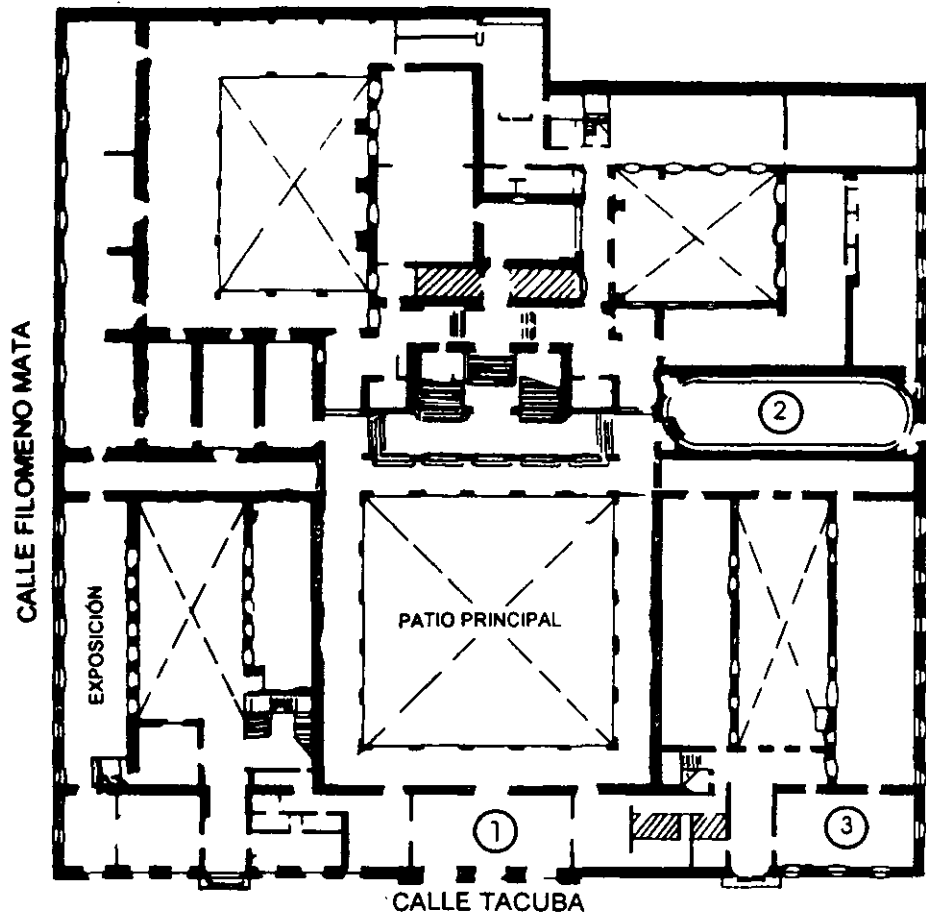
Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

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.

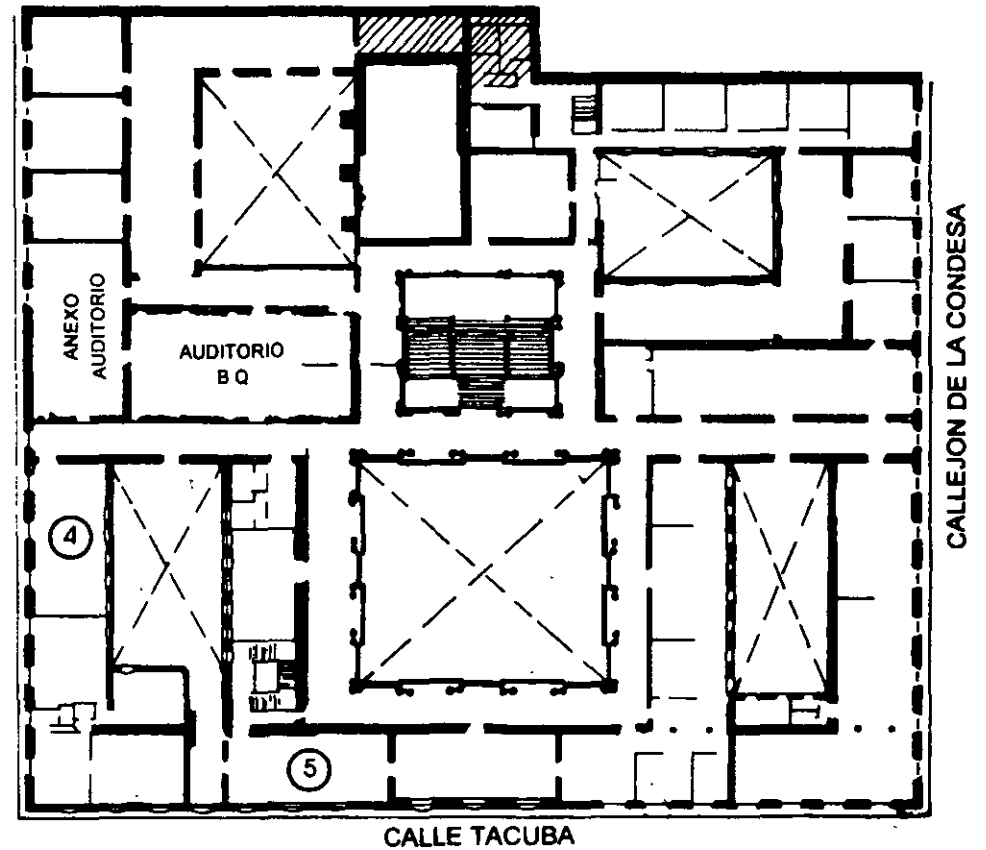
Atentamente

División de Educación Continua.

PALACIO DE MINERIA

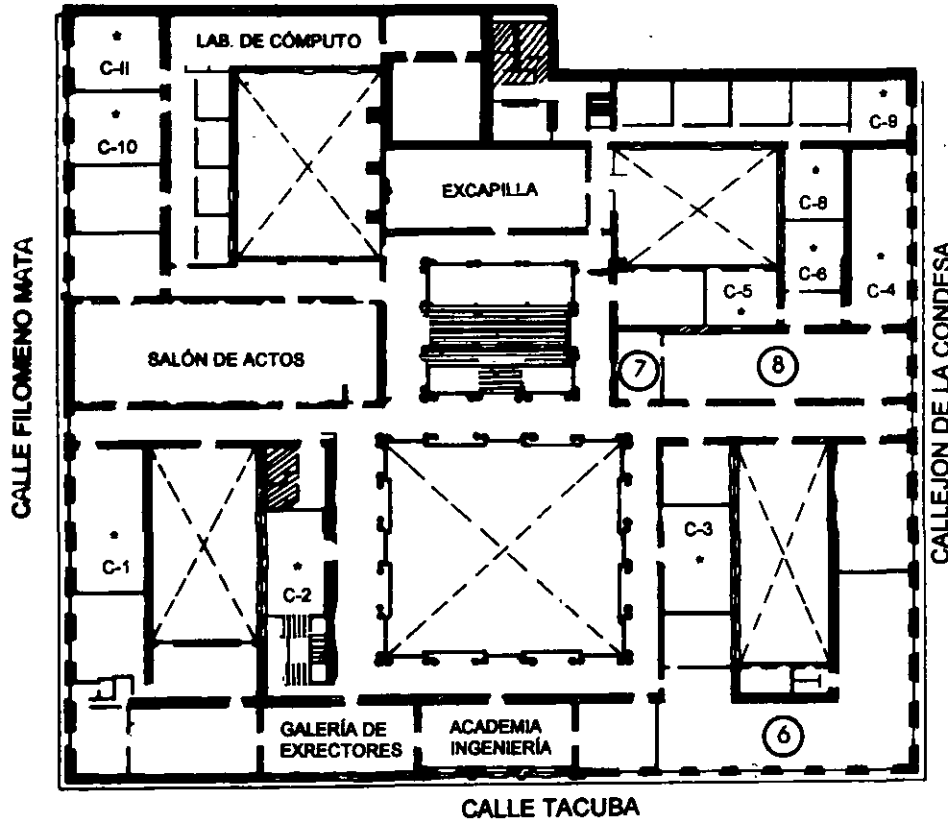


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

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 EDUCACION CONTINUA





**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN GENERACIONES DE VAPOR MEDIANTE LA NORMA ASME PTC 4.1

**EXPOSITOR:
ING. ALFREDO SÁNCHEZ FLORES
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**

**CALDERAS DE POTENCIA
PARTE III
ANÁLISIS DE LA
EFICIENCIA TÉRMICA EN
GENERADORES DE VAPOR
MEDIANTE LA NORMA
ASME PTC 4.1**

**Expositor: Ing. Alfredo
Sánchez Flores**

La norma ASME PTC 4.1. se compone de 10 secciones, cuya estructura 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.

Sección 0:

INTRODUCCION

Aquí se presentan los aspectos generales de la norma ASME PTC 4.1. comenzando con la definición de Generador de Vapor y de los equipos que lo constituyen.

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 las siguientes partes: 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). 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, es la determinación adecuada de las propiedades del combustible empleado, por lo cual se recomiendan las normas ASME:

- PTC 3.1 Combustibles líquidos,
- PTC 3.2 Combustibles sólidos,
- 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.

El responsable de conducir la prueba desarrollará el procedimiento que se acople al objetivo general de esta norma.

Además, las instrucciones generales contenidas en la norma, pueden 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 encontrar:

- Eficiencia del Generador de Vapor.
- Capacidad del Generador de Vapor.
- Otras características de operación, tales como:

- Temperatura del vapor
- Temperatura de gases de combustión
- Pérdidas de tiro

Ahora bien, la determinación de cualquiera ó 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.

Cabe aclarar que para la prueba de los diferentes aparatos auxiliares, se deben consultar las normas correspondientes.

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 ó 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 1

La salida de calor se define como el calor absorbido por el fluido ó 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.

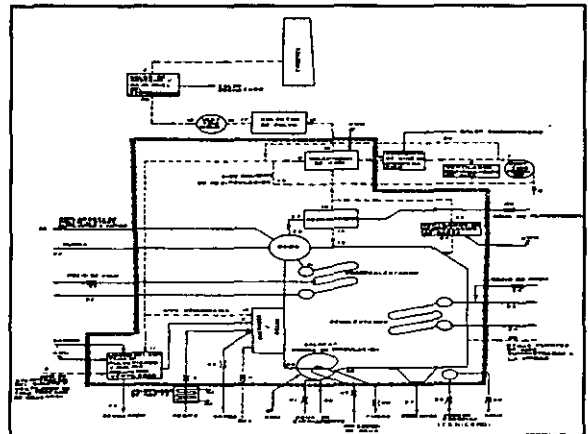
Sección 2 :

SIMBOLOGIA.

En esta sección se incluye la descripción de la simbología y unidades empleadas en la norma (se utiliza el sistema inglés de unidades).

4

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 correspondiente

- Una prueba se define como el procedimiento completo para obtener el comportamiento del Generador de Vapor.
- 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 :

5

- 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 se han obtenido a través de la experiencia, por lo que su uso está restringido; 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:

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 árbitro en eventuales disputas o para aclaraciones sobre las condiciones o métodos de operación, precisión de las observaciones, etc.

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:

- Verificar la operación de todos los instrumentos
- Entrenamiento del personal encargado de la prueba
- Realizar los últimos ajustes
- 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.

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.

3.8 Instrumentos de medición.
Se recomienda consultar las normas ASME:
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)

SECCIÓN 4

EFICIENCIA POR EL MÉTODO DIRECTO. (entradas y salidas)

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 :

$$\eta_g = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{calor suministrado}} \times 100 \text{ [\%]}$$

Donde:

El calor aprovechado es aquél absorbido por el fluido de trabajo

El calor suministrado es aquél del combustible más los calores suministrados

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 lugar donde se quemará, y tomando en cuenta todas las pérdidas que existan entre el sitio donde se pesó y el punto de introducción al Generador de Vapor.

Se debe obtener una muestra representativa del combustible, conforme a 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 volumen constante, pero ya que éste es quemado dentro del Generador de Vapor 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 a la norma ASME PTC 3.1. Recuérdese 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 debe seguir la norma ASME 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 se determinan al multiplicar los flujos másicos respectivos, por la diferencia de entalpía, o por la conversión de unidades apropiada.

La medición de los flujos de entrada o de salida se realizará por los métodos siguientes:

a) Medición del Flujo de vapor.

El flujo de vapor principal puede determinarse 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.

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 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.

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 :

$$\eta_p = 100 - \left[\frac{\text{Pérdidas de calor} \times 100}{\text{Calor del combustible} + \text{Calores suministrados}} \right] \% \quad (5)$$

Los datos requeridos para aplicar éste método son:

- a) Análisis del combustible.
- b) Composición o análisis de los gases de combustión (Contenido de CO₂, CO, O₂ 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.

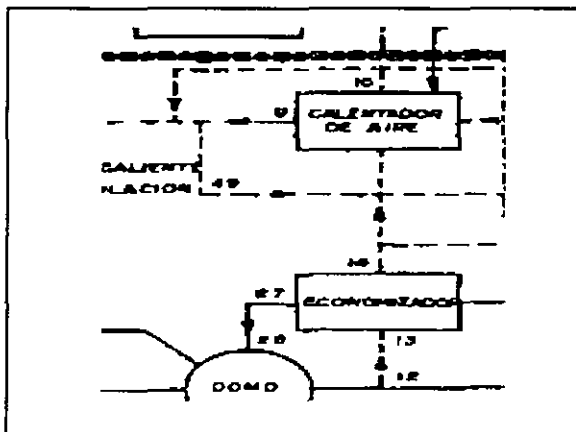
A continuación se explican los procedimientos que se siguen para obtener algunos de los datos anteriores :

a) Análisis del combustible.

El contenido de los elementos componentes del combustible es determinado en porcentaje en masa, ó en volumen del combustible.

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 debe medir la temperatura de los gases de combustión a la salida del Generador de Vapor, en los mismos puntos y siguiendo el procedimiento de las muestras de gases de combustión.

Además, 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.

Así mismo, 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.

f) Radiación y pérdidas en el foso de escorias.

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.

$$\eta_g = \frac{\text{Salidas (calor aprovechado)}}{\text{Suministros (calor suministrado)}} \times 100 \quad (1)$$

Salidas: Se define como el calor aprovechado por el fluido de trabajo (figura 1 y 2)

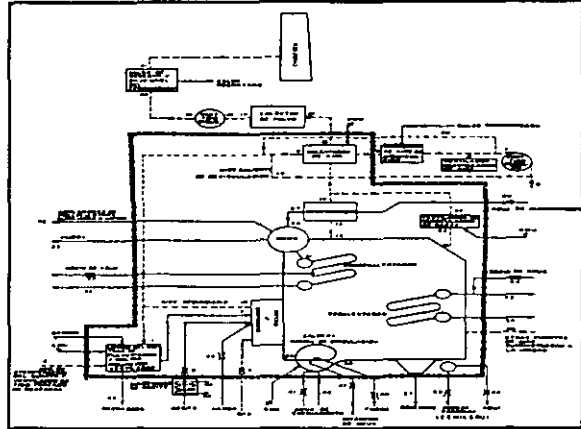
Suministros: Es el poder calorífico en el combustible, más calores suministrados al fluido de trabajo (figuras 1 y 2).

El cálculo correspondiente se realiza por la siguiente expresión:

$$\eta_g = \frac{W_{se31} (h_{s32} - h_{w24}) + W_{w26} (h_{s32} - h_{w26}) + W_{se32} (h_{s34} - h_{s32}) + W_{w28} (h_{s34} - h_{w26}) + W_{w26} (h_{w25} - h_{w26})}{(H_f \times W_{he}) + B_e} \times 100 \quad (4)$$

Para generadores de Vapor con bombas de recirculación, se debe agregar a la ecuación (4), el siguiente término :

$$\frac{W_{w43} (h_{w43} - h_{w41}) + (W_{w47} - W_{w43}) \times (h_{w24} - h_{w47})}{(H + W_{w4}) + B} \quad (5)$$



$$H_r = H_f \left(\frac{100 - mf}{100} \right) \quad (6)$$

donde :

H_f : Poder calorífico superior del combustible obtenido por análisis de laboratorio (base seco) [Btu/lb]

mf : 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 :

$$H_{fp} = H_{fv} + \frac{\Delta \Psi \cdot R_u \cdot T}{778.2} \quad H_{fv} + \Delta \Psi \frac{1545 \times 537}{778.2} \quad (7)$$

$$H_r = H_{fv} + \Delta \Psi 1068 = H_{fv} + \frac{1068}{4.032} H = H_{fv} + 264.4 H \quad (8)$$

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_u : Constante universal de los gases (1545 [ft lb/lb mol° R])

T : Temperatura estandar del calorímetro (537 [°R])

778.2 Btu/ft-lb, representa el equivalente mecánico del calor

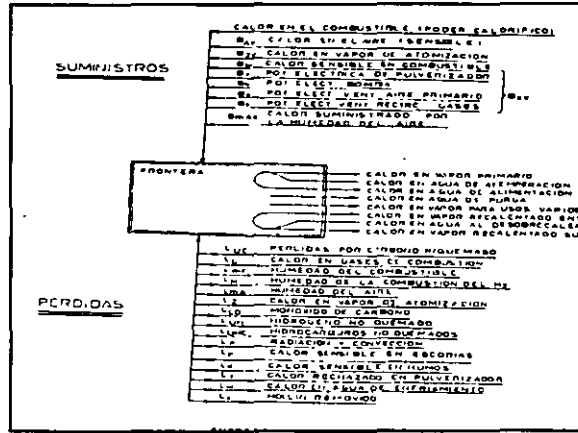
Si se emplean combustibles sólidos o líquidos, el peso es determinado por medición directa. Pero cuando se emplean combustibles gaseosos, se debe convertir el volumen medido a peso, para lo que se emplea la siguiente expresión.

$W_{fe} = Q_{fe} \times \gamma_f$
 (10)

Q_{fe}: Consumo de combustible gaseosos quemado.
γ_f: 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

$Be = BAe + Bze + Bfe + Bxe + Bm Ae$
 (11)



Donde:

Be: Calor total suministrado, definido como aquellas cantidades de calor suministradas al Generador de Vapor, diferentes del poder calorífico superior del combustible. (figura 2) [Btu/h]

BAe: Calor suministrado al aire por los calentadores aire-vapor [Btu/h]

Bze: Calor suministrado por el vapor de atomización cuando la fuente es externa al Generador de Vapor [Btu/h]

Bfe: Calor sensible suministrado por el combustible [Btu/h]

Bxe: Calor suministrado por los equipos auxiliares dentro de las fronteras del Generador de Vapor [Btu/h]

Bm Ae: Calor suministrado por el calor sensible de la humedad que entra del aire [Btu/h]

7.1.1.1: Calor suministrado al aire por los calentadores aire-vapor.

$B_{Ae} = (W_{a1} - W_{a2}) \times W_{H_2O} \times C_{Pa} \quad [1.87, 48 - 0.84] \times$

$\times W_{a2} \times W_{H_2O} \times C_{Pa} \quad [1.87 - 0.84] \quad (12)$

Donde:

W_{a1}: Flujo de aire seco por lb de combustible quemado (relación aire-combustible). [lb/lb c]

W_{a2}: Flujo de aire de atemperación para el pulverizador. [lb/lb c]

C_{pa}: Calor específico del aire seco a la temperatura que entra al Generador de vapor. Se calcula con la gráfica 5. [Btu/lb F]

tA7,A8 : 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 (tA8) . Pero si se trata de aire recirculado directamente del Generador, la temperatura del aire se tomará como (tA7) [°F]

tRA : Temperatura de referencia del aire [59°F]

tA'5 : Temperatura del aire suministrado del cuarto de máquinas ó de la descarga del ventilador de tiro forzado para atemperación del pulverizador [°F]

$$W_A = \frac{(W_C \cdot N_2 \cdot N)}{0.7465} \quad (13)$$

donde :

WC'N2 : 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]

$$WC' N_2 = \frac{W_C \cdot 28.02 N_2}{44.01 CO_2 + 32.00 O_2 + 28.02 N_2 + 28.01 CO} \quad (14)$$

$$WC' = \frac{44.01 CO_2 + 32.00 O_2 + 28.02 N_2 + 28.01 CO}{12 + (CO_2 + CO)} \cdot \frac{(32.07 C_b - 17.01 S)}{32.07} \quad (15)$$

WC : Flujo de gases secos de combustión, por lb de combustible quemado. [lb/lb c]

CO2 : Porcentaje en volumen de CO2 en gases de combustión [%]

O2 : Porcentaje en volumen O2 en gases de combustión

[%]

CO : Porcentaje en volumen de CO en gases de combustión

N2 : Porcentaje en volumen de nitrógeno en gases de combustión. Determinado por diferencia del total de CO2, CO y O2 del 100% [%]

Cb : Cantidad de carbono del combustible que se quema [lb/lbc]

S : Contenido de azufre en el combustible [lb/lbc]

7.1.1.3 Calor suministrado por el calor sensible del combustible

$$B_{ts} = W_{ts} \times C_{pf} (t_{f3} - t_{f1}) \quad (19)$$

Donde:

C_{pf} : Calor específico del combustible. Se puede usar un valor de 0.3 Btu/lb F para carbón. Para gas consúltese la figura 3 [Btu/lb °F]

t_{f1} ó t_{f3} : Temperatura de entrada del combustible (figura 1)

7.1.5 Calor suministrado por los equipos auxiliares dentro de la frontera del Generador de Vapor.

$$B_{ze} = W_{sae} (h_{sz} - h_{sz}) \eta^a \quad (20)$$

donde,

W_{sae} : Consumo de vapor de auxiliares [lb/hr]
 h_{sz} : Entalpia del vapor suministrado para operar los auxiliares [Btu/lb]

h_{sz} : Entalpia a las condiciones de presión de salida y entalpia de entrada del vapor para operar los auxiliares [Btu/lb]

η^a : Eficiencia global de operación de los auxiliares, que incluye turbina y eficiencia de acoplamientos [%]

Cuando se trata de auxiliares que emplean energía eléctrica

$$B_{ze} = 3413 \times (KWh) \eta^a \quad (21)$$

donde :

η^a : 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.

$$B_{mAe} = W_{mA'} WA'e C_{ps} (t_{A7}, A8 - t_{RA}) \quad (22)$$

$$WA'e = WA' \times W_{fe} \quad (23)$$

donde :

$W_{mA'}$: Contenido de humedad por lb de aire seco [lb/lb]

$WA'e$: Suministro de aire seco total [lb/hr]

C_{ps} : Calor específico del vapor, determinado de la gráfica 6 [Btu/lbF]

7.2 Método de pérdidas de calor

La eficiencia se calcula de acuerdo con la ecuación general:

$$\eta^g = 100 \cdot \left[\frac{L}{HF + B} \right] \quad (24)$$

bien

$$\eta^g = \frac{\text{salida} \times 100}{\text{suministros}} \quad (1)$$

Para este método se deben considerar las siguientes pérdidas:

$$L = L_{uc} + L_c + L_{mf} + L_H + L_{MA} + L_z + L_{eo} + L_{uH} + L_{uHc} + L_p + L_d + L_r + L_w \quad (25)$$

L : Pérdidas totales [Btu/lb]

L_{uc} : Pérdidas debidas al carbono no quemado en los residuos totales secos [Btu/lb]

L_c : Pérdidas debidas a los gases secos de combustión [Btu/lb]

L_{mf} : Pérdidas debidas a la humedad del combustible quemado [Btu/lb]

L_H : Pérdidas por la humedad formada durante la combustión del H₂ [Btu/lb]

L_{MA} : Pérdidas por la humedad en el aire [Btu/lb]

L_v	Perdidas debidas a la atomización con vapor	[Btu/lb]
L_{co}	Perdidas por la formación de monóxido de carbono	[Btu/lb]
L_{H_2}	Perdidas por hidrogeno no quemado	[Btu/lb]
L_{Hc}	Perdidas por hidrocarburos no quemados	[Btu/lb]
L_p	Perdidas por radiación y convección de las superficies	[Btu/lb]
L_p	Perdidas 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_d	Perdidas debidas al calor sensible en partículas de los gases de combustión	[Btu/lb]
L_r	Perdidas de calor rechazado en el pulverizador	[Btu/lb]
L_w	Perdidas de calor en el agua de enfriamiento que entra al Generador de Vapor	[Btu/lb]

7.2.1 Perdidas debidas al carbono no quemado en los residuos totales secos	
$L_{uc} = W_{d,p} \times H_d$	(26)
$W_{d,p} = \frac{W_d \times p}{W_{ts}}$	(27)
$W_{d,p}$	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.	
$L_{uc} = a + b + c + d + e$	(28)
a	Poder calorífico de residuos en el foso de escorias [Btu/lb]
b	Poder calorífico de residuos en la tolva de la caldera
c	Poder calorífico de residuos en el colector del economizador [Btu/lb]
d	Poder calorífico de residuos en el colector del calentador de aire [Btu/lb]
e	[Btu/lb c]

7.2.2 Pérdidas debidas a los gases secos de combustión	
$L_c = W_c' \times C_{pc}' (t_c - RA)$	(29)
Donde	
C_{pc}'	es el calor específico de los gases de combustión secos. Véase la gráfica 4
t_c	es la temperatura de los gases de combustión a la salida de la unidad en el punto 12, 14 ó 15
7.2.3 Pérdidas debidas a la humedad del combustible quemado	
$L_{mf} = m_f (h_{12,14,15} - h_{RW})$	(30)

$h_{12,14,15}$ es la entalpia del vapor a la presión parcial y temperatura de salida de los gases de combustión en los puntos 12, 14 ó 15. Usese tablas de vapor.	
h_{RW} Entalpia de líquido saturado a la temperatura de referencia [Btu/lb]	
$P_{mc} = \frac{P_A}{1 + \frac{180 \times 1.8 \times C_b}{m_c (CO_2 + CO)}}$	(31)
donde:	
P_{mc}	Presión parcial de la humedad en los gases de combustión [lb/pg ²]
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:	
$m_c = 8.936 H + (W_{MA}) (WA) + m_f + W_2 + m_p$	(32)
m_c	la humedad en los gases de combustión por lb de combustible quemado [lb/lb]
W_2	el vapor de atomización por lb de combustible quemado [lb/lb]
m_p	la 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_2	
$L_H = 8.936 \times (h_{12,14,15} - h_{RW})$	(33)
8.936 = 8.936 lb de agua producidas de la combustión de 1 lb de hidrogeno	

7.2.5 Pérdidas por la humedad en el aire	
$L_{MA} = W_{MA} \times WA' (h_{12,14,15} - h_{RW})$	(34)
7.2.6 Pérdidas debidas a la atomización con vapor	
$L_v = \frac{W_{vE}}{W_{ts}} (h_{12,14,15} - h_{RW})$	(35)
donde	
W_{vE}	Lb de vapor de atomización [lb/hr]
7.2.7 Pérdidas por la formación de monóxido de carbono	
$L_{co} = \frac{C_O}{CO_2 + CO} \times 10180 \times C_b$	(36)

donde

10 180 Btu proveídas por la combustión de 1 lb de carbono para convertirlo de CO a CO₂. Representa la diferencia entre el carbono quemado como se encuentra en el combustible para formar CO₂ (14 540 Btu), y el carbono quemado como se encuentra en el combustible para formar CO (4380 Btu), es decir 14 540-4380 = 10 180 Btu.

7.2.8 Pérdidas por hidrógeno no quemado

$$L_{UH} = \frac{H_2 \text{ (pes3)}}{\text{peso específico de gases secos}} \times WC \times 318.9$$

donde

H₂ : Contenido de hidrógeno en gases de combustión, determinado por análisis de laboratorio

318.9 = Btu/lb 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

$$0.0401 \left[\frac{CO_2 + O_2 + CO + N_2 + SO_2 + H_2 + \frac{H_2O}{18.016}}{35.11 \ 48.28 \ 66.16 \ 55.14 \ 42.12 \ 786.36 \ MHC} \right] \quad (38)$$

donde

HC : Porcentaje de hidrocarburos en gases de combustión [%]

MHC : Peso molecular de hidrocarburos en gases de combustión [lb/lb-mol]

7.2.9 Pérdidas por hidrocarburos no quemados

$$L_{UHC} = \frac{UHC \text{ (pes3)}}{\text{peso específico de gases secos}} \times WC + K_{UHC} \quad (39)$$

donde

UHC : Porcentaje de hidrocarburos no quemados en gases de combustión [%]

$\left[\frac{UHC \text{ (pes3)}}{MHC} \right]$ Relación de hidrocarburos no quemados, gases secos (pes3) determinados por análisis de laboratorio, a los gases de combustión

K_{UHC} : Poder calorífico de hidrocarburos no quemados determinado por análisis de laboratorio [Btu/lb]

77.2.10 Pérdidas por radiación y convección a la superficie

L_β : Se determinan por la carta de pérdidas de la ABMA, figura

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.

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.

$$L_p = H_{pw} + H_{apw} + S_{hl} \quad (40)$$

H_{pw} : Pérdidas de calor por el incremento de temperatura del agua suministrada para remover las cenizas del foso de escorias [Btu/lb]

H_{apw} : Pérdidas por evaporación del agua en el foso de escorias. [Btu/lb]

S_{hl} : Pérdidas de calor sensible en los residuos [Btu/lb]

$$H_{pw} = \frac{W_{we38} \times (tw_{39} - tw_{38})}{W_{fe}} \quad (41)$$

W_{we38} : Consumo de agua suministrada al foso de escorias.

tw₃₉ : Temperatura del agua a la salida del foso de escorias [F]

tw₃₈ : Temperatura del agua a la entrada del foso de escorias [F]

$$H_{E_{pw}} = [W_{w38} + [W_{fe} \times P/100 \times \frac{S_{ww}/S_{wr}}{W_{fe}}] - W_{we39} [h_{v12,14,15} - h_{w39}]] \quad (42)$$

P : Residuos en el foso. Se expresa como un porcentaje del combustible quemado; S_{ww} : Peso específico del agua a la temperatura tw₃₉ [lb/ft³]

S_{wr} : Peso específico de residuos

h_{w39} : Entalpia del agua descargada

$$S_{hl} = C_{pp} \frac{W_{pe}}{W_{fe}} (tw_{39} - t_{ra}) \quad (43)$$

C_{pp} : Calor específico de los residuos húmedos [Btu/lb F]

W_{pe} : Flujo de residuos húmedos

Cuando los residuos son removidos en estado seco, las pérdidas se calculan por la ecuación :

$$L_p = \frac{C_{pp} (t_{p37} - t_{RA}) W_{p'e}}{W_{fe}} \quad (44)$$

C_{pp}: Calor específico de los residuos secos en el foso de escorias

[Btu/lbF]
t_{p37}: Temperatura de los residuos en el foso de escorias [F]

W_{p'e}: 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_{d'}: Calor específico de las partículas en los gases de combustión
[Btu/lb F]

W_{d'e}: 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_{re}: Lb de combustible rechazado en el pulverizador

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_{we}: Flujo de agua de enfriamiento cuando se emplean paredes enfriadas por agua
[lb/hr]

t_{wOUT}: Temperatura de salida del agua de enfriamiento [F]

t_{wIN}: Temperatura de entrada del agua de enfriamiento [F]

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
- a) Capacidad máxima de carga
- a) Temperatura del vapor
- a) Temperatura de gases de combustión
- a) Presión estática de gases y aire
- a) Pérdidas de tiro
- a) 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.

- a) Peso del aire seco por libra de combustible quemado

$$WA' = \frac{28.02 (N_2) \times [C_b + 12.01 s]}{32.07} \quad (49)$$

$$0.7685$$

s: Exceso de aire

Para lograr la combustión completa del combustible, se requiere de la siguiente relación aire- combustible :

$$A' \theta = 11.51 C + 34.30 [H - \frac{O}{8}] + 4.335 S \quad (50)$$

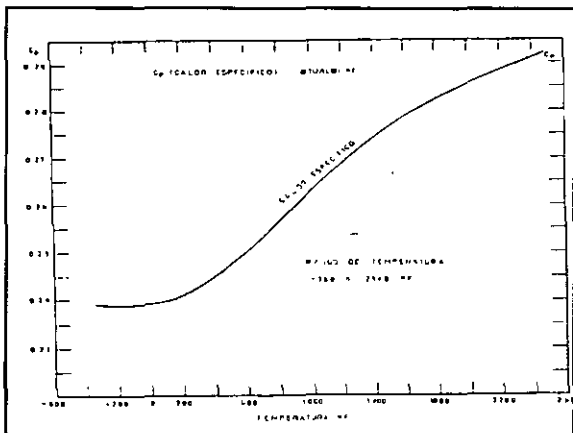
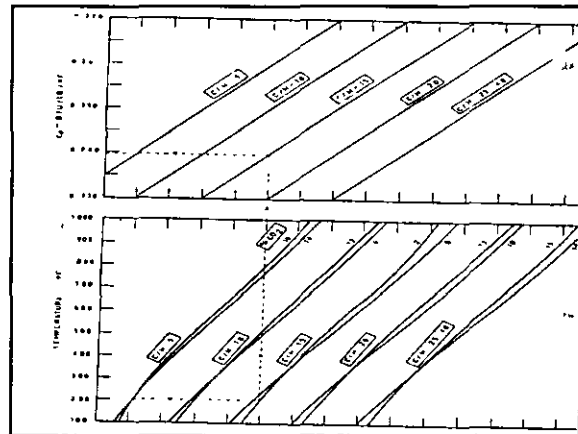
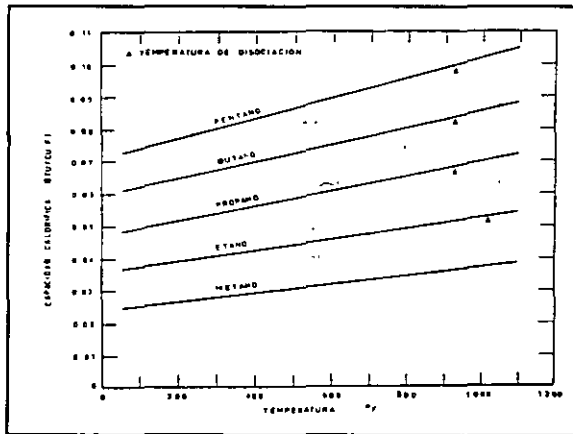
$$7.937$$

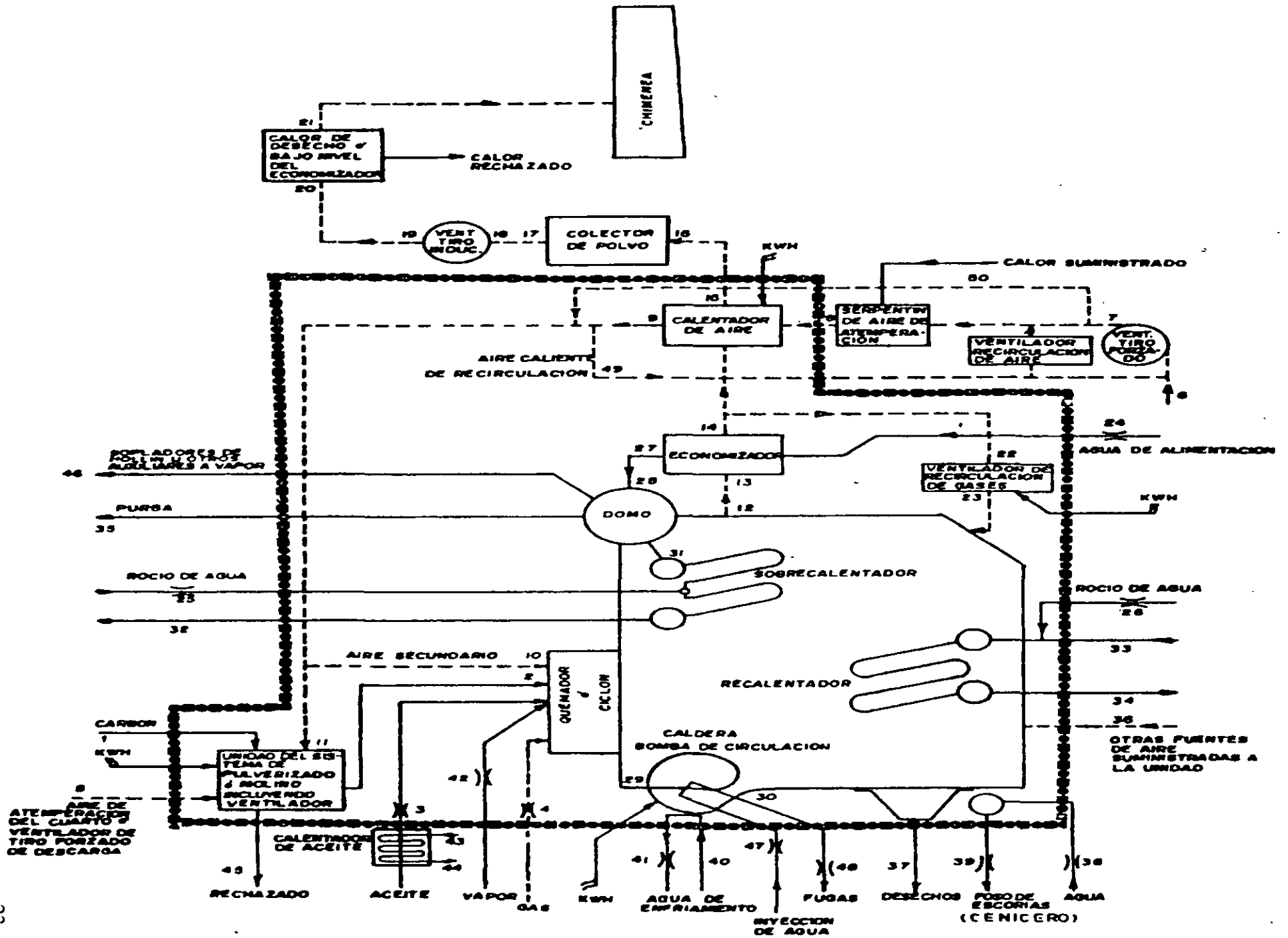
A'θ : lb de aire teórico requerido para quemar completamente 1 lb de combustible [lb/lb c]

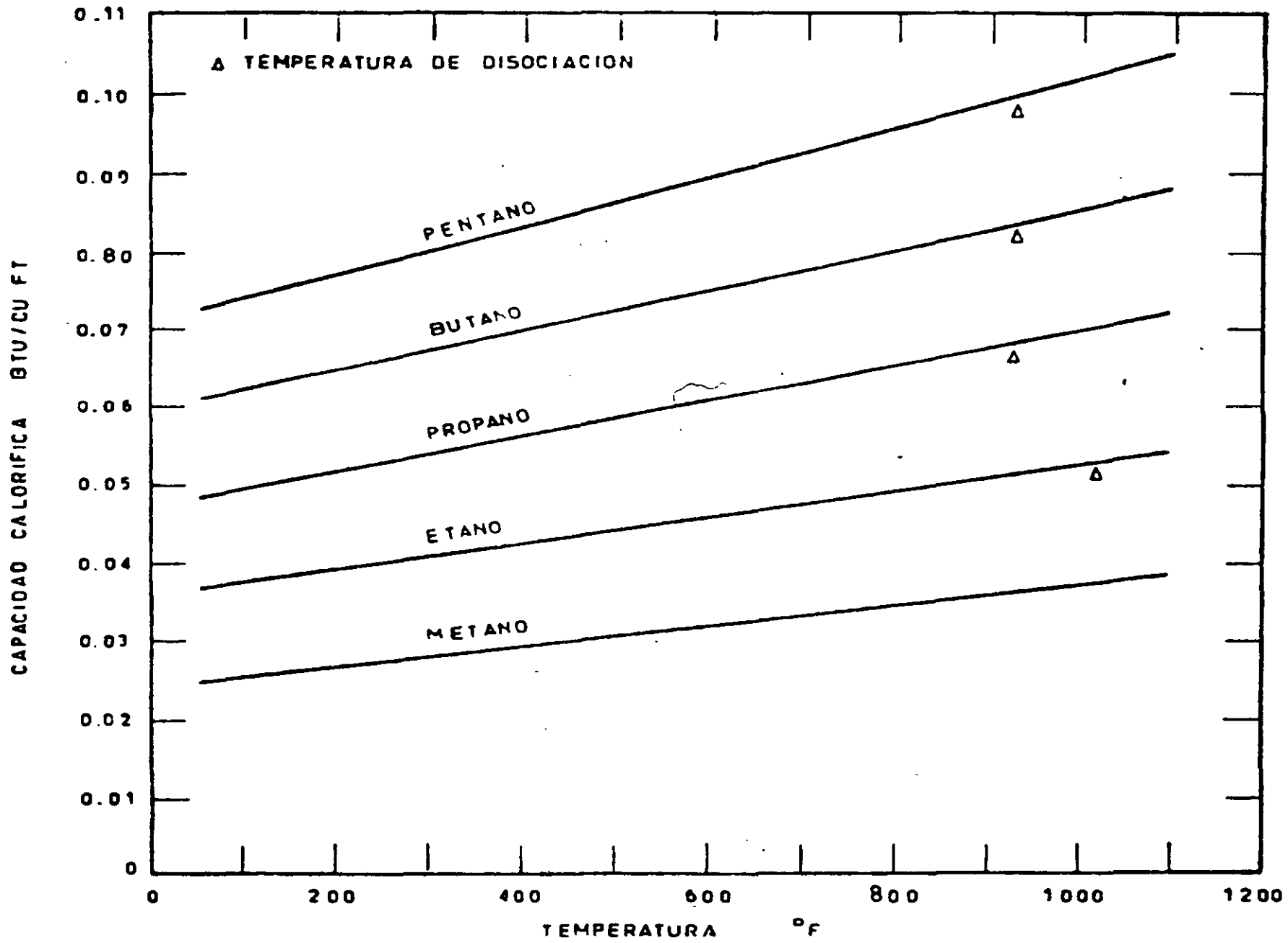
El exceso de aire se calcula como porcentaje :

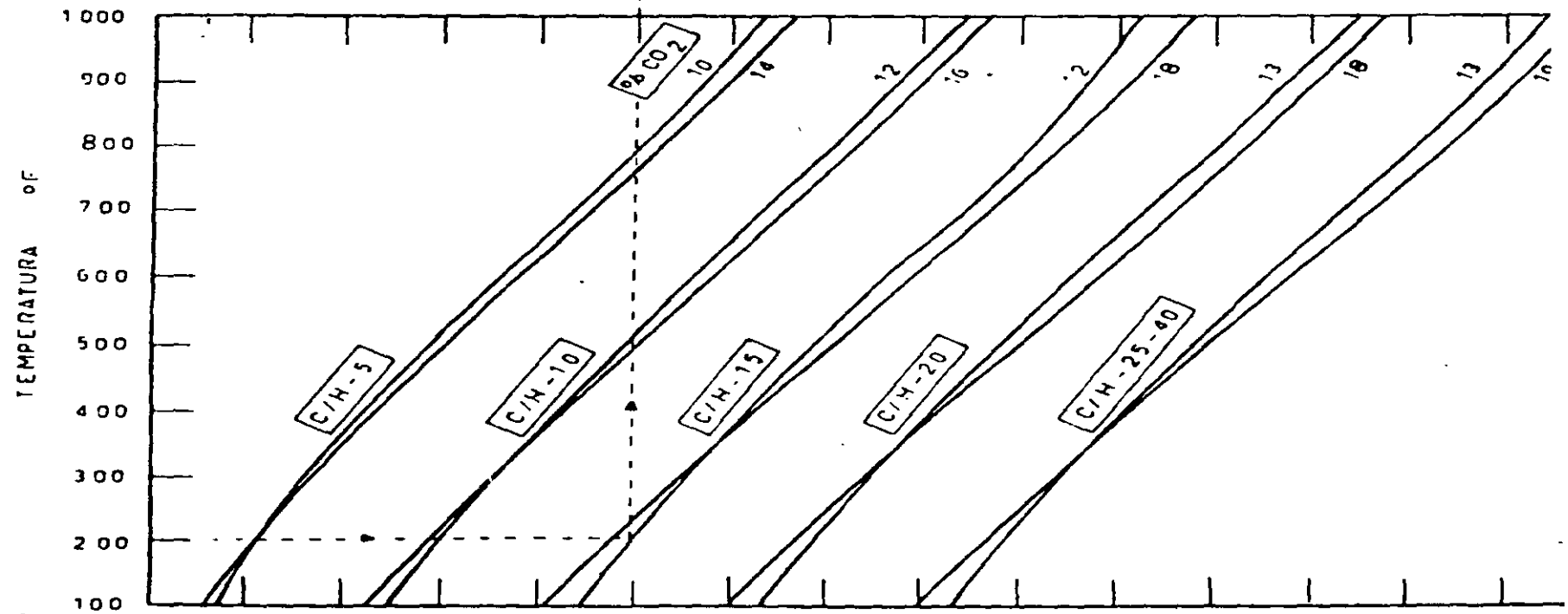
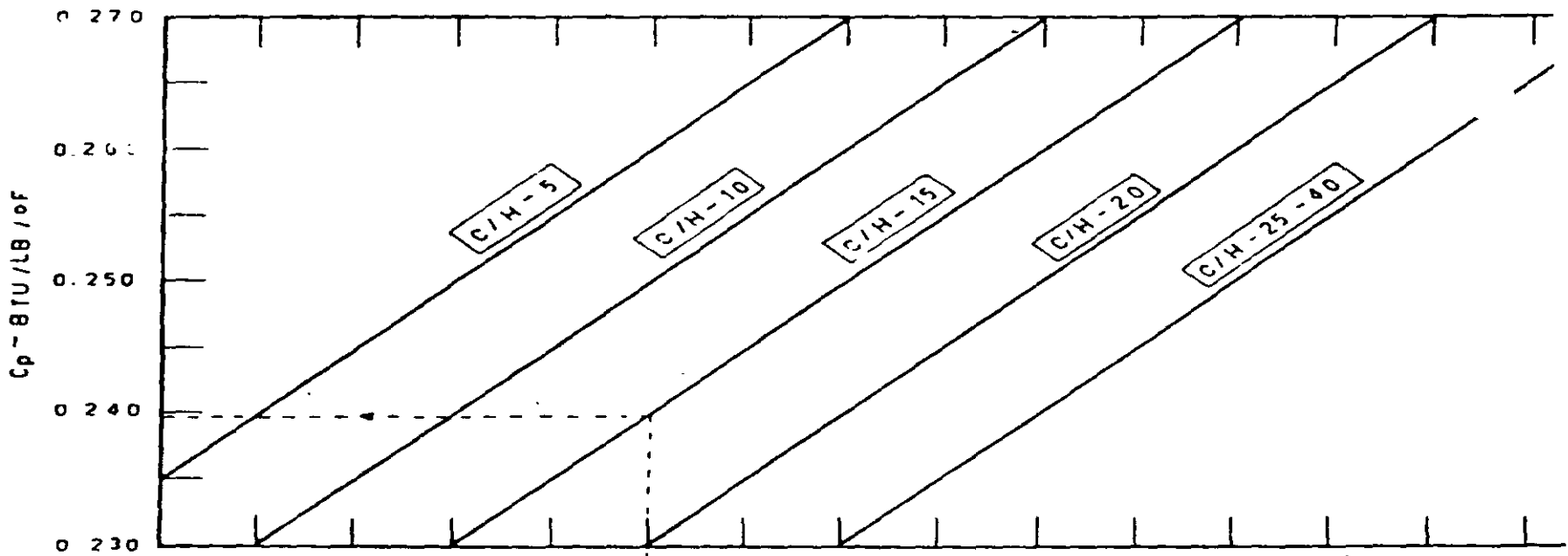
$$A'x = \frac{WA' - A' \theta}{A' \theta} \times 100 \quad (51)$$

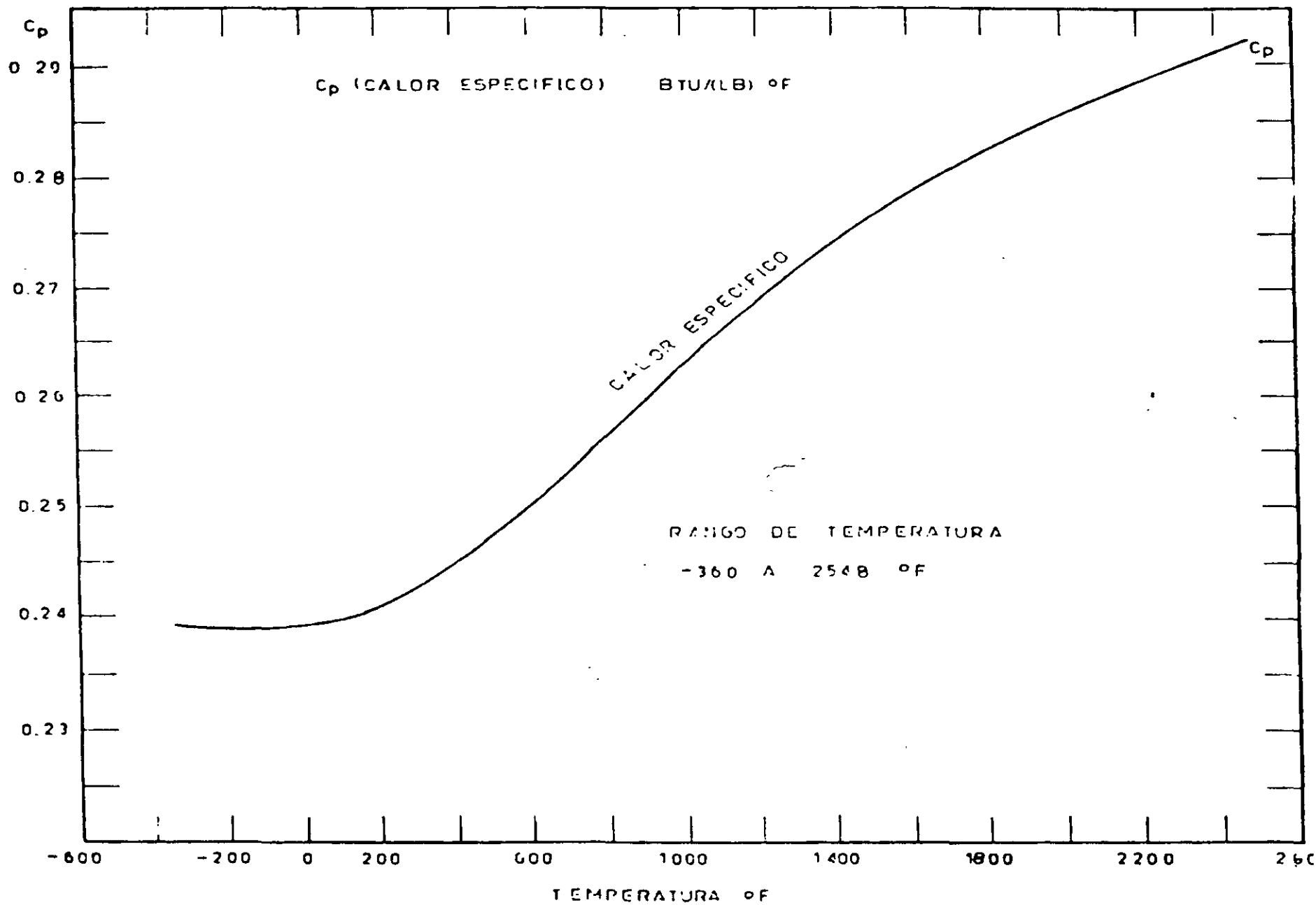
A'x : Porcentaje de exceso de aire [%]













**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS NORMAS ASME PTC 4.1 Y DIN 1942

**EXPOSITOR:
ING. ALFREDO SÁNCHEZ FLORES
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**

4.2. 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 emplee.

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 4.2, y son: calor sensible en el combustible y en 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 los 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.

Es recomendable que sea preparado un reporte por cada prueba, incluyendo los detalles de las condiciones bajo las que se efectuó la misma.

4.3. 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 4.1, 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.

4.4. 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 4.1, 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 ésta sección son las siguientes:

4.4.1 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 4.1. 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)	± 0.10	± 0.10
2) Tanques volumétricos (calibrados)	± 0.25	± 0.25
3) Toberas u orificios para flujos, incluyendo manómetro	± 0.35	± 0.35
4) Toberas u orificios para flujos, incluyendo registrador	± 0.55	± 0.55
5) Básculas de carbón (continua o intermitente) (calibradas)	± 0.25	± 0.25
6) Toberas u orificios para flujos, incluyendo manómetro. No calibrado	± 1.25	± 1.25
7) Toberas u orificios para flujos, incluyendo registrador. No calibrado	± 1.60	± 1.60
8) Poder Calorífico del combustible (carbón)	± 0.50	± 0.50
(gas y combustóleo)	± 0.35	± 0.35
9) Flujo recalentado (basado en los cálculos del balance térmico)	± 0.60	± 0.10
10) Temperatura a la salida del sobrecalentador (instrumentación calibrada)	± 0.25	± 0.15
11) Presión a la salida del sobrecalentador (instrumentación calibrada)	± 1.00	± 0.00

Continuación tabla 4.1,

Medición	Error en la Medición (%)	Error en el cálculo de la Eficiencia (%)
12) Temperaturas de entrada y salida del recalentador (instrumentación calibrada)	± 0.25	± 0.10
13) Presiones de entrada y salida del recalentador (instrumentación calibrada)	± 0.50	± 0.00
14) Temperatura del agua de alimentación (instrumentación calibrada)	± 0.25	± 0.10

b) Método de Pérdidas

Medición	Error en la Medición (%)	Error en el cálculo de la Eficiencia (%)
1) Poder Calorífico del combustible (carbón)	± 0.50	± 0.03
(gas y combustóleo)	± 0.35	± 0.02
2) Análisis de Orsat	± 3.00	± 0.30
3) Temperatura de gases combustión (instrumentación calibrada)	± 0.50	± 0.02
4) Temperatura del aire para la combustión (instrumentación calibrada)	± 0.50	± 0.00
5) Análisis del combustible (carbón)	± 1.00	± 0.10
(hidrógeno)	± 1.00	± 0.10
6) Humedad del combustible	± 1.00	± 0.00

4.4.2 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.

4.4.3 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.

4.4.4 Inicio de la prueba

Se deberán mantener lo mas 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.

4.4.5 Duración de las 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.

4.4.6 Curvas de rendimiento.

Se recomienda, aunque no es obligatorio, que las pruebas se realicen cuando menos para 4 condiciones diferentes de operación, para que las curvas de rendimiento puedan ser dibujadas para los puntos de pruebas respectivos.

4.4.7 Frecuencia de las lecturas.

Las lecturas se tomarán con intervalos de 15 minutos, pero si existen fluctuaciones, se puede variar esta frecuencia.

4.4.8 Instrumentos de medición.

Para información acerca de los instrumentos necesarios para realizar las 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.

4.5. EFICIENCIA POR EL MÉTODO DIRECTO.

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:

$$\eta_g = \frac{\text{Calor aprovechado}}{\text{Calor suministrado}} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

o bien:

$$\eta_g = \frac{\text{Calor absorbido por el fluido de trabajo}}{\text{Calor del combustible} + \text{Calores suministrados}} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

Siendo

η_g : Eficiencia del Generador de Vapor [%]

La determinación del calor suministrado, se efectúa de acuerdo con los siguientes métodos:

4.5.1 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 volumen constante, pero ya que éste es quemado dentro del Generador de Vapor a presión constante, éste 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.

4.5.2 Combustibles líquidos

Se recomienda el empleo de tanques de pesado calibrados, pero de no ser posible, entonces se emplearan 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.

4.5.3 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 reciprocantes.

El análisis del combustible y la determinación de su poder calorífico se realizarán de acuerdo con la norma PTC 3.3.

4.5.4 Calores suministrados

Los calores suministrados serán determinados por los flujos máxicos respectivos, multiplicados por la diferencia de entalpía, 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) Temperaturas de vapor y agua de alimentación.

La temperatura del vapor saturado puede medirse en cualquier punto de la línea del vapor, pero tan cerca como sea posible de su salida.

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.

4.7. EFICIENCIA POR EL METODO DE PERDIDAS 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:

$$\eta_g = 100 - \left[\frac{\text{Pérdidas de Calor}}{\text{Calor del combustible} + \text{Calores suministrados}} \times 100 \right] \quad (\%)$$

(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_2 , CO , O_2 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 para 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 4.1, (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 del 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 de aire primario, secundario 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 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 4.8. 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 4.8, 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.

4.8. INFORMACION ADICIONAL.

4.8.1 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 del vapor a la entrada y salida.
- c) Temperaturas.
- d) Calidad del vapor.

4.8.2 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.

4.8.3 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.

4.9. 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.

4.9.1. 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 (Figuras 4.1 y 4.2)

Suministros: Es el poder calorífico en el combustible, más calores suministrados al fluido de trabajo (figuras 4.1 y 4.2).

-El cálculo correspondiente se realiza por la siguiente expresión:

$$\eta_g = \left[\frac{W_{se31} (h_{s32} - h_{w24}) + W_{we25} (h_{s32} - h_{w25})}{(H_f \times W_{fe}) + B_e} + \frac{W_{se33} (h_{s34} - h_{s33}) + W_{we26} (h_{s34} - h_{w26}) + W_{we35} (h_{w35} - h_{w24})}{(H_f \times W_{fe}) + B_e} \right] \times 100 \quad (4)$$

Para Generadores de Vapor con bombas de recirculación, se debe agregar a la ecuación (5), el siguiente término:

$$\frac{W_{wc48} (h_{w48} - h_{w47}) + (W_{wc47} - W_{wc48}) \times (h_{w24} - h_{w47})}{(H_f \times W_{fc}) + B_e} \quad (5)$$

η_g	Eficiencia bruta	[%]
W_{sc31}	Flujo de vapor que entra al sobrecalentador	[lb/hr]
W_{sc33}	Flujo de vapor recalentado	[lb/hr]
W_{wc25}	Flujo de agua de atomización al sobrecalentador	[lb/hr]
W_{wc26}	Flujo de agua de atomización al recalentador	[lb/hr]
W_{wc35}	Flujo de agua de purgas	[lb/hr]
W_{wc47}	Flujo de agua de inyección a la bomba	[lb/hr]
W_{wc48}	Flujo de agua de fugas en la bomba	[lb/hr]
h_{s32}	Entalpia del vapor a la salida del sobrecalentador	[Btu/lb]
h_{s33}	Entalpia del vapor a la entrada del recalentador	[Btu/lb]
h_{s34}	Entalpia del vapor a la salida del recalentador	[Btu/lb]
h_{w24}	Entalpia del agua de alimentación a la entrada de la unidad	[Btu/lb]
h_{w25}	Entalpia del agua de atomización del sobrecalentador	[Btu/lb]
h_{w26}	Entalpia del agua de atomización del recalentador	[Btu/lb]
h_{w35}	Entalpia del agua de purgas	[Btu/lb]
h_{w47}	Entalpia del agua de inyección	[Btu/lb]
h_{w48}	Entalpia del agua de fugas	[Btu/lb]
W_{fc}	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]

$$H_r = H_{r'} \times \frac{100 - m_r}{100} \quad (6)$$

- $H_{r'}$: Poder calorífico superior del combustible, obtenido por análisis de laboratorio (base seco) [Btu/lb]
- m_r : 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:

$$H_{rp} = H_{rv} + \frac{\Delta\psi R_u T}{778.2} H_{rv} + \Delta\psi \frac{1545 \times 537}{778.2} \quad (7)$$

$$H_{rp} = H_{rv} + \Delta\psi 1066 = H_{rv} + \frac{1066}{4.032} H = H_{rv} + 264.4 H \quad (8)$$

- H_{rp} : Poder calorífico superior del combustible a presión constante [Btu/lb]
- H_{rv} : 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]

$$\Delta\psi = \frac{H}{2 \times 2.016} = \frac{H}{4.032} \quad (9)$$

- H : lb de hidrógeno contenido en la humedad del combustible, por lb de combustible quemado, determinado por análisis de laboratorio [lb/lb c]
- R_u : Constante universal de los gases (1545 [ft lb/lb mol R])
- T : Temperatura standar del calorímetro (537 [R])

778.2: (ft lb = 1 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:

$$\underline{W_{fc} = Q_{fe} \times \gamma_f} \quad (10)$$

Q_{fe} : Consumo de combustible gaseoso quemado [ft³/hr]
 γ_f : Peso específico del combustible. Puede obtenerse por medio de tablas, de la Asociación Americana de Gas, y corregirse a 68 F [lb/ft³]

4.9.1.1 Calores Suministrados

$$\underline{B_e = B_{Ae} + B_{ze} + B_{fe} + B_{xe} + B_{mAe}} \quad (11)$$

B_e : Calor total suministrado, definido como aquellas cantidades de calor suministradas al Generador de Vapor, diferentes del Poder calorífico superior del combustible (figura 4.2) [Btu/hr]
 B_{Ae} : Calor suministrado al aire por los calentadores aire-vapor [Btu/hr]
 B_{ze} : Calor suministrado por el vapor de atomización cuando la fuente es externa al Generador de Vapor [Btu/hr]
 B_{fe} : Calor sensible suministrado por el combustible [Btu/hr]
 B_{xe} : Calor suministrado por los equipos auxiliares dentro de las fronteras del Generador de Vapor [Btu/hr]

B_{mAe} : Calor suministrado por el calor sensible de la humedad que entra del aire [Btu/hr]

4.9.1.1.1 Calor suministrado al aire por los calentadores aire-vapor.

$$B_{Ac} = (W_{A'} - W_{A'S}) \times W_{fe} \times c_{pA'} [t_{A7,AB} - t_{RA}] + W_{A'S} \times W_{fe} \times c_{pA'} [t_{A'S} - t_{RA}] \quad (12)$$

$W_{A'}$: Flujo de aire seco por lb de combustible quemado (relación aire-combustible) [lb/lb c]

$W_{A'S}$: Flujo de aire de atemperación para el pulverizador [lb/lb c]

$c_{pA'}$: Calor específico del aire seco a la temperatura que entra al Generador de vapor. Se calcula con la gráfica 4.5 [Btu/lb F]

t_{A7} o t_{AB} : Temperatura del aire a la entrada del Generador de Vapor. Si la unidad cuenta con calentadores de aire después del calentador principal (figura 4.1), y el aire es suministrado de una fuente externa al Generador de Vapor, la temperatura de entrada será t_{AB} . Pero si se trata de aire recirculado directamente del Generador, la temperatura del aire se tomará como t_{A7} [F]

t_{RA} : Temperatura de referencia del aire [59 F]

$t_{A'S}$: Temperatura del aire suministrado del cuarto de máquinas o de la descarga del ventilador de tiro forzado para atemperación del pulverizador [F]

$$W_{A'} = \frac{(W_{C'N_2} - N)}{0.7685} \quad (13)$$

$W_{C \cdot N_2}$: 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]

$$W_{C \cdot N_2} = \frac{W_{C'} \times 28.02 N_2}{44.01 CO_2 + 32.00 O_2 + 28.02 N_2 + 28.01 CO} \quad (14)$$

$$W_{C'} = \frac{44.01 CO_2 + 32.00 O_2 + 28.02 N_2 + 28.01 CO}{12.01 (CO_2 + CO)} \times \left[C_b + \frac{12.01 S}{32.07} \right] \quad (15)$$

$W_{C'}$: Flujo de gases secos de combustión, por lb de combustible quemado [lb/lb c]
 CO_2 : Porcentaje en volumen de CO_2 en gases de combustión [%]
 O_2 : Porcentaje en volumen de O_2 en gases de combustión [%]
 CO : Porcentajes en volumen de CO en gases de combustión [%]
 N_2 : Porcentaje en volumen de nitrógeno en gases de combustión. Determinado por diferencia del total de CO_2 , CO y O_2 del 100% [%]
 C_b : Cantidad de carbono del combustible que se quema [lb/lb c]
 S : Contenido de azufre en el combustible [lb/lb c]

Sustituyendo los términos anteriores se tiene:

$$W_{C \cdot N_2} = \frac{28.02 N_2}{12.01 (CO_2 + CO)} \left[C_b + \frac{12.01 S}{32.07} \right] \quad (16)$$

$$C_b = C - \frac{W_{d'p'} - H_{d'p'}}{14\,500} \quad (17)$$

- C : Contenido de carbono en el combustible, determinado por análisis de laboratorio [lb/lb c]
- $W_{d'p'}$: Lb de residuos totales secos, por lb de combustible quemado [lb/lb c]
- $H_{d'p'}$: 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]

4.9.1.1.2 Calor suministrado por el vapor de atomización cuando la fuente es externa al Generador de Vapor.

$$B_{ze} = W_{ze} (h_{z42} - h_{Rv}) \quad (18)$$

- W_{ze} : Flujo de vapor de atomización [lb/hr]
- h_{z42} : Entalpia del vapor de atomización a las condiciones de presión y temperatura en el punto de medición [Btu/lb]
- h_{Rv} : Entalpia del vapor saturado a la temperatura de referencia [Btu/lb]

4.9.1.1.3 Calor suministrado por el calor sensible del combustible

$$B_{fe} = W_{fe} \times c_{pf} (t_{r1,3,4} - t_{RA}) \quad (19)$$

c_{pf} : 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 4.3 [Btu/lb F]

t_{r1} ó t_{r3} ,
ó t_{r4} : Temperatura de entrada del combustible (figura 4.1) [F]

4.9.1.5 Calor suministrado por los equipos auxiliares dentro de la frontera del Generador de Vapor

$$B_{xe} = W_{sxc} (h_{sx} - h_{lx}) \eta_x \quad (20)$$

W_{sxc} : Consumo de vapor de auxiliares [lb/hr]

h_{sx} : Entalpia del vapor suministrado para operar los auxiliares [Btu/lb]

h_{lx} : Entalpia a las condiciones de presión de salida y entropia de entrada del vapor para operar los auxiliares [Btu/lb]

η_x : Eficiencia global de operación de los auxiliares, que incluye turbina y eficiencia de acoplamientos [%]

Quando se trata de auxiliares que emplean energia eléctrica:

$$B_{xe} = 3413 \times (\text{KWh}) \times \eta_x \quad (21)$$

η_x : Eficiencia global de operación de auxiliares, que incluye eficiencias de motores y acoplamientos eléctricos e hidráulicos [%]

4.9.1.1.5 Calor suministrado por el calor sensible de la humedad del aire

$$B_{mAe} = W_{mA'} \cdot W_{A'e} \cdot c_{ps} (t_{A7, A8} - t_{RA}) \quad (22)$$

$$W_{A'e} = W_{A'} \cdot x \cdot W_{fc} \quad (23)$$

$W_{mA'}$: Contenido de humedad por lb de aire seco [lb/lb c]
 $W_{A'e}$: Suministro de aire seco total [lb/hr]
 c_{ps} : Calor específico del vapor, determinado de la gráfica 4.4, [Btu/lb F]

4.9.2 Método de pérdidas de calor.

La eficiencia se calcula de acuerdo con la ecuación general:

$$\eta_g = 100 - \frac{L}{H_f + B} \times 100 \quad (24)$$

o bien

$$\eta_g = \frac{\text{salida}}{\text{suministros}} \times 100 \quad (1)$$

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_{UC} : Pérdidas debidas al carbono no quemado en los residuos totales secos [Btu/lb]
- $L_{C'}$: Pérdidas debidas a los gases secos de combustión [Btu/lb]
- L_{mf} : Pérdidas debidas a la humedad del combustible quemado [Btu/lb]
- L_H : Pérdidas por la humedad formada durante la combustión del H_2 [Btu/lb]
- L_{mA} : Pérdidas por la humedad en el aire [Btu/lb]
- L_Z : Pérdidas debidas a la atomización con vapor [Btu/lb]
- L_{CO} : Pérdidas por la formación de monóxido de carbono [Btu/lb]
- L_{UH} : Pérdidas por hidrógeno no quemado [Btu/lb]
- L_{UHC} : Pérdidas por hidrocarburos no quemados [Btu/lb]
- L_{β} : Pérdidas por radiación y convección de las superficies [Btu/lb]
- L_P : 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_d : Pérdidas debidas al calor sensible en partículas de los gases de combustión [Btu/lb]
- L_r : Pérdidas del calor rechazado en el pulverizador [Btu/lb]
- L_w : Pérdidas de calor en el agua de enfriamiento que entra al Generador de Vapor [Btu/lb]

4.9.2.1 Pérdidas debidas al carbono no quemado en los residuos totales secos

$$L_{UC} = W_{d'p'} \times H_{d'p'} \quad (26)$$

$$W_{d'p'} = \frac{W_{d'p'e}}{W_{fe}} \quad (27)$$

$W_{d'p'e}$: 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:

$$L_{UC} = a + b + c + d + e \quad (28)$$

- 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]

4.9.2.2 Pérdidas debidas a los gases secos de combustión

$$L_{G'} = W_{G'} \times C_{PG'} (t_G - t_{RA}) \quad (29)$$

$C_{PG'}$: Calor específico de gases de combustión secos. Determinado por la gráfica 4.7 [Btu/lb f]

t_G : Temperatura de gases combustión a la salida de la unidad en el punto 12, 14 o 15 [F]

4.9.2.3 Pérdidas debidas a la humedad del combustible quemado

$$L_{mF} = m_r (h_{12,14,15} - h_{RW}) \quad (30)$$

$h_{12,14,15}$: Entalpia 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} : Entalpia de líquido saturado a la temperatura de referencia [Btu/lb]

$$P_{mG} = \frac{P_A}{1 - \frac{100 \times 1.5 C_b}{m_G (CO_2 + CO)}} \quad (31)$$

P_{mG} : Presión parcial de la humedad en los gases

P_A : Presión atmosférica

Para usos prácticos, P_{mG} es aproximadamente

parcial existente a la salida del Generador de Vapor. Para cálculos más exactos puede usarse:

$$m_c = 8.936 H + (W_{mA})(W_{A'}) + m_f + W_Z + m_p \quad (32)$$

m_c : lb de humedad en los gases de combustión por lb de combustible quemado [lb/lb]
 W_Z : Lb de vapor de atomización por lb de combustible quemado [lb/lb]
 m_p : Lb de humedad evaporada en el cenicero por lb de combustible quemado [lb/lb]

4.9.2.4 Pérdidas por la humedad formada durante la combustión de H_2

$$L_H = 8.936 \times H (h_{12,14,15} - h_{RW}) \quad (33)$$

8.936 = 8.936 lb de agua producidas de la combustión de 1 lb de hidrógeno.

4.9.2.5 Pérdidas por la humedad en el aire

$$L_{mA} = W_{mA'} \times W_{A'} (h_{12,14,15} - h_{RV}) \quad (34)$$

4.9.2.6 Pérdidas debidas a la atomización con vapor

$$L_Z = \frac{W_{zc}}{W_{fc}} (h_{12,14,15} - h_{RV}) \quad (35)$$

W_{ze} : Lb de vapor de atomización (lb/hr)

4.9.2.7 Pérdidas por la formación de monóxido de carbono

$$L_{CO} = \frac{CO}{CO_2 + CO} \times 10\,160 \times C_b \quad (36)$$

10 160 Btu producidas por la combustión de 1 lb de carbono para convertirlo de CO a CO₂. Representa la diferencia entre el carbono quemado, como se encuentra en el combustible para formar CO₂ (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.

4.9.2.8 Pérdidas por hidrógeno no quemado

$$L_{UH} = \frac{\frac{H_2 \text{ (pies}^3\text{)}}{\text{gases secos (pies}^3\text{)}} \times W_C \times 318.9}{\text{peso específico de gases secos}} \quad (37)$$

H₂ : Contenido de hidrógeno en gases de combustión, determinado por análisis de laboratorio.

318.9 = Btu/ft³ 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:

$$= 0.0401 \left[\frac{\text{CO}_2}{35.11} + \frac{\text{O}_2}{48.28} + \frac{\text{CO}}{55.16} + \frac{\text{N}_2}{55.14} + \frac{\text{SO}_2}{42.12} + \frac{\text{H}_2}{766.36} + \frac{\frac{\text{HC}}{1545}}{M_{\text{HC}}} \right] \quad (38)$$

- HC: Porcentaje de hidrocarburos en gases de combustión [%]
- M_{HC} : Peso molecular de hidrocarburos en gases de combustión [lb mol]

4.9.2.9 Pérdidas por hidrocarburos no quemados

$$L_{\text{UHC}} = \frac{\frac{\text{UHC (pies}^3\text{)}}{\text{gases secos (pies}^3\text{)}} \times W_G \times K_{\text{UHC}}}{\text{peso específico de gases secos}} \quad (39)$$

- UHC: Porcentaje de hidrocarburos no quemados en gases de combustión [%]

$\frac{\text{UHC (pies}^3\text{)}}{\text{gases secos (pies}^3\text{)}}$ Relación de hidrocarburos no quemados, determinados por análisis de laboratorio, a los gases de combustión.

- K_{UHC} : Poder calorífico de hidrocarburos no quemados. Determinado por análisis de laboratorio [Btu/ft³]

4.9.2.10 Pérdidas por radiación y convección a la superficie

L_{β} = Se determinan por la carta de pérdidas de la ABMA, figura 4.8.

Los valores de las pérdidas por radiación obtenidos a través de la

figura 4.8, 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 4.8, 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.

4.9.2.11 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]

$$H_{PW} = \frac{W_{w38} \times (t_{w38} - t_{w38})}{W_{fe}} \quad (41)$$

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_{WW} : Peso específico del agua a la temperatura t_{w39} [lb/ft³]

S_{WR} : Peso específico de residuos [lb/ft³]

h_{w39} : Entalpía del agua descargada [Btu/lb]

$$S_{HL} = C_{PP} \frac{W_{Pe}}{W_{fe}} (t_{w39} - t_{RA}) \quad (43)$$

C_{PP} : Calor específico de los residuos húmedos [Btu/lb F]

W_{Pe} : 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_{pp} : Calor específico de los residuos secos en el foso de escorias
[Btu/lb F]
- $t_{p,37}$: Temperatura de los residuos en el foso de escorias
[F]
- $W_{p,e}$: Peso de los residuos secos que salen del foso de escorias
[lb/hr]

4.9.2.12 Pérdidas debidas al calor sensible en partículas de los gases de combustión

$$L_d = \frac{c_{d'} (t_{C12,14,15} - t_{RA}) W_{d'e}}{W_{fe}} \quad (45)$$

- $c_{d'}$: Calor específico de las partículas en los gases de combustión
[Btu/lb F]
- $W_{d'e}$: Peso de las partículas en los gases de combustión, en el punto de muestreo
[lb/hr]

4.9.2.13 Pérdidas del calor rechazado en el pulverizador

$$L_r = \frac{W_{re} \times H_r}{W_{fe}} \quad (46)$$

- W_{re} : Lb de combustible rechazado en el pulverizador
[lb/hr]
- H_r : Poder calorífico de combustible rechazado, determinado por análisis de laboratorio
[Btu/lb]

4.9.2.14 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_{we} : Flujo de agua de enfriamiento cuando se emplean parades enfriadas por agua [lb/hr]

t_{wOUT} : Temperatura de salida del agua de enfriamiento [°F]

t_{wIN} : 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:

$$B = \frac{B_{Ac} + B_{ze} + B_{fe} + B_{xe} + B_{mAe}}{W_{fe}} \quad (48)$$

B : Calor total suministrado por libra de combustible quemado.
Calor suministrado en forma de calor sensible [Btu/lb]

4.10. OTRAS CARACTERISTICAS DE OPERACION.

Esta sección trata acerca de los factores que influyen en la operación del Generador de Vapor y como pueden 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.

4.11. APENDICE

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.

4.11.1 Peso del aire seco por libra de combustible quemado

$$W_{A'} = \frac{28.02 (N_2) \times \left[C_b + \frac{12.01}{32.07} S \right]}{12.01 (CO_2 + CO) - N} \quad (49)$$

4.11.2 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'_{θ} : lb de aire teorico requerido para quemar completamente 1 lb de combustible [lb/lb c]
 O : lb de oxigeno contenido en el combustible por lb de combustible quemado, determinado por análisis de laboratorio [lb/lb c]

El exceso de aire se calcula como un porcentaje:

$$A'_x = \frac{W_A - A'_{\theta}}{A'_{\theta}} \times 100 \quad (51)$$

- A'_x : Porcentaje de exceso de aire [%]

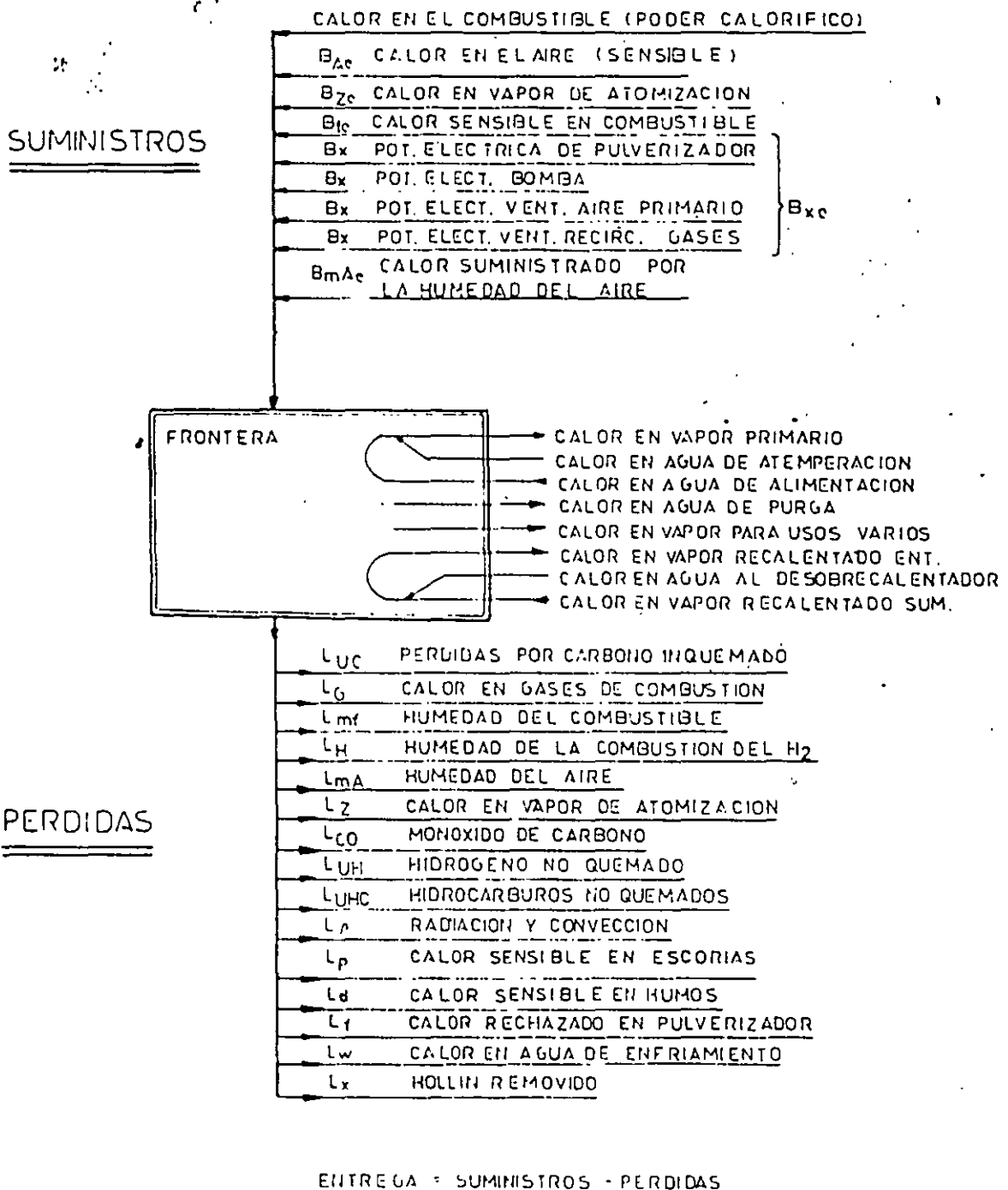


Figura 4.2. Balance de energía en un Generador de Vapor.

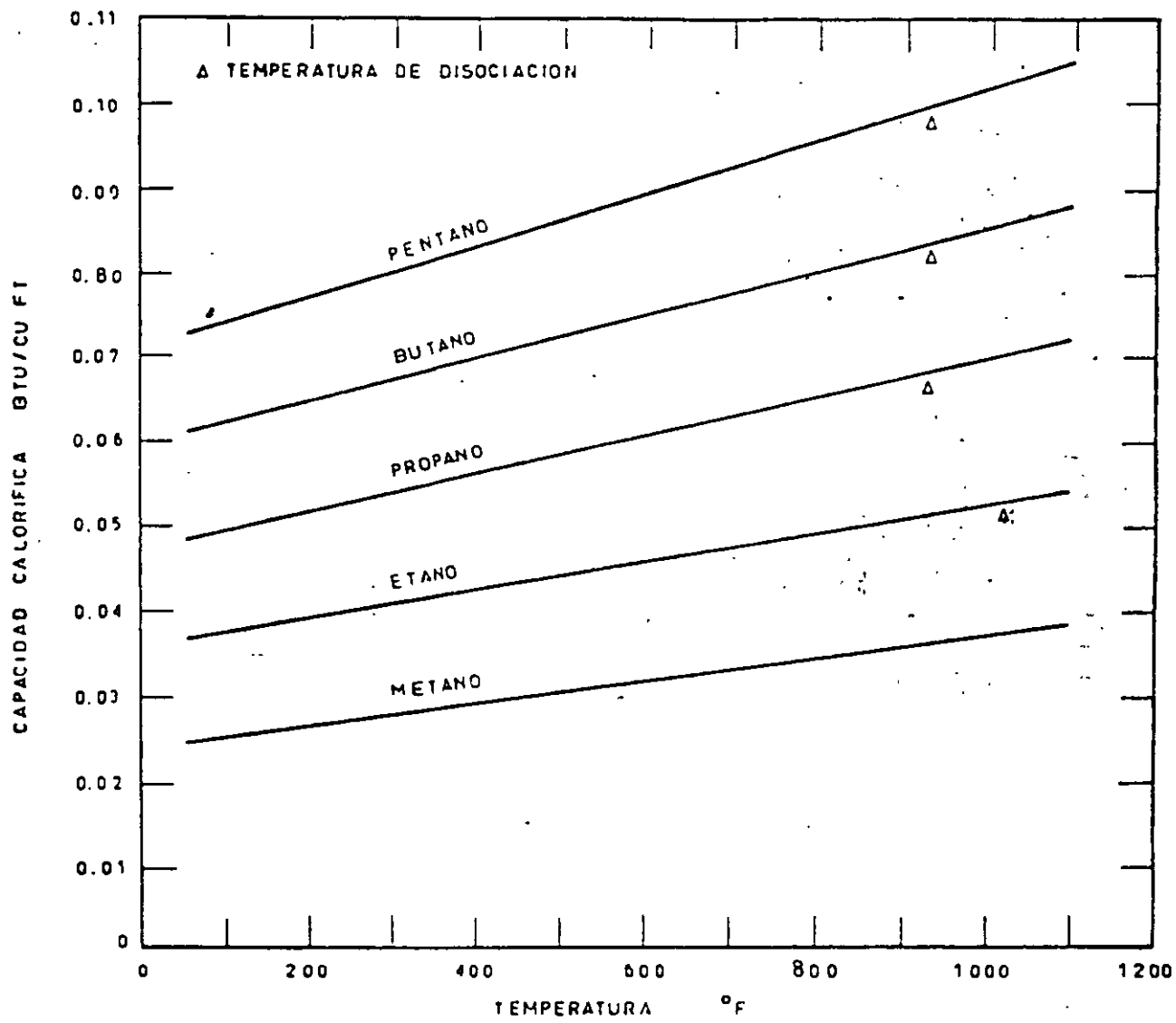


Figura 4.3. Calor específico de gases combustibles.

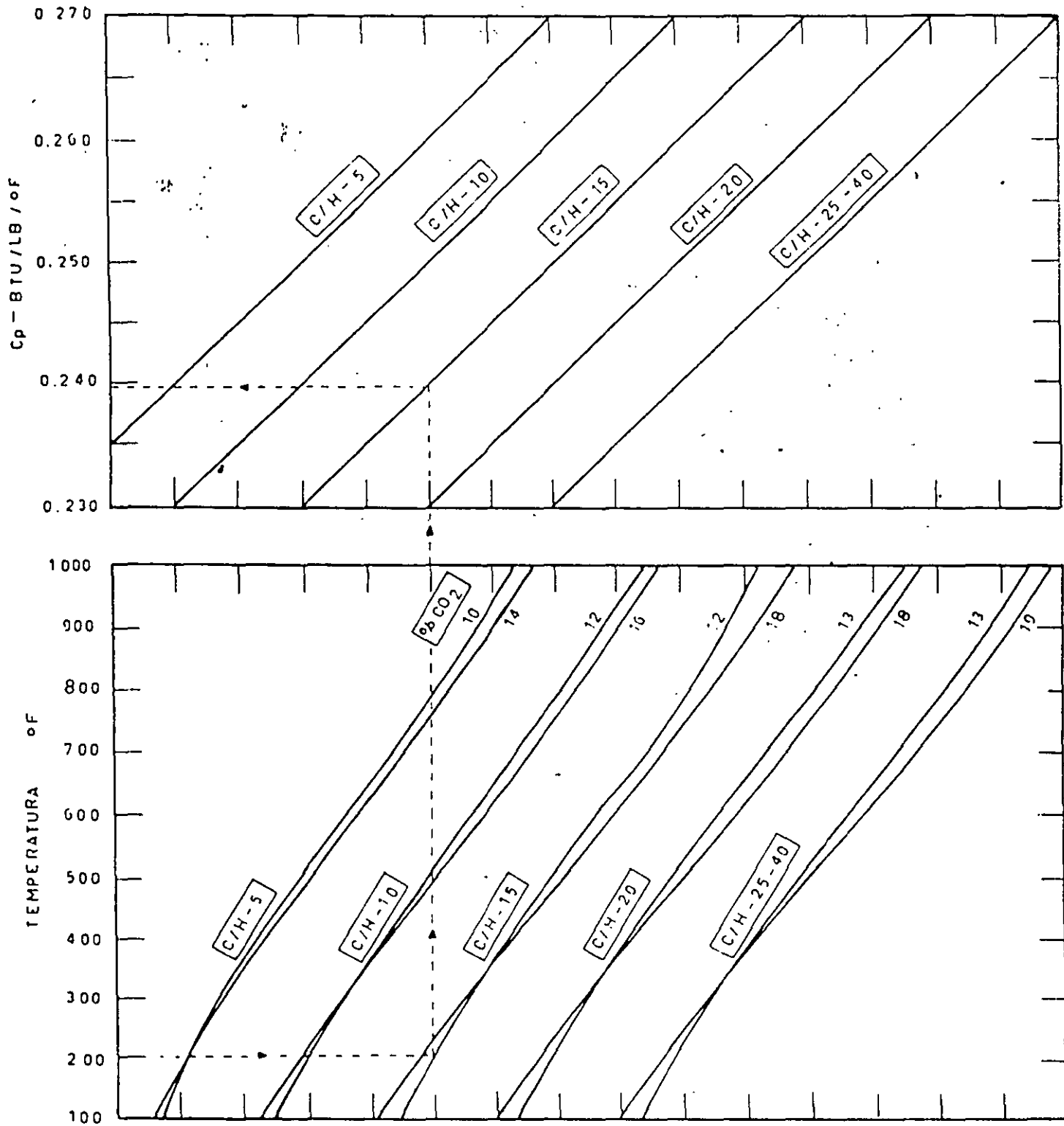


Figura 4.4. Calor específico de gases secos de combustión, para relaciones carbono-hidrógeno (combustible) de 5 a 40.

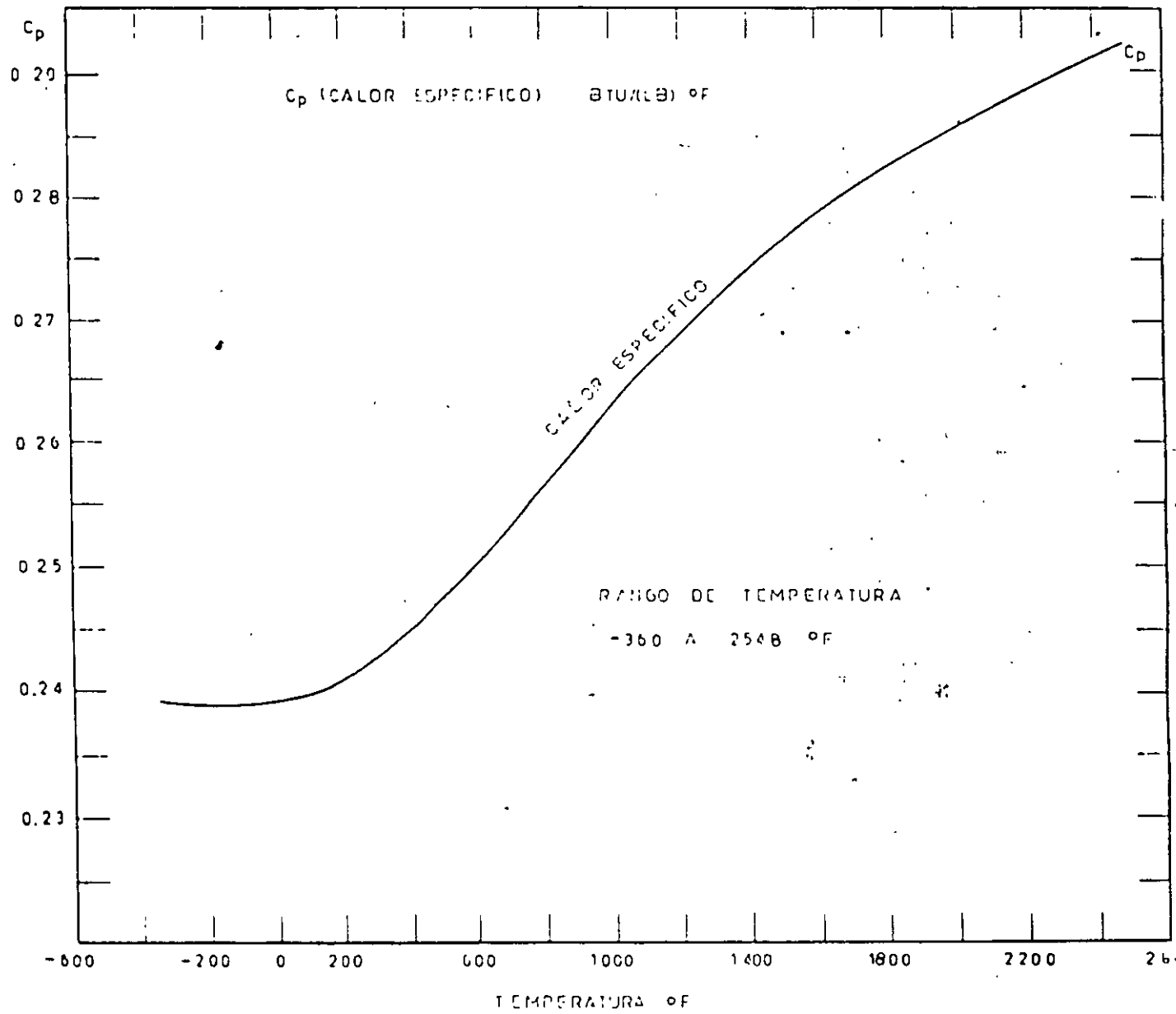


Figura 4.5. Calor específico del aire.

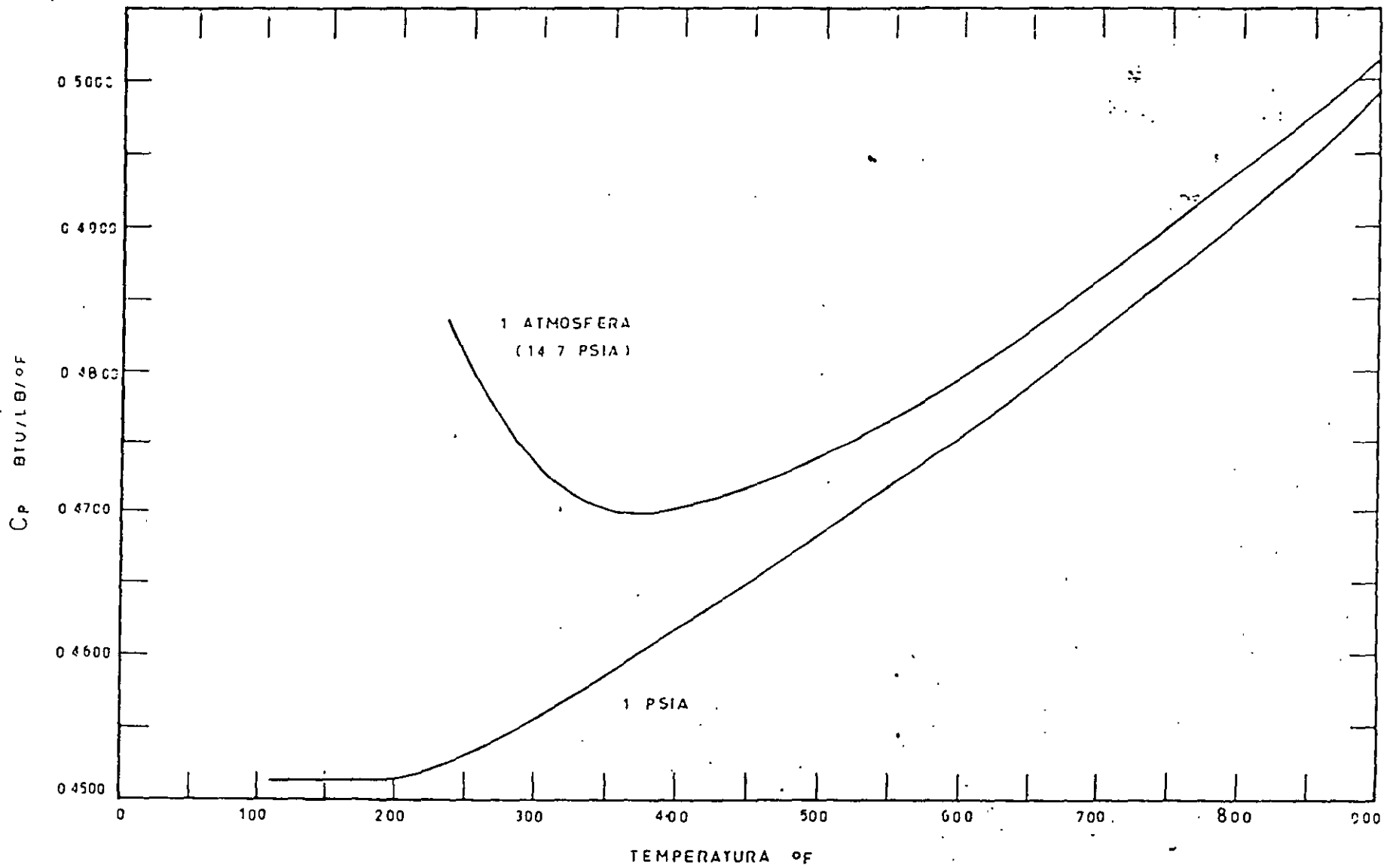


Figura 4.6. Calor específico del vapor de agua.

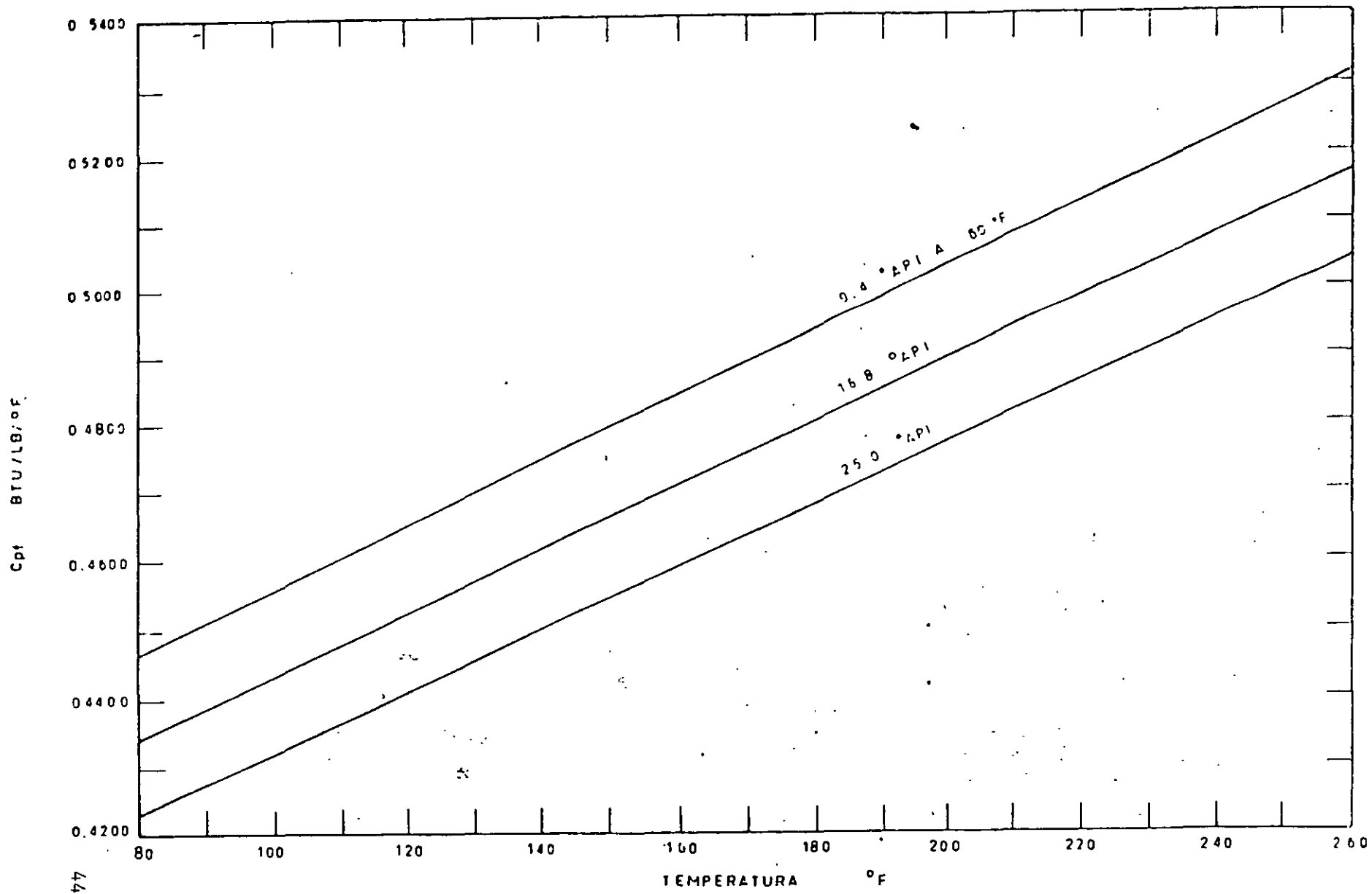


Figura 4.7. Calor específico del combustóleo a 1 atm.

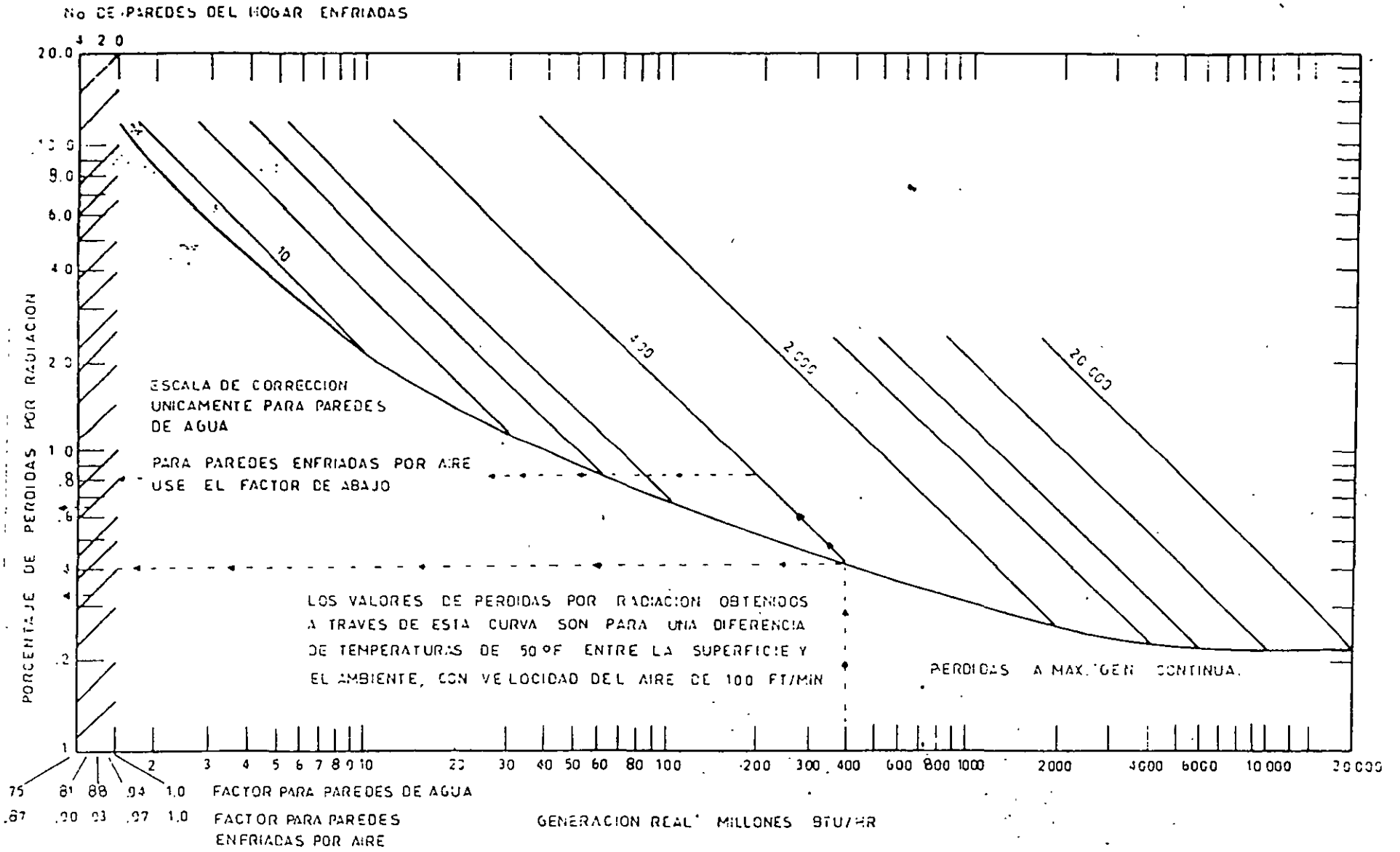


Figura 4.8. Gráfica de pérdidas por radiación.

sobrecalentador, recalentador, calentador de agua de alimentación, calentador de aire, calentador de combustible y quemadores. Sus auxiliares incluyen alimentadores de combustible, planta de pulverizado, ventilador de tiro forzado, ventilador de tiro inducido, instalaciones para remoción de residuos de combustión, calentador de aire a vapor, calentador de combustible y precipitador.

5.1.1 Propósito y extensión.

Las reglas que conforman la norma DIN 1942, son las bases para la aceptación de Generadores de Vapor y sistemas de transmisión de calor.

La prueba de aceptación servirá para verificar si se cumple con la eficiencia garantizada por el fabricante.

Define la eficiencia como la relación entre la cantidad de calor transmitido al agua y vapor dentro del Generador de Vapor, y la energía suministrada al mismo simultáneamente por el combustible, aire, etc.

Los principales aspectos contenidos en esta norma son:

- a) Recomendaciones para las pruebas.
- b) Determinación de los límites del balance de energía del Generador de Vapor y definición de la eficiencia.
- c) Datos relacionados a las tolerancias en las mediciones.
- d) Ejemplos de pruebas de aceptación.

5.1.2 Direcciones generales

Las reglas de esta norma contienen una guía referente al tipo y extensión de las pruebas de aceptación, que podrán hacerse antes de las pruebas o al tiempo de ordenar el Generador de Vapor, como por

ejemplo: extensión del suministro, límites del sistema, temperatura de referencia, método de determinación de la eficiencia, mediciones adicionales, condiciones de prueba tales como: grado de contaminación, condiciones de estado estacionario, duración de la prueba, desviaciones de las condiciones de prueba, purgas al drenaje, uso de otros aparatos de medición de aquellos considerados por esta norma, tablas de vapor y de otras propiedades termodinámicas a ser usadas, métodos especiales de conversión, y localización de los sitios de toma de muestras.

5.2 NORMAS APLICABLES Y GUIAS

Esta sección contiene una lista de las publicaciones que se han tomado como referencia para la elaboración de esta norma, y que en un momento determinado deben consultarse para una mejor comprensión de los procedimientos a seguir para la prueba de los Generadores de Vapor.

Dentro de estas publicaciones cabe hacer mención por su importancia a las siguientes normas:

- a) DIN 1952 (Mediciones de Flujo)
- b) DIN 51701 (Combustibles sólidos)
- c) DIN 51850 (Combustibles gaseosos)
- d) DIN 51853 (Muestras y pruebas de combustibles gaseosos)
- e) DIN 51900 (Pruebas de combustibles sólidos y líquidos)
- f) DIN 1301 (Unidades y definiciones)
- g) DIN 1304 (Simbología general)
- h) DIN 16005 (Mediciones de presión)
- i) DIN 43760 (Mediciones de Temperatura).

5.3 SIMBOLOGIA, UNIDADES Y VALORES NUMERICOS

Esta sección contiene una lista de la simbología empleada en la norma

DIN 1942, con su definición y unidades de medición de cada una de estas variables. Asimismo, esta sección se complementa con la tabla 5.1, que contiene los valores de las constantes principales que se emplean durante los cálculos de la eficiencia de los Generadores de Vapor.

El sistema de unidades empleado en esta norma es el Sistema Internacional.

Definiciones	Simbolo	Valor numérico y unidades
Calor latente del vapor a 25 °C	r_o	2442.5 kJ/kg
Calor específico del vapor de agua entre 25 y 150 °C	$C_{p,m,U}$	1.884 kJ/kg K
Calor específico del aire entre 25 y 150 °C	$C_{p,m,L}$	1.011 kJ/kg K
Calor específico de partículas arrastradas en gases de combustión	C_F	0.84 kJ/kg K
Calor específico de escorias para hogar inferior seco	C_S	1.00 kJ/kg K
para hogar con salida de escorias		1.26 kJ/Kg K
Poder calorífico neto del CO	H_{UCO}	10.115 MJ/kg
Poder calorífico neto de materia no quemada para carbón bituminoso	$H_{u,u}$	33.0 MJ/kg
para carbón café		27.2 MJ/kg
Constante de los gases para el CO		0.296 KJ/kg K

Tabla 5.1. Valores numéricos de algunas de las constantes empleadas en la norma DIN 1942.

5.4 CONSIDERACIONES GENERALES.

Todas las influencias externas se consideran conocidas, tales como:

- a) Propiedades del combustible (composición y poder calorífico neto)
- b) Propiedades del agua de alimentación y agua de atemperación (presión, temperatura, calidad)
- c) Condiciones de operación (presión y temperatura)
- d) Flujo másico del vapor recalentado
- e) Temperatura del aire
- f) Condiciones ambientales
- g) Variables de estado y propiedades aplicadas a los límites del sistema.

5.4.1 Objetivo

El objetivo de la prueba de aceptación es poder comprobar que las condiciones de garantía se cumplen. Tales garantías son esencialmente:

- a) El calor máximo efectivo o vapor generado
- b) Las condiciones de la generación y vapor recalentado (presión y temperatura)
- c) La eficiencia o pérdidas individuales, o temperatura de gases de combustión, respectivamente

Asimismo, el objetivo de las pruebas puede ser conocer:

- a) La eficiencia o pérdidas individuales, para un combustible en particular a cargas parciales.
- b) Las condiciones del vapor, para un combustible en particular a cargas parciales.
- c) Las pérdidas de presión en el Generador de Vapor, aire de combustión y flujo de gases de escape.
- d) El coeficiente de exceso de aire.

- e) Cantidad máxima de agua a temperatura en el recalentador.
- f) La energía requerida para la operación de los auxiliares.
- g) La calidad del vapor.

Cuando se requiere la determinación de la eficiencia global de una planta, deben medirse además las siguientes variables: presión y temperatura del agua y vapor; presión, temperatura y velocidad del aire; presión, temperatura, velocidad y composición de los gases de combustión. Estas mediciones se deben hacer en varios puntos a lo largo de sus respectivos recorridos.

5.4.2 Condiciones de prueba

La eficiencia de un Generador de Vapor puede ser determinada por medio de dos métodos:

Método directo: La eficiencia es determinada con la relación entre la cantidad de energía que es absorbida por un fluido, con respecto a la energía que es suministrada en el mismo periodo de tiempo al Generador de Vapor por el combustible, aire, etc.

Método indirecto: La eficiencia es determinada de las pérdidas en el Generador de Vapor.

Es recomendable que también se determinen las pérdidas más importantes para el método directo.

En principio, ambos métodos son equivalentes. En la decisión sobre la selección de cualquiera de ambos métodos, se deben considerar: facilidades existentes en la planta y la tolerancia de las mediciones.

Sin embargo, si la cantidad de combustible y su poder calorífico neto pueden ser determinados con suficiente precisión, es recomendable emplear el método directo por ser más simple.

CAPITULO IV

ANALISIS DE LA EFICIENCIA TERMICA EN GENERADORES DE VAPOR POR LA NORMA ASME PTC 4.1

La norma ASME PTC 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 una de las secciones que componen la norma ASME PTC 4.1.

4.1. INTRODUCCION.

Aquí se presentan los aspectos generales de la norma ASME PTC 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, recalentador, 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. Asimismo, 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 instrumentación adecuada, así como de su calibración y 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 para combustible, 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, pueden 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.

a).- PARA CALCULAR m_{aa} SE TIENE :

$$m_{aa} = \frac{28 N_2}{12 (CO_2+CO) \times 0.769} \times \frac{m_f C_f - m_r C_r}{m_f \times 100}$$

$$C_1 = \frac{m_f C_f - m_r C_r}{m_f \times 100}$$

DONDE:

C_1 = CARBONO QUEMADO POR KG DE COMBUSTIBLE, EN KG.

m_f = PESO DE COMBUSTIBLE QUEMADO , EN KG .

C_f = CARBONO DEL COMBUSTIBLE SEGUN EL ANALISIS ELEMENTAL , EN % .

m_r = PESO DEL RESIDUO PROCEDENTE DE m_f KILOGRAMOS DE COMBUSTIBLE, EN KG .

C_r = CARBONO CONTENIDO EN EL RESIDUO, EN % .

5).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS A LOS GASES DE CHIMENEA SECOS

ESTA PERDIDA ES GENERALMENTE LA MAS IMPORTANTE Y SE CALCULA POR LA SIGUIENTE FORMULA:

$$H_5 = m d_g c_p (t_g - t_a)$$

DONDE:

H_5 = PERDIDAS EM KJ/KG DE COMBUSTIBLE, TAL COMO SE QUEMA.

$m d_g$ = PESO DE LOS GASES SECOS A LA SALIDA DE LA CALDERA, EN KG POR KG DE COMBUSTIBLE .

c_p = CALOR ESPECIFICO MEDIO DE LOS GASES SECOS .

t_g = TEMPERATURA DE LOS GASES DE COMBUSTION, A LA SALIDA DE LA CALDERA , EN °C .

t_a = TEMPERATURA DEL AIRE AL ENTRAR EN EL HOGAR, EN °C .

a).- $m d_g$ SE PUEDE OBTENER DE LA SIGUIENTE FORMA :

$$m d_g = m_g \times C_1$$

DONDE:

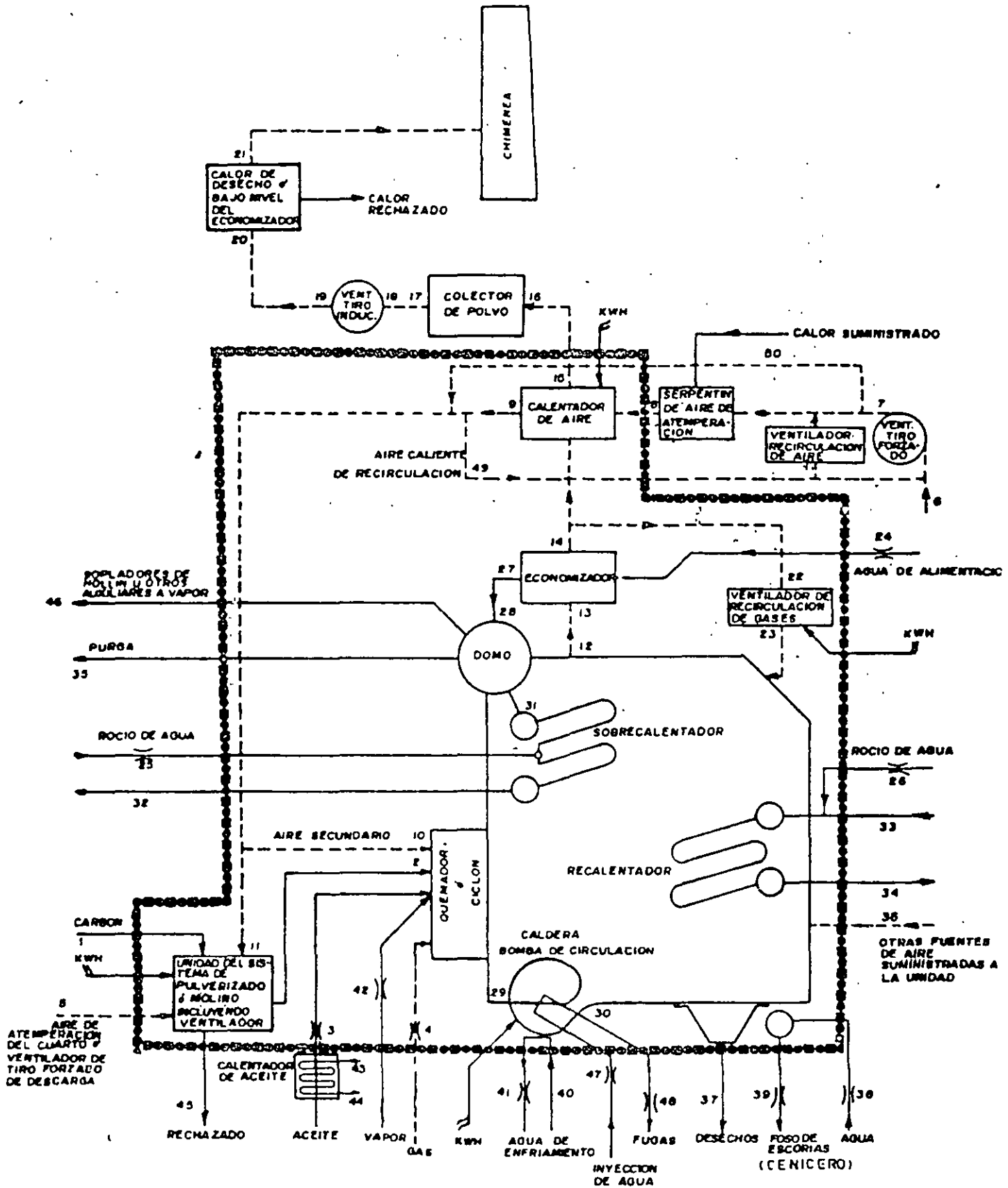


Figura 4.1. Diagrama de un Generador de Vapor según norma ASME PTC 4.1

CAPITULO V

ANALISIS DE LA EFICIENCIA TERMICA EN GENERADORES DE VAPOR POR LA NORMA DIN 1942

La norma DIN 1942, es una norma Alemana, que se ocupa de la determinación del comportamiento de los Generadores de Vapor, y se compone de 10 secciones, que son las siguientes:

1. Alcance, propósito y extensión de la norma DIN 1942
2. Normas aplicables y guías
3. Simbología, unidades y valores numericos
4. Consideraciones Generales
5. Condiciones de prueba
6. Aparatos de medición
7. Balance de energía y eficiencia
8. Tolerancias de medición
9. Conversión a las condiciones de garantía
10. Ejemplos de pruebas de aceptación de Generadores de Vapor.

En este capítulo se analizan cada una de las secciones que componen la Norma DIN 1942 para la prueba de los Generadores de Vapor.

5.1 ALCANCE, PROPOSITO Y EXTENSION DE LA NORMA DIN 1942.

Esta norma se aplica a Generadores de Vapor, sobrecalentadores y sistemas de transmisión de calor (para agua, gases y aceites térmicos), con quemadores individuales, incluyendo sus respectivos equipos auxiliares.

Define al generador de vapor como un equipo compuesto por: evaporador,

FORMAS DE PERDIDA DE ENERGIA

CLASIFICACION	CAUSA	FORMA DE ABATIR	TIPO	MAGNITUD
<p>CALOR PERDIDO EN GASES DE CHIMENEA:</p> <p>A) GASES SECOS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - CALOR SENSIBLE QUE LLEVAN LOS GASES DE COMBUSTION. - EXCESO DE AIRE ALTO - MALA TRANSFERENCIA DE CALOR. 	<ul style="list-style-type: none"> - USO DE SOPLADORES DE HOLLIN. - TRABAJAR CON BAJOS EXCESOS DE AIRE. - TRATAMIENTO ADECUADO DEL AGUA. 	<p>CONTROLABLE</p> <ul style="list-style-type: none"> - SON MEDIDAS QUE SE PUEDEN PREVENIR. 	<p>GENERALMENTE ES LA MAYOR DE TODAS.</p>
<p>B) PERDIDAS POR HUMEDAD .</p> <ul style="list-style-type: none"> - PERDIDA FORMADA POR LA COMBUSTION DEL HIDROGENO. <p>DEL COMBUSTIBLE .</p> <p>DEL AIRE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - EL HIDROGENO CONTENIDO EN EL COMBUSTIBLE. <p>HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE .</p> <p>HUMEDAD DEL AIRE .</p>		<p>INHERENTE</p> <p>INHERENTE</p> <p>INHERENTE</p>	<p>65 % PC LIQUIDO</p> <p>9.0 % PC GAS.</p> <p>12 BTU/1 % HUMEDAD</p> <p>0.3 % PC AIRE .</p>
<p>COMBUSTION INCOMPLETA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - MEZCLAS DEFICIENTES DE AIRE COMBUSTIBLE - MALA PREPARACION DE COMBUSTIBLE LIQUIDO - MALA ATOMIZACION. 	<p>TRABAJAR CON EXCESO DE AIRE ADECUADO.</p> <ul style="list-style-type: none"> - MANTENER UNA DIFERENCIAL DE PRESION PORCENTUAL DEL COMBUSTIBLE Y EL VAPOR DE 1.5-2.0 	<p>CONTROLABLE.</p>	
<p>RADIACION</p>	<ul style="list-style-type: none"> - AISLAMIENTO DEFICIENTE. - GRIETAS, ETC. 	<ul style="list-style-type: none"> - PRACTICAS DE MANTENIMIENTO ADECUADOS. 	<p>CONTROLABLE .</p>	<p>NO DEBE SER MAYOR O EXCEDER EL 20% DEL PCS DEL COMBUSTIBLE.</p>
<p>INDETERMINADAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - FUGAS DE FLUIDOS: - AGUA - VAPOR . 	<p>MANTENIMIENTO ADECUADO</p>	<p>CONTROLABLE .</p>	<p>VARIABLE.</p>

Resultados obtenidos en el calculo de la eficiencia de un
Generador de Vapor, de acuerdo con la norma ASME PTC 4.1

Pérdidas por la formación de CO	LCO	633.71	181.41	Btu/lb
Pérdidas por hidrógeno no quemado	LUH	0.00	0.00	Btu/lb
Pérdidas por hidrocarburos no quemados	LUHC	0.00	0.00	Btu/lb
Pérdidas por radiación y convección de las superficies	LBET1	538.40	121.02	Btu/lb
Pérdidas debidas a la radiación al cenicero, calor sensible de escorias, y si es aplicable, el calor latente de fusión de escorias	LP	0.00	0.00	Btu/lb
Pérdidas debidas al calor sensible de partículas en los gases de combustión	LD	0.00	0.00	Btu/lb
Pérdidas de calor rechazado en el pulverizador	LR	0.00	0.00	Btu/lb
Pérdidas de calor en el agua de enfriamiento que entra al Generador de Vapor	LW	0.00	0.00	Btu/lb
Pérdidas totales	LT	241830.40	118306.10	Btu/lb
Eficiencia				
Eficiencia del Generador de Vapor por el método de pérdidas	EFIC	88.20	81.11	%
Eficiencia del Generador de Vapor por el método directo	EFIC1	84.72	79.73	%

Datos para el cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Datos Generales	(CASO I) COMBUSTOLEO	(CASO II) CARBON
Fecha de la prueba	17/12/70	29/10/70
Duración	10-13 Hrs	8-12 Hrs
Porcentaje de carga	60 %	100 %
Características del Generador de Vapor (Sistema Internacional de Unidades)		
Tipo	Radiante Vertical	Benson
Año de construcción	1970	1968
No. de identificación	4712	4711
Presión de diseño	69 bar	210 bar
Presión máxima de operación	66 bar	
Capacidad nominal de Generación de Vapor	11 kg/s	125 kg/s
Capacidad máxima de Generación de Vapor	13.9 kg/s	139 kg/s
Arreglo de quemadores	Frontales	Pulverizador de carbón
Límites del sistema bajo los que se realizó la prueba	Normal ver Cap. V secc. 5.7.2	Con ventilador de tiro forzado Cap. V, secc. 5.7.3.2
Observaciones		

Datos para el cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Condiciones de la prueba				
Presión barométrica	PU	1.006	0.995	bar
Temperatura ambiente	TU	0.200	14.800	C
Temperatura en cuarto del Generador de Vapor	TK	17.000	21.000	C
Combustible principal				
Contenido de cenizas	A	0.000	0.058	kg/kg _c
Parte evaporada de cenizas (arrastrada por los gases de combustión)	NY	0.000	0.100	kg/kg _c
Contenido de humedad	W	0.003	0.599	kg/kg _c
Contenido de carbono	C	0.862	0.232	kg/kg _c
Contenido de hidrógeno	H	0.113	0.016	kg/kg _c
Contenido de nitrógeno	N	0.001	0.040	kg/kg _c
Contenido de oxígeno	O	0.003	0.046	kg/kg _c
Contenido de azufre	S	0.018	0.007	kg/kg _c
Otros componentes (especificar)		-	-	kg/kg _c
Flujo de combustible	MBO	0.588	53.111	kg _c /s
Poder calorífico superior	HUBS			kJ/kg _c
Poder calorífico inferior	HUB	41260.000	7352.000	kJ/kg _c
Calor específico	CB	1.750	3.100	kJ/kg _c K
Temperatura	TB	119.000	12.000	C
Vapor de atomización				
Flujo de vapor	MZD	0.035		kg/s
Cantidad de vapor de atomización específica	MYZD	0.060		kg/kg _c
Presión del vapor	PZD	10.700		bar
Temperatura del vapor	TZD	258.000		C

Datos para el cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Condiciones del aire para la combustión				
Temperatura en los límites del sistema	TI	18.000	27.800	C
Porción aire infiltrado	XFA	0.000	0.080	kg/kg
Temperatura aire infiltrado	TFA	0.000	21.000	C
Combustible secundario				
Contenido de cenizas	A2	0.000	0.000	kg/kg _c
Parte evaporada de cenizas (arrastrada por los gases de combustión)	NY2			kg/kg _c
Contenido de humedad	W2			kg/kg _c
Contenido de carbono	C2			kg/kg _c
Contenido de hidrógeno	H2			kg/kg _c
Contenido de nitrógeno	N2			kg/kg _c
Contenido de oxígeno	O2			kg/kg _c
Contenido de azufre	S2			kg/kg _c
Flujo de combustible	MB02			kgc/s
Poder calorífico superior	HUBS2			kJ/kg _c
Poder calorífico inferior	HUB2			kJ/kg _c
Calor específico	CB2			kJ/kg _c K
Temperatura	TB2			C
Vapor de atomización				
Flujo de vapor	MZD2			kg/s
Cantidad de vapor de atomización específica	MYZD2			kg/kg _c
Presión del vapor	PZD2			bar
Temperatura del vapor	TZD2			C

Datos para el cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Condiciones del aire para la combustión

Temperatura en los límites del sistema	TI2			C
Porción aire infiltrado	XFA2			kg/kg
Temperatura aire infiltrado	TFA2			C

Condiciones de Vapor Generado

Flujo de Vapor	MD	8.669	126.000	kg/s
Presión del vapor	PD	60.700	162.700	bar
Temperatura del Vapor	TD	498.000	529.600	C

Condiciones del agua de alimentación

Flujo de agua de alimentación	MSP	8.669	110.100	kg/s
Presión del agua alimentación	PSP	62.900	193.200	bar
Temperatura del agua de alimentación	TSP	160.000	235.600	C

Condiciones del agua de purga

Flujo de agua de purga	MAB	0.000	0.000	kg/s
Presión de agua de purga	PAB			bar
Temperatura de agua de purga	TAB			C

Condiciones de atemperación en el sobrecalentador

Flujo de agua de atemperación al sobrecalentador	MED	0.000	15.880	kg/s
Presión del agua de atemperación	PED		193.200	bar
Temperatura del agua de atemperación	TED		235.600	C

Datos para el cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Condiciones del vapor en el recalentador I

Flujo de vapor recalentado en la parte de Alta Presión	MENT1	0.000	8.350	kg/s
Flujo de vapor de entrada del recalentador I	MZI1		117.650	kg/s
Presión del vapor de entrada del recalentador I	PZI1		33.130	bar
Temperatura del vapor de entrada del recalentador I	TZI1		302.700	C
Presión del vapor a la salida del recalentador I	PZI2		31.700	kg/s
Temperatura del vapor a la salida del recalentador I	TZI2		529.800	C

Condiciones de atemperación al recalentador I

Flujo de agua de atemperación al recalentador I	MEZI		2.540	kg/s
Presión del agua de atemperación	PEZI		80.570	bar
Temperatura del agua de atemperación	TEZI		167.000	C

Condiciones del vapor en el recalentador II

Flujo de vapor del recalentador II	MENT2	0.000	0.000	kg/s
Flujo de vapor de entrada del recalentador II	MZ21			kg/s
Presión del vapor de entrada del recalentador II	PZ21			bar

Datos para el cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Temperatura del vapor de entrada del recalentador II	TZ21			C
Presión del vapor a la salida del recalentador II	PZ22			kg/s
Temperatura del vapor a la salida del recalentador I,	TZ22			C
Condiciones de atemperación al recalentador II				
Flujo de agua de atemperación al recalentador II	MEZ2			kg/s
Presión del agua de atemperación	PEZ2			bar
Temperatura del agua de atemperación	TEZ2			C
Gases de combustión				
Contenido de CO ₂	YCO2T	0.1381	0.1300	m ³ /m ³
Contenido de O ₂	YO2T	0.0206	0.0000	m ³ /m ³
Contenido de CO	YCOT	0.0001	0.0001	m ³ /m ³
Temperatura de gases de combustión	TA	133.0000	157.8000	C
Condiciones de cenizas y escorias				
Flujo de cenizas no retornadas (que salen con los gases de combustión)	MF	0.000	2.800	kg/s
Calor específico de cenizas	CF		0.835	kJ/kg K
Relación de materia no quemada en gases de combustión	UF		0.009	kg/kg

Datos para el cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Flujo de escorias	MS	0.000	1.000	kg/s
Temperatura de escorias	TS		525.000	C
Calor específico de escorias	CS		1.004	kJ/kg K
Relación de materia no quemada en escorias	US		0.086	kg/kg
Poder calorífico neto de materia no quemada	HUU		27200.000	kJ/kg
Grado total de cenizas removidas	ETAB		0.000	%
Energía suministrada, independiente del flujo de combustible				
Potencia del motor de molinos de pulverización	PMO	0.000	1997.000	kW
Potencia del motor de bombas de recirculación	PVO	0.000	0.000	kW
Potencia de motor de ventilador de recirculación de gases	PVAO	0.000	0.000	kW
Otros equipos (especificar)	PO	0.000	1400.000	kW
Eficiencia de molinos de pulverización	ETAMO		0.940	%
Eficiencia de bomba de recirculación	ETAVO		0.000	%
Eficiencia del ventilador de recirculación de gases	ETAVAO		0.000	%
Eficiencia otros equipos	ETAO		0.920	%
Potencia eléctrica de separador de polvo	PEN		0.000	kW

Datos para el cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Condiciones del vapor al precalentador de vapor
(pre-precalentador)

Flujo del vapor del precalentador de vapor	MKA	0.246	0.000	kg/s
Presión del vapor a la entrada del precalentador de vapor	PKAI	1.200		bar
Temperatura del vapor a la entrada del precalentador de vapor	TKAI	150.000		C
Temperatura del vapor a la salida del precalentador de vapor	TKA2	80.000		C
Energía entregada, independiente del flujo de combustible				
Flujo de agua de enfriamiento	MKUE	0.000	0.000	kg/s
Temperatura de entrada del agua de enfriamiento	TKUE1			C
Temperatura de salida del agua de enfriamiento	TKA2			C
Pérdidas de calor del separador de polvo	QEN	0.000	0.000	kJ/s

Resultados obtenidos en el cálculo de la eficiencia de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Datos Generales	(CASO I) COMBUSTIBLE	(CASO II) CARBON
Fecha de la prueba	17/12/70	29/10/70
Duración	10-13 Hrs	8-12 Hrs
Porcentaje de carga	60 %	100 %
Características del Generador de Vapor (Sistema Internacional de Unidades)		
Tipo	Radiante Vertical	Benson
Año de construcción	1970	1968
No. de identificación	4712	4711
Presión de diseño	69 bar	210 bar
Presión máxima de operación	66 bar	
Capacidad nominal de Generación de Vapor	11 kg/s	125 kg/s
Capacidad máxima de Generación de Vapor	13.9 kg/s	139 kg/s
Arreglo de quemadores	Frontales	Pulverizador de carbón
Limites del sistema bajo los que se realizó la prueba	Normal ver Cap. V secc. 5.7.2	Con ventilador de tiro forzado Cap. V, secc. 5.7.3.2
Observaciones		

Resultados obtenidos en el cálculo de la eficiencia de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Flujo de calor transmitido en la parte de alta presión	QD	23783.000	309916.400	kJ/s
Flujo de energía útil	QN	23783.000	361917.200	kJ/s
Energía suministrada por el combustible	QZB	24316.480	395460.300	kJ/s
Energías adicionales	QZ	590.180	3165.180	kJ/s
Relación gases de combustión a combustible quemado	MYA	17.173	5:254	kg _c /kg _c
Contenido de CO ₂ en gases de combustión	XCO2	0.181	0.159	kg/kg _{gc}
Contenido de humedad en gases de combustión	XH2O	0.070	0.154	kg/kg
Calor específico de los gases de combustión	CPMA	1.049	1.122	kJ/kg K
Pérdidas por los gases de combustión	LAB	0.0470	0.1170	kJ/kJ _c
Pérdidas por combustión incompleta (CO)	LCOB	0.0003	0.0005	kJ/kJ _c
Pérdidas por escorias	LSB	0.000	0.0026	kJ/kJ _c
Pérdidas por cenizas en gases de combustión	LFB	0.000	0.000	kJ/kJ _c
Pérdidas por radiación	LSTN	0.0017	0.0048	kJ/kJ _c
Energía perdida debido a enfriamiento externo	QKUE	0.000	0.000	kJ/s
Energía perdida en el separador de polvo	QEN	0.000	0.000	kJ/s
Energía perdida no proporcional al flujo de combustible	QV	0.000	0.000	kJ/s

Resultados obtenidos en el cálculo de la eficiencia de un Generador de Vapor, de acuerdo con la norma DIN 1942.

Eficiencia del Generador de Vapor por el método de pérdidas	ETAK	0.9530	0.8748	
Pérdidas relacionadas al suministro total de energía				
Pérdidas por gases de combustión	LA	0.0459	0.1162	
Pérdidas por combustión incompleta (CO)	LCO	0.0003	0.0005	
Pérdidas debidas a escorias y cenizas en gases de combustión	LSF	0.000	0.0022	
Otras pérdidas	LV	0.000	0.000	
Pérdidas debidas a radiación	LST	0.523	0.0048	
Eficiencia del Generador de Vapor por el método directo	ETAK1	0.954	0.9079	

CAPITULO VI

ANALISIS COMPARATIVO DE LAS NORMAS ASME PTC 4.1 Y DIN 1942

En este capítulo se realiza un análisis comparativo entre las normas ASME PTC 4.1 y DIN 1942, señalando las principales diferencias existentes entre ambas, tanto en equipos, suministros de calor y pérdidas, y en general, en los criterios considerados.

La comparación entre las normas se presenta en forma de tablas, para apreciar mejor las diferencias señaladas.

Característica	Norma ASME PTC 4.1	Norma DIN 1942
1. Método para la determinación de la eficiencia.	Métodos directo y de pérdidas de calor	Métodos directo e Indirecto (de pérdidas de calor)
2. Sistema de Unidades	Sistema Inglés. Los calores suministrados y perdidos están en: (Btu/lb).	Sistema Internacional. Se hace referencia a suministros y pérdidas de flujos de energía (debe tenerse presente que en realidad son flujos térmicos), se expresan en: (kJ/s).
3. Frecuencias de tiempo recomendadas para tomar lecturas.	Se recomienda tomar lecturas a intervalos regulares de 15 min., a menos de que existan problemas para mantener las condiciones de operación estables	Se recomienda dependiendo de la variable a medir intervalos de: 3 min. para flujos 5 min. para análisis de gases 10 min. para presiones y temperaturas 15 min. para toma de muestras

Característica	Norma ASME PTC 4.1	Norma DIN 1942
4. Variables a medir para la aplicación del método directo	<ul style="list-style-type: none"> a) Poder calorífico superior del combustible b) Flujo de combustible c) Humedad del combustible d) Flujo de aire para la combustión e) Temperatura del aire para la combustión f) Flujo de vapor generado g) Temperatura del vapor generado h) Presión del vapor generado i) Flujo del agua de alimentación j) Temperatura del agua de alimentación k) Presión del agua de alimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Poder calorífico inferior del combustible. b) Flujo de combustible c) Humedad del combustible d) Temperatura del combustible y aire para la combustión e) Flujo de vapor generado f) Temperatura del vapor generado g) Presión del vapor generado h) Flujo del agua de alimentación i) Temperatura del agua de alimentación j) Presión del agua de alimentación k) Análisis de gases de combustión l) Presiones, temperaturas y flujos para operar auxiliares m) Flujos de vapor de extracción

Característica	Norma ASME PTC 4.1	Norma DIN 1942
5. Variables a medir para la aplicación del método de pérdidas.	<ul style="list-style-type: none"> a) Poder calorífico superior del combustible. b) Flujo de combustible c) Temperatura del combustible. d) Análisis elemental del combustible. e) Flujo, presión y temperatura del vapor de atomización. f) Flujo de aire para la combustión. g) Temperatura del aire para la combustión. h) Humedad del aire para la combustión. i) Flujo del vapor generado. j) Temperatura del vapor generado. k) Presión del vapor generado. l) Flujo del agua de alimentación. m) Temperatura del agua de alimentación. n) Presión del agua de alimentación. o) Flujo, presión y temperatura del agua de atemperación. p) Análisis de los gases de combustión. q) Temperatura de los gases de combustión. 	<ul style="list-style-type: none"> z) Poder calorífico inferior del combustible. b) Flujo de combustible c) Temperatura del combustible d) Análisis elemental del combustible. e) Flujo, presión y temperatura de los medios de atomización. f) Temperatura del aire para la combustión. g) Flujo del vapor generado h) Temperatura del vapor generado i) Presión del vapor generado j) Flujo del agua de alimentación k) Temperatura del agua de alimentación. l) Presión del agua de alimentación. m) Flujo, presión y temperatura del agua de atemperación. n) Análisis de los gases de combustión. o) Temperatura de los gases de combustión.

Característica	Norma ASME PTC 4.1	Norma DIN 1942
	<p>q) Combustible sin quemar arrastrado en los gases de combustión.</p> <p>r) Combustible sin quemar en los colectores de polvo</p> <p>s) Combustible sin quemar en escorias</p> <p>r) Combustible rechazado en el pulverizador de carbón.</p> <p>t) Temperatura presión, y flujo de vapor para operar auxiliares.</p> <p>u) Potencia eléctrica para operar auxiliares.</p>	<p>p) Porción de materia no quemada en escorias</p> <p>q) Temperatura y flujo de escorias</p> <p>r) Energía para operar auxiliares</p> <p>s) Inquemados en cenizas</p> <p>t) Temperatura y flujo de cenizas</p> <p>u) Temperatura y flujo de partículas arrastradas en cenizas</p> <p>v) Poder calorífico, temperatura, análisis y flujo de combustible secundario.</p> <p>w) Presión, temperatura y flujo de vapor al precalentador de vapor.</p> <p>x) Temperatura de entrada y salida así como flujo de agua de enfriamiento</p>

Característica	Norma ASME PTC 4.1	Norma DIN 1942
6. Duración de las pruebas	<p>Dependen del tipo de Generador de Vapor:</p> <p>a) Para unidades que emplean pulverizadores de carbón, con el método directo, no menos de 4 hrs.</p> <p>b) Para unidades con alimentadores mecánicos puede durar hasta 24 hrs., pero no menos de 10 hrs.</p> <p>c) Para unidades que que man combustibles líquidos o gaseosos no menos de 4 hrs. para ambos métodos.</p> <p>d) Con el método de pérdidas, la duración no debe ser menor a 4 hrs.</p>	<p>Con el método directo varia dependiendo del tipo de unidad desde 2 hasta 6 hrs.</p> <p>Con el método indirecto varia desde 1 a 3 hrs.</p>
7.- Calores Suministrados	<p>a) Poder calorífico del combustible.</p> <p>b) Calor suministrado al aire por los calentadores.</p> <p>c) Calor suministrado por el vapor de atomización (fuente externa).</p> <p>d) Calor sensible del combustible.</p> <p>e) Calor sensible de la humedad que entra del aire.</p>	<p>a) Poder calorífico del combustible principal y secundario (cuando se quemaran dos combustibles).</p> <p>b) Energía suministrada de los medios de atomización.</p> <p>c) Energía suministrada con el aire para la combustión.</p>

Característica	Norma ASME PTC 4.1	Norma DIN 1942
	<ul style="list-style-type: none"> c) Calor suministrado por los equipos auxiliares dentro de los límites del Generador de Vapor. 	<ul style="list-style-type: none"> d) Energía de los auxiliares dentro de los límites del Generador de Vapor. e) Energía suministrada por el precalentador de vapor.
8. Pérdidas Consideradas	<ul style="list-style-type: none"> a) Pérdidas por carbono no quemado en residuos b) Pérdidas por gases de combustión c) Pérdidas por humedad del combustible d) Pérdidas por humedad formada durante la combustión e) Pérdidas por humedad del aire f) Pérdidas por el vapor de atomización g) Pérdidas por la formación de CO h) Pérdidas por H₂ no quemado i) Pérdidas por radiación j) Pérdidas por calor sensible en escorias k) Pérdidas por calor sensible en partículas arrastradas en gases de combustión l) Pérdidas por calor rechazado en el pulverizador 	<ul style="list-style-type: none"> a) Pérdidas debidas a los gases de combustión b) Pérdidas por CO no quemado c) Pérdidas por radiación d) Pérdidas de calor en escorias e) Pérdidas de calor en cenizas en gases de combustión

Característica	Norma ASME PTC 4.1	Norma DIN 1942
	m) Pérdidas por el agua de enfriamiento	f) Otras pérdidas.
9. Equipos auxiliares considerados	<p>a) Ventilador de recirculación de gases.</p> <p>b) Bomba de recirculación.</p> <p>c) Precalentador de aire</p> <p>d) Pulverizador.</p>	<p>a) Ventilador de recirculación de gases.</p> <p>b) Bomba de recirculación</p> <p>c) Precalentador de aire.</p> <p>d) Pulverizador.</p> <p>Los límites del sistema se pueden mover para incluir otros auxiliares, que en la norma ASME se consideran fuera de su alcance; tales equipos son:</p> <p>e) Ventilador de tiro forzado</p> <p>f) Ventilador de tiro inducido.</p> <p>g) Separador de polvo.</p>
10. Temperatura de referencia	Se considera a 59 F (15 °C)	Se considera a 25 °C (77 F)
11. Productos de la combustión.	La determinación de los productos de la combustión se hace a través del análisis de laboratorio.	No se requiere de un análisis de laboratorio tan completo, para determinar las cantidades de todos los productos de la combustión, ya que algunos se calculan mediante ecuaciones (capítulo V, sección 5.7.8.6).

Característica	Norma ASTM E 41	Norma DIN 1942
12. Poder calorífico del combustible.	Se emplea el poder calorífico superior, corregido por el contenido de humedad del combustible.	Se emplea el poder calorífico inferior, a partir del cual se determina un poder calorífico equivalente total, que toma en consideración el precalentamiento del combustible y al vapor o aire de atomización.
13. Variaciones permitidas de las condiciones de prueba.	No se especifica ningún valor en particular, por lo que queda sujeto a criterio.	Dependiendo de la variable a medir, se consideran ciertos límites aceptables. Para flujo de vapor la variación permitida es de ± 4 a 10%. Para presiones se considera del ± 2 a 4%.
14. Pérdidas por radiación	Están en función de la cantidad de calor generado y del número de paredes enfriadas. El valor de estas pérdidas puede ir desde .1 a 20%.	Las pérdidas se establecen en función del calor útil y el tipo de combustible empleado. El valor de las pérdidas se encuentra comprendido entre los valores de .1 a 5%. En la suma total de las pérdidas, no se incluyen las debidas a radiación, sino que el término pérdidas totales, solo involucra a las debidas directamente por la combustión. Las pérdidas no relacionadas con el combustible, se incluyen y tratan por separado, tal y como se observa en la ecuación para el cálculo de la eficiencia por el método indirecto.

Características	Norma ASME PTC 4.1	Norma DIN 1942
15. Calor específico de los gases de combustión	Esta en función de la temperatura de los gases de la relación carbono/hidrógeno del combustible y del porcentaje de bioxido de carbono en los gases.	Es función de la temperatura de los gases de combustión y del contenido de humedad y de bioxido de carbono en los gases.

Apartir del análisis comparativo que se efectuó entre las norma ASME PTC 4.1 y DIN 1942, se encontraron diferencias muy importantes a tomar en cuenta, ya que éstas finalmente van a influir en los cálculos realizados. Entre las diferencias más importantes que se pueden destacar se tienen:

- Variables a medir
- Pérdidas consideradas
- Equipos auxiliares considerados
- Temperatura de referencia
- Tiempos de duración de las pruebas
- Poderes caloríficos empleados
- Factor de pérdidas por radiación

De los factores mencionados, los que influyen de manera mas directa en los cálculos de las pérdidas y eficiencia, son: temperatura de referencia, poder calorífico y factor de pérdidas por radiación. También se debe mencionar que la norma DIN 1942, solo considera las pérdidas más importantes, pero permite tomar en cuenta mayor número de equipos auxiliares.

CAPITULO VII

CASOS DE ESTUDIO

En este capítulo, se analiza la diferencia en el cálculo de la eficiencia de los Generadores de Vapor, empleando las normas ASME PTC 4.1 y DIN 1942.

Para este cálculo, se tomaron los mismos datos de prueba de un Generador de Vapor (como se observa en las hojas de datos), pero aplicando en cada caso las condiciones que se señalan en la norma respectiva. El cálculo de las pérdidas y eficiencias, se realizó con los programas de computo NASME y NDIN, elaborados para las normas ASME PTC 4.1 y DIN 1942 respectivamente.

Se presentan dos casos de estudio, el primero corresponde a un Generador de Vapor que quema combustóleo, y el otro, para el caso cuando se emplea carbón como combustible.

Datos para el calculo de la eficiencia y pérdidas de calor en los Generadores de Vapor de acuerdo a la norma ASME PTC 4.1

Datos de la prueba	(CASO I) COMBUSTOLEO	(CASO II) CARBON
Fecha :	17/12/70	29/10/70
Duración :	10-13 Hrs	8-12 Hrs
Porcentaje de carga :	60%	100%
Características del Generador de Vapor (sistema inglés de unidades)		
Tipo de Generador de Vapor	Radiante Vertical	Benson
Año de construcción	1970	1968
No de identificación	4712	4711
Presión de diseño		
Presión máxima de operación		
Capacidad nominal de Generación de Vapor		
Capacidad máxima de Generación de Vapor		
Combustible	Combustóleo	Carbón
Arreglo de quemadores	Frontales	Pulverizador de carbón
Observaciones		

Datos para el calculo de la eficiencia y perdidas de calor en los
Generadores de Vapor de acuerdo a la norma ASME PTC 4.1

Datos de la prueba				
Presión Barométrica	PA	14.59	14.43	psi
Temperatura Ambiente	TAMB	32.36	58.64	F
Combustible				
Contenido de Carbono	C	86.20	23.23	%
Contenido de Hidrogeno	H	11.30	1.67	%
Contenido de Oxigeno	O	0.30	4.62	%
Contenido de Nitrogeno	N	0.10	4.02	%
Contenido de Azufre	S	1.80	0.76	%
Contenido d Cenizas	A	0.00	5.80	%
Contenido de Humedad	MF	0.30	59.90	%
Calor Especifico	CPF	0.51	0.30	Btu/lb F
Poder calorífico superior	HF1	18000.00	3353.00	Btu/lb
Poder calorífico inferior	HF2	17738.61	3160.79	Btu/lb
Consumo de combustible	WFE	4669.12	421546.00	lb/hr
Temperatura	TF	246.20	53.60	F
Vapor de Atomizacion				
Flujo de Vapor	WZE	280.16		lb/hr
Temperatura	TZ	496.40		F
Presión	PZ	155.19		psi
Condiciones del aire para la combustión				
Temperatura del aire	TA7	64.400	82.040	F
Calor Especifico del aire	CPA	0.233	0.238	Btu/lb
Humedad del aire para la combustión	WMA	0.003	0.004	lb/lb _a

Datos para el calculo de la eficiencia y perdidas de calor en los Generadores de Vapor de acuerdo a la norma ASME PTC 4.1

Condiciones de generaci3n

Flujo de vapor a la salida del sobrecalentador.	WSE32	68802.73	1000016.66	lb/hr
Temperatura del vapor a la salida del sobrecalentador.	T32	928.40	985.28	F
Presi3n del vapor a la salida del sobrecalentador.	P32	880.37	2359.76	psi
Calor especifiko vapor que sale del sobrecalentador.	CPS	0.50	0.50	Btu/lb

Condiciones de atemperaci3n al sobrecalentador

Flujo de agua de atemperaci3n al sobrecalentador	WWE25	0.00	126033.84	lb/hr
Presi3n del agua de atemperaci3n	PW25		2802.12	psi
Temperatura el agua de atemperaci3n	TW25		456.08	F

Condiciones del agua de alimentaci3n

Flujo del agua de alimentaci3n	WE24	66802.73	873824.08	lb/hr
Presi3n del agua de alimentaci3n	P24	912.28	2802.12	Psi
Temperatura del agua de alimentaci3n	T24	320.00	456.08	F

Condiciones del vapor recalentado

Flujo de vapor recalentado	WS34	0.00	66270.94	lb/hr
Presi3n del vapor recalentado	P34		459.76	psi
Temperatura del vapor recalentado	T34		985.64	F

Datos para el calculo de la eficiencia y perdidas de calor en los Generadores de Vapor de acuerdo a la norma ASME PTC 4.1

Flujo de vapor a la entrada del recalentador	WSE33	933745.71	lb/hr
Temperatura del vapor a la entrada al recalentador	T33	576.86	F
Presión del vapor a la entrada del recalentador	P33	480.51	psi
Condiciones de atemperación al recalentador			
Flujo de agua de atemperación al recalentador	WS26	0.00 20159.066	lb/hr
Temperatura del agua de atemperación al recalentador	TW26	302.40	F
Presión del agua de atemperación al recalentador	PW26	1168.56	psi
Gases de Combustión			
Contenido de CO2	CO2	- 13.81 13.00	%
Contenido de O2	O2	2.06 0.00	%
Contenido de CO	CO	0.01 0.01	%
Contenido de H2	H2	0.00 0.00	%
Contenido de SO2	SO2	0.00 0.00	%
Temperatura de Gases de combustión	TC	271.40 316.04	F
Calor específico de gases de combustión	CPC	0.24 0.24	Btu/lb F
Contenido de hidrocarburos en gases de combustión.	HC	0.00 0.00	%
Peso molecular de hidrocarburos	MHC		lb/mol

Datos para el calculo de la eficiencia y perdidas de calor en los Generadores de Vapor de acuerdo a la norma ASME PTC 4.1

Relacion H ₂ /gases de combustion	MSG1	0.00	0.00	%
Relacion hidrocarburos/gases de combustion	MSGII			%
Poder calorifico de los hidrocarburos no quemados	KUHC			Btu/ft ³
Condiciones de escorias en el cenicero				
Porcentaje de escorias en el cenicero	P	0.00	0.00	%
Peso especifico de escorias	SWR			lb/ft ³
Calor especifico de escorias	CPP			Btu/lb F
Flujo del agua suministrada al cenicero.	WW38	0.00	0.00	lb/hr
Temperatura del agua a la entrada del cenicero.	TW38			F
Temperatura del agua que sale del cenicero.	TW39			F
Presión del agua que sale del cenicero.	PW39			psi
Peso especifico del agua al cenicero.	SWW			lb/ft ³
Flujo de escorias humedas	WPE			lb/lb _c
Flujo de residuos en gases de combustion				
Particulas arrastradas en punto de muestreo	WDE	0.00	0.00	lb/lb _c
Flujo de residuos	WDPE			lb/hr
Poder calorifico de residuos.	HDP			Btu/lb

Datos para el calculo de la eficiencia y perdidas de calor en los
Generadores de Vapor de acuerdo a la norma ASME PTC 4.1

Condiciones del agua de purga				
Flujo de agua de purga	WW35	0.00	0.00	lb/hr
Temperatura del agua de purga	TW35			F
Presión del agua de purga	PW35			psi
Equipos Auxiliares eléctricos				
Potencia del Pulverizador de carbón	PPUL	0.00	33.28	kWh
Combustible perdido en el pulverizador de carbón	WRE		0.00	lb/hr
Poder calorífico combustible perdido en el pulverizador	HR			Btu/lb
Flujo de aire de atemperación al pulverizador	WA15			lb/hr
Temperatura del aire de atemperación al pulverizador	TA15			F
Potencia de la bomba de recirculación	PBR	0.00	0.00	kWh
Flujo de agua de enfriamiento (para la carcasa de la bomba)	WWE			lb/hr
Temperatura final del agua de enfriamiento (para la carcasa de la bomba)	TWO			F
Temperatura inicial del agua de enfriamiento (para la carcasa de la bomba)	TEMPW1			F

Datos para el calculo de la eficiencia y perdidas de calor en los Generadores de Vapor de acuerdo a la norma ASME PTC 4.1

Flujo del agua de inyección (al sello de la bomba)	WW47			lb/hr
Temperatura del agua de inyección (al sello de la bomba)	TW47			F
Presión del agua de inyección (al sello de la bomba)	PW47			psi
Flujo de agua de fugas (agua que sale del sello de la bomba)	WWE48			lb/hr
Temperatura del agua de fugas (agua que sale del sello de la bomba)	TW48			F
Presión del agua de fugas (agua que sale del sello de la bomba)	PW48			Psi
Potencia del Ventilador de recirculación	PVR	0.00	0.00	kWh
Potencia del precalentador de aire	PPRA	0.00	0.00	kWh
Eficiencia del pulverizador de carbón	EPUL	0.00	94.00	%
Eficiencia de la bomba de recirculación	EBR	0.00	0.00	%
Eficiencia del ventilador de recirculación	EVR	0.00	0.00	%
Eficiencia del precalentador de aire	EPRA	0.00	0.00	%

Resultados obtenidos en el cálculo de la eficiencia de un
Generador de Vapor, de acuerdo con la norma ASME PTC 4.1

Datos de la prueba	(CASO I) COMBUSTOLEO	(CASO II) CARBON
Fecha :	17/12/70	29/10/70
Duración :	10-13 Hrs	8-12 Hrs
Porcentaje de carga :	60%	100%
Características del Generador de Vapor (sistema inglés de unidades)		
Tipo de Generador de Vapor	Radiante Vertical	Benson
Año de construcción	1970	1968
No de identificación	4712	4711
Presión de diseño		
Presión máxima de operación		
Capacidad nominal de Generación de Vapor		
Capacidad máxima de Generación de Vapor		
Combustible	Combustóleo	Carbón
Arreglo de quemadores	Frontales	Pulverizador de carbón
Observaciones		

Resultados obtenidos en el calculo de la eficiencia de un
Generador de Vapor, de acuerdo con la norma ASME PTC 4.1

Calores suministrados

Calor suministrado al aire por los calenta- dores aire-vapor	BAE	9.59	1091.26	MBtu/lb
Calor suministrado por el vapor de atomiza- ción cuando la fuente es externa al Genera- dor de Vapor	BZE	0.11	0.00	MBtu/lb
Calor suministrado por el calor sensible del combustible	BFE	0.44	68.29	MBtu/lb
Calor suministrado por los equipos auxiliares	BXE	0.00		MBtu/lb
Calor suministrado por el calor sensible de la humedad que entra del aire	BMAE	1.82	68.77	MBtu/lb
Calor total suminis- trado	BT	11.97		MBtu/lb

Pérdidas de calor

Pérdidas debidas al carbono no quemado en los residuos totales	LUC	0.00	0.00	Btu/lb
Pérdidas debidas a los gases secos de combus- tión	LG	82556.01	28176.13	Btu/lb
Pérdidas debidas a la humedad del combus- tible quemado	LMF	379.97	70557.78	Btu/lb
Pérdidas por la humedad formada durante la combustión del H_2	LH	127896.40	17578.33	Btu/lb
Pérdidas por la humedad en el aire	LMA	29213.52	1591.42	Btu/lb
Pérdidas debidas a la atomización con vapor	LZ	12.38	0.00	Btu/lb

I.- T E M A : METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE UN GENERADOR DE VAPOR .

II.- OBJETIVO : EL PRESENTE TRABAJO TIENE COMO OBJETIVO FUNDAMENTAL EVALUAR LA EFICIENCIA DE UN GENERADOR DE VAPOR, MEDIANTE LA APLICACION DEL METODO LARGO ASME, EL CUAL PERMITE DETERMINAR A DETALLE LAS PERDIDAS TERMICAS QUE SE TIENEN EN EL SISTEMA .

III.- ANTECEDENTES : PARA EFECTUAR LOS CALCULOS Y APLICAR LA METODOLOGIA, SE CONSIDERO EL GENERADOR DE VAPOR CB-4 QUE CUENTA CON LOS SIGUIENTES ANTECEDENTES :

- CLAVE : CB-4 .
- TIPO DE CALDERA B-1-DRVM 40/26, CON SOBRECALENTADOR INVERTIDO
- CAPACIDAD NOMINAL : 200 TON/HR .
- PRESION DE TRABAJO: 60 KG/CM2 .
- INICIO DE OPERACION ABRIL DE 1988 .
- ULTIMA REPARACION GENERAL, SEPTIEMBRE A OCTUBRE DE 1989 .
- PRESENTA CORROSION INTERNA DESDE SU ARRANQUE .
- ESTE GENERADOR DE VAPOR TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:
 - a).- HOGAR A PRESION.
 - b).- PRECALENTADOR AIRE/GASES .
 - c).- PRECALENTADOR AUXILIAR AIRE-VAPOR .
 - d).- QUEMADOR DE GAS COMBUSTIBLE, COMBUSTOLEO Y ALFALTO .
 - e).- ATOMIZADOR CON VAPOR O CON AIRE EN CASO DE QUEMADORES OVER LOOP .
 - f).- CABEZAL DE QUEMADORES UNICO POR CADA COMBUSTIBLE.
 - g).- CIRCULACION NATURAL.
 - h).- UNA ETAPA DE SOBRECALENTAMIENTO CON CONTROL DE TEMPERATURA DEL VAPOR (ATEMPERACION) .
 - i).- PILOTOS PARA ENCENDIDO .

EQUIPO AUXILIAR :

UNIDAD SOLOAIRE.- SE UTILIZA PARA CONDENSAR POR MEDIO DE ENFRIAMIENTO EL VAPOR DE BAJA PRESION DE 3.5 KG/CM2, ESTE TIPO DE VAPOR SOBRANTE DE LAS TUR

BINAS Y DE LAS PLANTAS SE EMPLEAN EN CUATRO UNIDADES QUE FORMAN UN CONJUNTO (SOLOAIRE) CON LA FINALIDAD DE APROVECHAR UNA PARTE DEL VAPOR SOBRANTE PARA CONDENSARLO POR MEDIO DE MOTOVENTILADORES DE TIROS FORZADOS.

DEAREADOR. - ES UN ACUMULADOR DE AGUA CUYA FUNCION ES ELIMINAR EN SU TOTALIDAD EL OXIGENO RESIDUAL QUE EXISTA EN EL AGUA DE ATEMPERACION Y ALIMENTACION A LAS CALDERAS, POR MEDIO DE UN PROCESO DE PRESION ~~ALTA~~ Y TEMPERATURA A BASE DE VAPOR DE BAJA PRESION, AGUA TRATADA, CONDENSADO Y VENDEO PARA INCONDENSABLES.

IV.- PROPUESTA : SE UTILIZARA EN ESTE TRABAJO EL :

METODO DE SEPARACION DE PERDIDAS (ASME)

BALANCE TERMICO EN UN GENERADOR DE VAPOR .

LA DISTRIBUCION DEL CALOR RESULTANTE DE LA COMBUSTION DEL COMBUSTIBLE EN EL HOGAR DE UN GENERADOR DE VAPOR SE COMPRENDE MEJOR POR MEDIO DE UN BALANCE TERMICO, EL CUAL CONSISTE EN EL CALCULO DEL CALOR ABSORBIDO POR EL GENERADOR DE VAPOR Y DE LAS VARIAS PERDIDAS CALORIFICAS CONCURRENTES EN LA COMBUSTION. LOS CONCEPTOS QUE HAY QUE CONSIDERAR SON LOS SIGUIENTES:

1).- CALOR ABSORBIDO POR EL GENERADOR DE VAPOR :

EL CALOR ABSORBIDO POR EL GENERADOR DE VAPOR (INCLUYENDO RECALENTADORES) PUEDE CALCULARSE DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$H_1 = \frac{m_s}{m_f} (h_g - h_f)$$

DONDE :

H_1 = KJ ABSORBIDOS POR EL AGUA Y VAPOR POR KG DE COMBUSTIBLE, TAL COMO SE QUEMA .

m_s = PESO DEL VAPOR PRODUCIDO POR LA CALDERA (O BIEN RECALENTADO) EN KG/KR .

m_f = PESO TOTAL DE COMBUSTIBLE QUEMADO POR HORA, EN KG, M³/HR TRATANDO DE COMBUSTIBLES GASEOSOS .

h_g = ENTALPIA DE 1 KG DE VAPOR A LA PRESION Y TEMPERATURA EN KJ/KG .

h_f = ENTALPIA DEL LIQUIDO DE 1 KG DE AGUA DE ALIMENTACION EN LAS CONDICIONES EN QUE DICHA AGUA LLEGA A LA CALDERA, EN KJ/KG .

2).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS A LA HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE:

LA HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE SE VAPORIZA Y ABANDONA LA CALDERA EN FORMA DE VAPOR SOBRECALENTADO, LA PRESION ABSOLUTA PARCIAL DEL VAPOR EN LOS GASES DE LOS HUMERALES SE SUPONE QUE VALE 0.068646 BAR, SU TEMPERATURA ES LA DE DICHOS GASES.

$$H_2 = m_m (h'' - h'_f) .$$

DONDE:

H_2 = PERDIDAS CALORIFICAS EN KJ/KG DE COMBUSTIBLE TAL COMO SE QUEMA.

m_m = PESO DE LA HUMEDAD, EN KG DE AGUA POR KG DE COMBUSTIBLE TAL COMO SE QUEMA .

h'' = ENTALPIA DEL VAPOR SOBRECALENTADO A LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE LOS HUMERALES Y A UNA PRESION ABSOLUTA DE 0.068646 BAR, EN KJ/KG .

h'_f = ENTALPIA DEL LIQUIDO A LA TEMPERATURA A LA CUAL EL COMBUSTIBLE ENTRA AL HOGAR, EN KJ/KG .

3).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS AL AGUA PROCEDENTE DE LA COMBUSTION DEL HIDROGENO.

EL HIDROGENO DEL COMBUSTIBLE AL QUEMARSE SE TRANSFORMA EN AGUA, LA CUAL ABANDONA LA CALDERA, EN FORMA DE VAPOR SOBRECALENTADO .

$$H_3 = 9 H_y (h'' - h'_f)$$

DONDE:

H_3 = PERDIDAS CALORIFICAS EN KJ/KG DE COMBUSTIBLE TAL COMO SE QUEMA.

H_y = PESO DE KG DE AGUA POR KG DE COMBUSTIBLE TAL COMO SE QUEMA .

h'' y h'_f MISMAS PUNTO 2 .

4).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS A LA HUMEDAD DEL AIRE SUMINISTRADO

$$H_4 = m_b m_{aa} (h'' - h'_f)$$

DONDE:

H_4 = PERDIDAS CALORIFICAS EN KJ/KG DE COMBUSTIBLE TAL COMO SE QUEMA.

m_{aa} = PESO REAL DE AIRE SECO UTILIZADO POR KG DE COMBUSTIBLE QUEMADO . EN KG .

m_b = PESO DEL VAPOR DE AGUA REQUERIDO PARA SATURAR 1 KG. DE AIRE SECO.

h'' y h'_f MISMAS PUNTO 2 .

$$m_g = \frac{4 \text{ CO}_2 + \text{O}_2 + 700}{3 (\text{CO}_2 + \text{CO})} \quad \text{F} \quad \frac{44 \text{ CO}_2 + 32 \text{ O}_2 + 28 (\text{CO} + \text{N}_2)}{12 (\text{CO}_2 + \text{O}_2)}$$

C_1 , MISMO DEL PUNTO 4 .

6).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS AL COMBUSTIBLE GASEOSO SIN QUEMAR (POR COMBUSTION INCOMPLETA).

ESTA PERDIDA GENERALMENTE ES PEQUEÑA Y ES DEBIDO A QUE EL AIRE SE SUMINISTRA EN CANTIDAD INSUFICIENTE, LO CUAL DA COMO RESULTADO QUE PARTE DEL CARBONO DEL COMBUSTIBLE FORME OXIDO DE CARBONO .

$$H_6' = \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \times 23.5827 \times 10^3 \times C_1$$

H_6 = PERDIDAS CALORIFICAS EN KJ/KG DE COMBUSTIBLE TAL COMO SE QUEMA.

CO y CO_2 = EN % VOLUMEN, DETERMINADOS POR ANALISIS DE LOS GASES DE LOS HUMERALES.

C_1 = PESO DE CARBONO QUEMADO POR KG DE COMBUSTIBLE, EN KG .

7).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS AL COMBUSTIBLE SIN CONSUMIR, CONTENIDO EN LAS CENIZAS Y ESCORIAS.

PARTE DEL CARBONO DEL COMBUSTIBLE, YA SEA SIN QUEMAR O PARCIALMENTE QUEMADO CAE EN EL CENICERO. ESTA PERDIDA DEPENDE DEL TIPO DE PARRILLA, VELOCIDAD DE COMBUSTION Y TAMAÑO Y CLASE DE CARBON .

$$H_7 = \frac{34058.64 \ m_r \ C_r}{m_f}$$

m_r = PESO DE CENIZAS Y ESCOBILLAS, EN KG/HR .

C_r = PESO DE CARBONO, EN KG POR KG DE CENIZAS Y ESCORIAS .

8).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS AL HIDROGENO E HIDROCARBUROS SIN CONSUMIR, RADIACION Y OTRAS PERDIDAS.

ESTAS PERDIDAS SE DETERMINAN RESTANDO EL CALOR ABSORBIDO POR LA CALDERA Y LAS PERDIDAS CALORIFICAS ANTES CALCULADAS, DEL PODER CALORIFICO DEL COMBUSTIBLE, TAL COMO SE QUEMA. ENTONCES ESTAS PERDIDAS VARIAS SON LAS QUE NO SE PUEDEN MEDIR :

$$H_8 = F - (H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7) .$$

DONDE:

F= PODER CALORIFICO SUPERIOR DEL COMBUSTIBLE QUEMADO, EN KJ/KG O KJ/M³ TRATANDOSE DE COMBUSTIBLES GASEOSOS .

9).- CALCULO DEL RENDIMIENTO GLOBAL DEL GENERADOR DE VAPOR,

EN CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO CUALESQUIERA, ES LA RELACION ENTRE EL CALOR TRANSMITIDO Y LA ENERGIA SUMINISTRADA EN FORMA DE COMBUSTIBLE .

$$e_b = \frac{m_s (h - h_f)}{m_f \times F} \times 100$$

DONDE:

Q TRANSMITIDO = $m_s (h - h_f)$ (=) KJ/HR

Q SUMINISTRADO = $m_f \times F$ (=) KJ/HR

e_b = RENDIMIENTO DEL GENERADOR DE VAPOR, EN %, INCLUYENDO CALDERA, RECALENTADOR, HOGAR, CAMISAS DE AGUA, CALENTADOR DEL AIRE Y ECONOMIZADOR .

m_f = PESO TOTAL DE COMBUSTIBLE QUEMADO POR HORA, EN KG, EN M³ POR HORA- TRATANDOSE DE COMBUSTIBLES GASEOSOS .

F = PODER CALORIFICO SUPERIOR DEL COMBUSTIBLE QUEMADO, EN KJ/KG, EN KJ/M³ N TRATANDOSE DE COMBUSTIBLES GASEOSOS .

10).- EVALUACION DE PERDIDAS.

$$PERDIDAS = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7 + H_8$$

COMO ESTAS ESTAN EN KJ/KG, SE TIENEN QUE DIVIDIR ENTRE LA CANTIDAD DE COMBUSTIBLES USADOS EN KG/HR, TAL COMO SE QUEMAN, Y SE EXPRESARAN EN KJ/HR

$$\% \text{ PERDIDAS} = \frac{\text{PERDIDAS (KJ/KG)} \times 100}{m_f \text{ (KG/HR)}}$$

I N D I C E

I.- T E M A

II.- O B J E T I V O

III.- A N T E C E D E N T E S

IV.- P R O P U E S T A

V.- C O N C L U S I O N E S

MEMORIA DE CALCULO

BALANCE TERMODINAMICO

PUNTO 1.- AGUA DE ALIMENTACION

$$P = 65.1 \text{ BAR}, T = 96 \text{ }^\circ\text{C}, h_f = 407.05 \text{ KJ/KG}, s_f = 1.254 \text{ KJ/KG}$$

PUNTO 2.- DOMO VAPOR (LIQUIDO SATURADO)

$$P = 65.1 \text{ BAR}, T = 281 \text{ }^\circ\text{C}, h_f = 1241.2 \text{ KJ/KG}, s_f = 3.076 \text{ KJ/KG}$$

PUNTO 3.- DOMO VAPOR (VAPOR SATURADO)

$$P = 65.1 \text{ BAR}, T = 281 \text{ }^\circ\text{C}, h_g = 2778 \text{ KJ/KG}, s_g = 5.8497 \text{ KJ/KG}$$

$$h_{fg} = 1537.75 \text{ KJ/KG}$$

PUNTO 4.- VAPOR SOBRECALENTADO

$$P = 65.1 \text{ BAR}, T = 380 \text{ }^\circ\text{C}, h_g = 3116.8 \text{ KJ/KG}, s_g = 6.4127 \text{ KJ/KG}$$

PUNTO 5.- VAPOR ATEMPERADO

$$P = 65.1 \text{ Bar}, T = 360 \text{ }^\circ\text{C}, h_g = 3058.8 \text{ KJ/KG}, s_g = 6.3261 \text{ KJ/KG}$$

PUNTO 6.- VAPOR SOBRECALENTADO FINAL

$$P = 65.1 \text{ BAR}, T = 475 \text{ }^\circ\text{C}, h_g = 3355.75 \text{ KJ/KG}, s_g = 6.758 \text{ KJ/KG}$$

$$Q \text{ TRANSMITIDO} = Q_{1,2} + Q_{2,3} + Q_{3,4} - Q_{4,5} + Q_{5,6}$$

$$Q_{1,2} = m_{ag} (h_2 - h_1) = 151,125 \text{ KG/HR} (1241.2 - 407.05) \text{ KJ/KG} \\ = 126.03 \text{ MJ/HR}$$

$$Q_{2,3} = m_{ag} (h_3 - h_2) = 151,125 \text{ KG/HR} (2778 - 1241.5) \text{ KJ/KG} \\ = 232.25 \text{ MJ/HR}$$

$$Q_{3,4} = m_v - m_{\text{purga}} (h_4 - h_3) = (151,125 - 7,229) (3116.8 - \\ .2778) = 48.752 \text{ MJ/HR}$$

$$Q_{4,5} \text{ (perdido)} = (m_v - m_{\text{purga}})(h_4 - h_5) + m_{\text{agua atemp.}}(h_1 - h_5) \\ = 143,896 (3058.8 - 3116.8) + 16,062 (3058.8 - 407.5) \\ = (- 8.345968 + 42.592) \text{ MJ/HR} = -34.2464 \text{ MJ/HR}$$

$$Q_{5,6} = m_{\text{vapor atemp.}} (h_6 - h_5) = 143,896 + 16,062 (3355.75 - 3058.8) \\ = 47.50 \text{ MJ/KG}$$

$$Q \text{ TRANSMITIDO} = (126.03 + 232.25 + 48.752 - 34.2464 + 47.50) \text{ MJ/KG} \\ = 420.286 \text{ MJ/KG}$$

ESTE VALOR DEL CALOR TRANSMITIDO ES BASTANTE EXACTO PUES CONSIDERA EL CALOR PERDIDO AL ATEMPERAR EL VAPOR CON AGUA A 90 °C Y LAS PURGAS.

CONSIDERANDO SOLO LA MASA DE VAPOR FINAL PRODUCIDA POR LA CALDERA.

$$Q_{1,6} = 159,958 \text{ KG/HR} (3355.75 - 407.05) = 471.668155 \text{ MJ/KG}$$

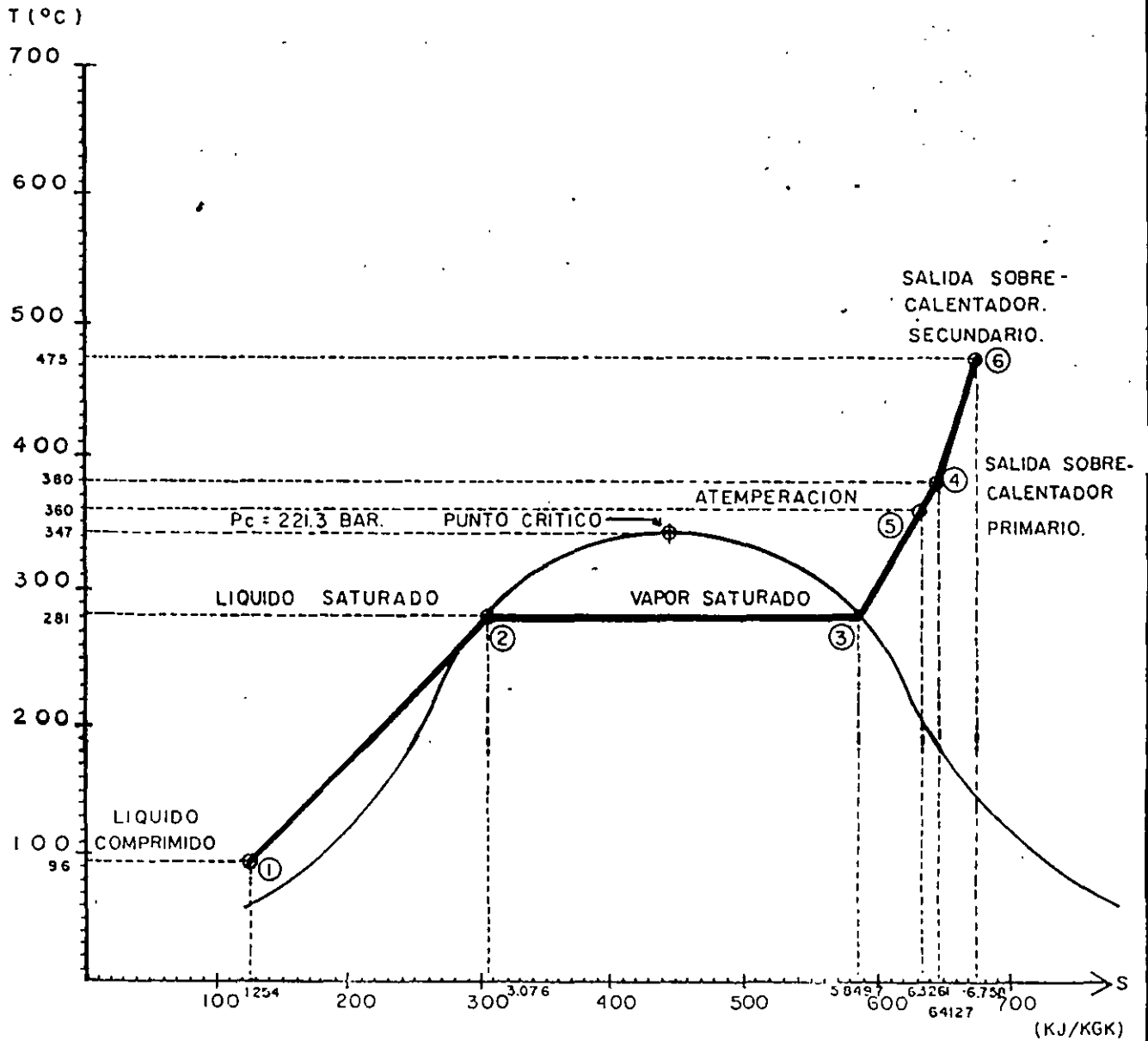
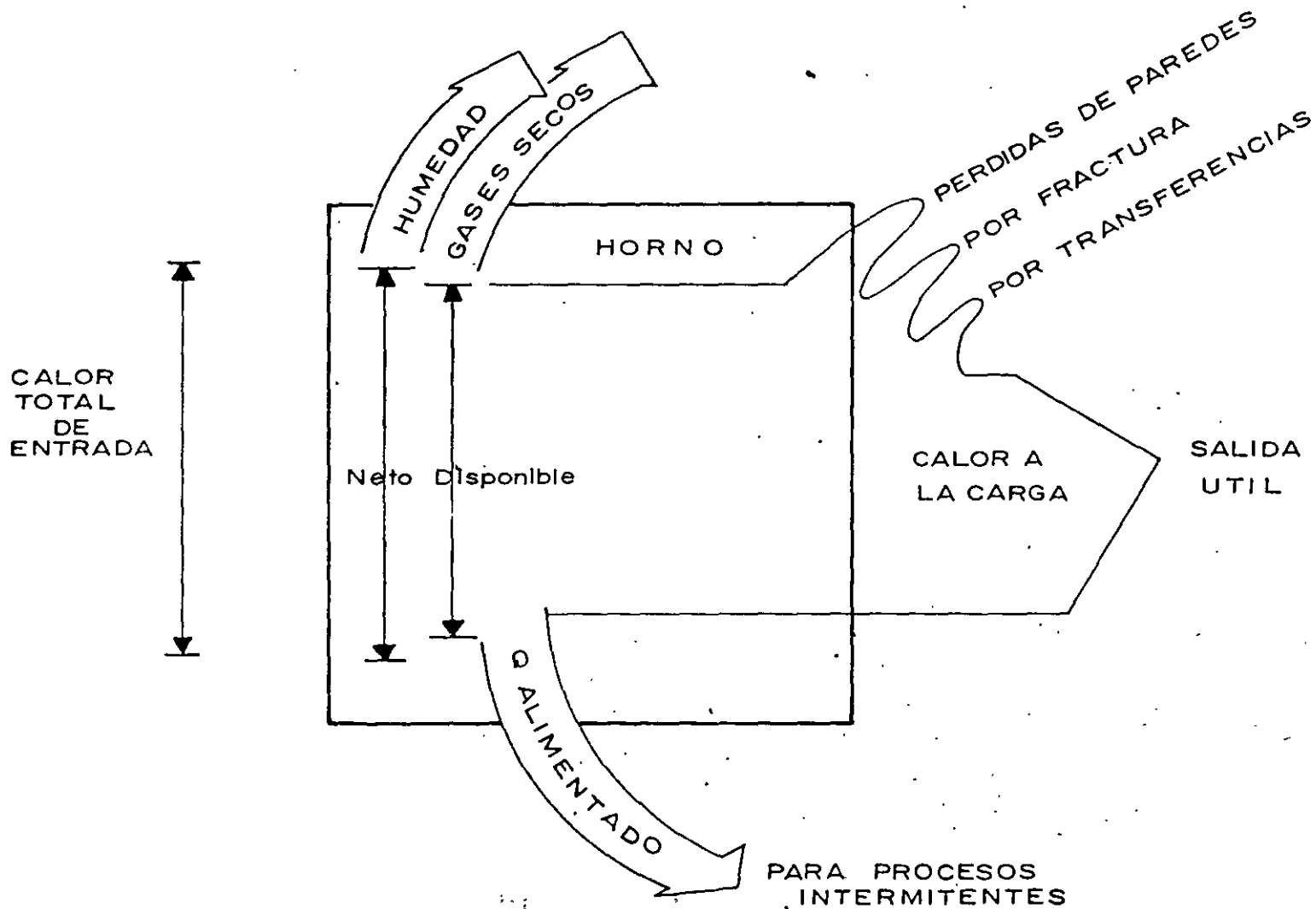


DIAGRAMA DE PERDIDAS EN EL GENERADOR DE VAPOR



BALANCE TERMICO

1).- CALOR ABSORBIDO EN EL GENERADOR DE VAPOR.

$$H1 = \frac{m_s}{m_f} (h_g - h_f)$$

$$H1 = \frac{159,958 \text{ KG/HR}}{(1544.03 + 11,458.3) \text{ KG/HR}} (3355.75 - 407.05) \text{ KJ/KG}$$

$$H1 = 36.27566 \text{ MJ/KG}$$

2).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS A LA HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE.

$$H2 = m m (h'' - h'f)$$

$$m m = 0$$

$$H2 = 0$$

3).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS AL AGUA PROCEDENTE DE LA COMBUSTION DEL HIDROGENO.

$$H3 = 9 H_y (h'' - h'f)$$

A) PARA EL GAS (DEL ANALISIS : 26 % H₂)

$$2125 \text{ M}^3 \text{ GAS} = 1544.03 \text{ K GAS}$$

$$2125 \text{ M}^3 (0.26) = 552.5 \text{ M}^3 \text{ H}_2 = 49.31 \text{ KG H}_2$$

$$H_y = \frac{\text{KG H}_2}{\text{KG GAS}} = \frac{49.31}{1544.03} = 0.03193$$

$$H3 = 9 (0.03193) (2802.4 - 376.92) \text{ KJ/KG} = 697.01 \text{ KJ/Kg}$$

B) PARA EL COMBUSTOLEO (DEL ANALISIS : 10.66 % H₂)

$$11,458.3 \text{ KG} (0.1066) = 1221.42 \text{ KG H}_2$$

$$H_y = \frac{\text{KG H}_2}{\text{KG COMBUSTOLEO}} = \frac{1221.42}{11458.3} = 0.1066 \text{ KJ/KG}$$

$$H3 = 9 (0.1066) (2802.4 - 376.92) \text{ KJ/KG} = 2327.01 \text{ KJ/KG}$$

4).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS A LA HUMEDAD DEL AIRE SUMINISTRADO

$$H4 = m_b \times m_a (h'' - h'f)$$

DEL ANALISIS DE LOS GASES DE COMBUSTION

% CO ₂	% CO	% O ₂	% N ₂	% EXCESO AIRE
11.22	0	2.24	86.64	11.0

$$m_{aa} = \frac{28 \text{ N}_2}{12 (\text{CO}_2 + \text{CO}) 0.769} \times C_1 = \frac{28 (0.8684)}{12 (0.1122) 0.769} \times 0.008137 =$$

$$9.674 \frac{\text{KG AIRE SECO}}{\text{KG COMB. QUEM.}} C_1 = \frac{(mf C_f - mr C_r)}{mf \times 100} = \frac{\text{KG CARBONO}}{\text{KG COMBUSTIBLE}}$$

A) PARA EL GAS (DEL ANALISIS : 73.68 % C)

$$2125 \text{ M}^3 (0.7368) = 1565.7 \text{ M}^3 = 838 \text{ KG CARBONO } C_f = \frac{838}{1544} = 0.543$$

B) PARA EL COMBUSTOLEO (DEL ANALISIS: 85.02 %)

$$C_f = 0.8502$$

$$mf C_f \text{ mezcla} = 1544 (0.543) + 11458.3 (0.8502) = 10580.24 \text{ KG CARBONO}$$

$$mf \text{ mezcla} = 1544 + 11458.3 = 13,002.3 \text{ KG COMBUSTIBLE}$$

$$C_1 = \frac{10580.24 - 82.498 (.0077975)}{13002.3 \times 100} = 0.008137 \frac{\text{KG CARBONO}}{\text{KG COMBUSTIBLE}}$$

ver cálculo de mr y Cr en punto 7

$$H_4 = 0.02527 \frac{\text{KG AGUA}}{\text{KG AIRE SECO}} \times 9.674 \frac{\text{KG AIRE SECO}}{\text{KG COMB. QUEM.}} (2802.4 - 376.92) \text{ KJ/KG}$$

$$H_4 = 2894.54 \text{ KJ/KG}$$

5).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS A LOS GASES DE CHIMENEA SECOS

$$H_5 = mdg_{cp} (t_g - t_a)$$

$$mdg = mg \times C_1$$

$$mg = \frac{4 \text{ CO}_2 + \text{O}_2 + 700}{3 (\text{CO}_2 + \text{CO})} = \frac{4 (0.1122) + 0.0224 + 700}{3 (0.1122 + 0.0224)} = 1734.70 \frac{\text{KG GASES}}{\text{KG CARBONO}}$$

$$mdg = 1734.70 \frac{\text{KG GASES}}{\text{KG CARBONO}} \times 0.008137 \frac{\text{KG CARBONO}}{\text{KG COMBUSTIBLE}}$$

$$mdg = 14.116 \frac{\text{KG GASES}}{\text{KG COMBUSTIBLE}}$$

$$H_5 = 14.116 \frac{\text{KG GASES SECOS}}{\text{KG COMB.}} \times 1.085 \frac{\text{KJ}}{\text{KG GASES } ^\circ\text{C}} (324 - 273.3) ^\circ\text{C}$$

$$H_5 = 929.6727 \text{ KJ/KG}$$

6).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS AL COMBUSTIBLE GASEOSO SIN QUEMAR (POR COMBUSTION INCOMPLETA).

$$H_6 = \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \times 23.5827 \times 10^3 \times C_1$$

DE ANALISIS GASES COMBUSTION : % CO = 0

$$H_6 = 0$$

7).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS AL COMBUSTIBLE SIN CONSUMIR CONTENIDO EN CENIZAS Y ESCORIAS.

$$H_7 = \frac{34058.64 \text{ mr Cr}}{\text{mr}}$$

DEL ANALISIS DEL COMBUSTOLEO : 0.72 % CENIZAS.

$$\text{mr} = 11458.3 (0.0072) = 82.498 \text{ KG CENIZAS}$$

$$\text{Cr} = \frac{82.498 \text{ KG CENIZAS}}{10580.24 \text{ KG CARBONO}} = 0.0077975$$

$$H_7 = \frac{34058.64 (82.498) 0.0077975}{13002.3}$$

$$H_7 = 1.685 \text{ KJ/KG}$$

8).- PERDIDAS CALORIFICAS DEBIDAS AL HIDROGENO E HIDROCARBUROS SIN CONSUMIR RADIACION Y OTRAS PERDIDAS.

$$H_8 = F - (H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7)$$

$$F \text{ mezcla} = F (\text{gas comb}) + F (\text{COMB})$$

$$F \text{ mezcla} = (0.1188) (63039.82) + (.8812) (41870) = (7489.13 + 36,895.84)$$

$$\text{KJ/KG} = 44,384.97 \text{ KJ/KG}$$

$$H_8 = 44,384.97 - 36,275.6 - 3024.0 + 2894.5 + 929.67 + 1.68 = 1262.76 \text{ KJ/KG}$$

9).- RENDIMIENTO GLOBAL DEL GENERADOR DE VAPOR.

$$eb = \frac{ms (h - hf)}{mf \times F} \times 100$$

$$Q \text{ TRANSM.} = ms (h - hf) \text{ ANTES CALCULADO}$$

$$= 471,668.155 \text{ MJ/Kg}$$

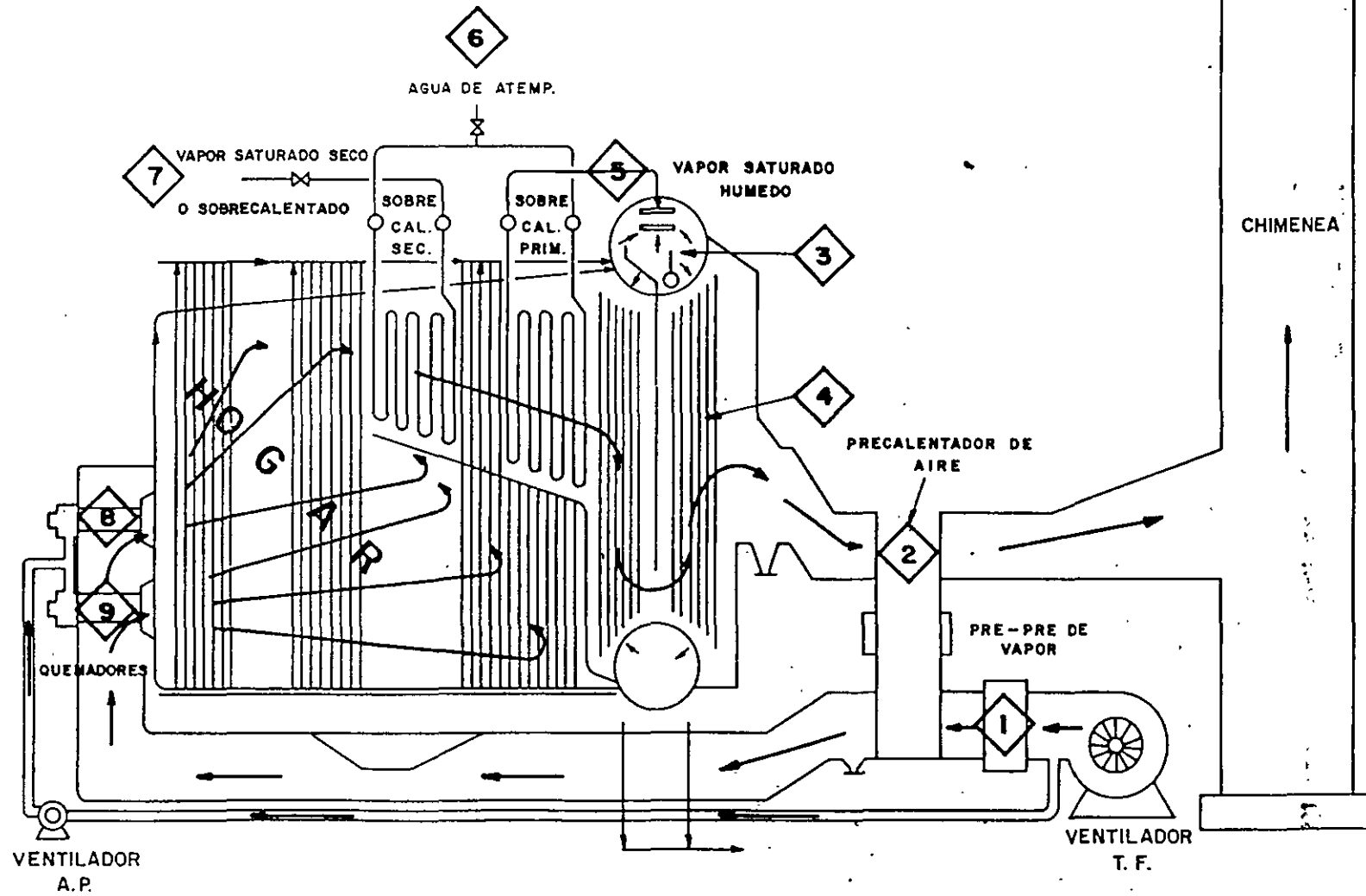
$$Q \text{ SUMIN.} = mf \times F$$

$$= 13002.3 \frac{\text{KG COMB.}}{\text{HR}} \times 44,384.97 \frac{\text{KJ}}{\text{KG COMB.}}$$

$$= 577,236.718 \text{ MJ/KG}$$

$$eb = \frac{471,668.155}{577,236.718} \times 100 = 81.72 \%$$

GENERADOR DE VAPOR



10).- PERDIDAS TOTALES EN EL GENERADOR

$$\begin{aligned} \text{PERDIDAS} &= 3024.02 + 2894.54 + 929.67 + 1.68 + 1262.76 \\ &= 8111.01 \text{ KJ/KG COMBUSTIBLE} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PERDIDAS} &= 8111.01 \frac{\text{KJ}}{\text{KG COMB.}} \times 13002.3 \frac{\text{KG}}{\text{HR}} \\ &= 105.461785 \text{ MJ/KG.} \end{aligned}$$

$$\text{PERDIDAS} = \frac{105.461785}{577.236718} \times 100 = 18.27 \%$$

V.- CONCLUSIONES : COMO RESULTADO DEL ANALISIS DE LOS CALCULOS EFECTUADOS Y CONSIDERANDO QUE ACTUALMENTE SE ESTA UTILIZANDO 88.12 % DE COMBUSTOLEO Y 11.88 % DE GAS, SE OBSERVA LO SIGUIENTE; EL TOTAL DE PERDIDAS EN EL SISTEMA ES DE 18.27 % QUE REPRESENTA UNA DESVIACION NEGATIVA DEL 38% DE LO ESPECIFICADO EN EL DISEÑO (11.88 % APROXIMADAMENTE), ASIMISMO SE OBSERVA QUE SE ESTA SUMINISTRANDO UN EXCESO DE CALOR DEL 4.5 % SOBRE EL DISEÑO (25.943 MJ/HR) LO CUAL TRANSFORMADO A COMBUSTIBLE CONSUMIDO EN EXCESO, ES 584.5 KGS/HR LO QUE REPRESENTA UNA PERDIDA MENSUAL DE \$ 150 MILLONES.

FINALMENTE SE SUGIERE ELABORAR ESTE TIPO DE CALCULO PERIODICAMENTE PARA ESTIMAR LOS CONSUMOS Y PERDIDAS DE ENERGIA QUE SE TIENEN EN UN GENERADOR DE VAPOR Y CON ESTO PODER TOMAR LAS MEDIDAS OPERACIONALES NECESARIAS PARA AHORRAR ENERGIA.

METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE LA EFICIENCIA DE UN GV

DATOS DE DISEÑO BASADOS EN EL 100% DE CARGA

CORRIENTES	DATOS DE DISEÑO			CORRIENTES	DATOS DE DISEÑO		
	OPERACION	USO GAS	USO COMB.		OPERACION	USO GAS	USO COMB.
1.-CALENTADOR DE AIRE (PRE-PRE) (AIRE Y VAPOR DE AGUA PRESTON)				1.-VAPOR DEL SOBRECALENTADOR SECUNDARIO			
A.-AIRE (EXPLORAR TIRO FORZADO)				FLUJO (KG/HR)	154958	200000	200000
FLUJO (KG/HR)	193540.5	347280.9	347280.9	TEMPERATURA DE SALIDA (C)	475	482.2	482.2
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	30	27	27	PRESTION (BAR)	65.1	58.57	58.57
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	72.2	65.6	65.6	8.-GAS COMBUSTIBLE			
PRESTION (BAR)		18.04	18.54	FLUJO (KG/HR)	2125	10697.8	
B.- VAPOR (CENTRO DE TUBOS)				FLUJO (KG/HR)	1544.03	14509	
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	139	148	148	PRESTION DEL QUEMADOR (BAR)	3.63	1.73/2.06	
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	3.43	3.44	3.44	TEMPERATURA A QUEMADORES (C)		15.5	
PRESTION (BAR)		6738.6	6738.6	PODER CALORIFICO (KJ/KG)	45805	37185.8	
FLUJO (KG/HR)				PESO MOLECULAR (KG/KMOL)	16.2832	17.39	
2.-PRECALENTADOR DE AIRE (AIRE Y GASES DE COMBUSTION)				9.-COMBUSTIBLE			
A.-GASES DE COMBUSTION				FLUJO (KG/HR)	11452.3		15727
FLUJO (KG/HR)	193540.5			TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	117		115.6
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	160	152.2	160	PRESTION DEL QUEMADOR (BAR)	2.45		8.82
TEMP. SALIDA DE CALDERA (C)	334			PODER CALORIFICO (KJ/KG)	41870.53		42244.6
PRESTION (BAR)	1.0049			DENSIDAD (KG/M3)	998		
B.-AIRE DEL HOGAR				CONTENIDO DE AZUFRE (C)	3.25		4
FLUJO (KG/HR)	97201	347280.9	347280.9	VAPOR DE ATORIZACION (KG/HR)	136.4		136.4
FLUJO (M3/HR)	125784						
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	72.2	80	80	CALOR SUMINISTRADO AL VAPOR (MJ/HR)	71668.16	589778.54	589778.54
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	273.3	260	271.1	CALOR SUMINISTRADO POR EL HORNO (MJ/HR)	577106.69	681558.8	686954
PRESTION (BAR)	1.029						
EXCESO DE AIRE (C)	11	5	5	PERDIDAS DE CALOR POR:			
3.-AGUA DE ALIMENTACION AL DOMO DE VAPOR				GAS SECO (C)	11.46	3.51	4.8
FLUJO (KG/HR)	151125	196363.6	197727.3	GAS SECO (M3/HR)	12.09	33.29	33.07
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	95	104.4	104.4	POR COMBUSTION DE H2 (C)	37.27	11.51	5.67
TEMP. SALIDA DEL DOMO (C)	291	275.4	275.6	POR COMBUSTION DE H2 (M3/HR)	39.32	78.449	39.064
PRESTION DESC. BOMBAS (BAR)	81.9	65	65	POR RADIACION (C)	15.57	.28	.28
PRESTION DOMO VAPOR	65.1	59.89	59.6	POR RADIACION (M3/HR)	16.42	1.908	1.929
4.-AGUA DE ALIM. DOMO DE AGUA - PURGA CONTINUA (KG/HR)	7229	10000	10000	POR IMPREVISTOS (C)		.5	.5
PURGA (C)	4.25	5	5	POR IMPREVISTOS (M3/HR)		3.408	3.440
MISMOS DATOS PUNTO ANTERIOR				POR HUMEDAD DEL AIRE (C)	35.68		
5.-VAPOR SOBRECALENTADOR PRIMARIO				POR HUMEDAD DEL AIRE (M3/HR)	37.64		
FLUJO (KG/HR)	143896	190000	190000	POR COMB SIN CONSUMIR (C)	.02		
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	281	275.64	275.66	POR COMB SIN CONSUMIR (M3/HR)	.022		
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	380						
PRESTION (BAR)	65.1	62.03	62.03	TOTAL DE PERDIDAS (C)	18.28	15.8	11.25
6.-AGUA DE ATEMPERACION				TOTAL DE PERDIDAS (M3/HR)	105.492	107.680	77507.3
FLUJO (KG/HR)	16062			EFICIENCIA (%)	81.72	84.2	88.75
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	30	104.4	104.4				
PRESTION DESC. BOMBAS (BAR)	83.44	70.04	70.04				
TEMP VAPOR ATEMPERADO (C)	360.3	360	360				

EQUIPOS	SUBRECAL.	HORNO	PRECAL. AIRE	PRECAL. REG.	OBSERVACIONES
SUP. TOTAL DE CALEFACCION (M2)	1004.67	2989.4	163.63	7069.9	AGUA DE ALIM. A LA CALDERA: 50% REPUESTO, 50% RE...
CANTIDAD DE CALOR INTERC. (MJ/HR)			14253.8		HORNO DE CONDENSADO: SOL. TOT. DIS. 1500 ppm; O2
VOLUMEN (M3)		816.28			10 ppm; ALCALINIDAD 300 ppm. h) CUANDO EL AGUA
LIBERACION CALOR VOL (MJ/HR/M2)		851.66			TENGA 10000 ppm, SALIDOS EN VAPOR 1 ppm.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

**INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES
A PRESIÓN**

TEMA

SOLDADURA

**EXPOSITOR:
ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**

*** CÓDIGOS DE SOLDADURA, NORMAS, ESPECIFICACIONES Y
PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA**

****ING. JOSE G. TORRES O.**

INDICE

PAGINA

CONFIABILIDAD DE LAS SOLDADURAS (PRESENTACION E INSTRUCCION).....	1
SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO	4
SOLDADURA POR ARCO CON PRETECCION DE GAS	8
SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO.....	12
SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.....	15
PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD	20
RECIPIENTES A PRESION	23
PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y SU CALIFICACION.....	24

* Material preparado y recopilado del "Manual de Soldadura Moderna"
Howard B. Cary, 2ª Ed. y "Código ASME seccion IX"

** Presidente del Comité Nacional Permanente de Peritos en Soldadura
(CNPPS) del CIME.

CÓDIGOS DE SOLDADURA, NORMAS, ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

CONFIABILIDAD DE LAS SOLDADURAS

LA DEMANDA DE PRODUCTOS MAS CONFIABLES, LA TECNOLOGÍA CADA VEZ MAS COMPLEJA, Y LA NECESIDAD DE CONSERVAR LOS RECURSOS HACE QUE LA CALIDAD DE LAS SOLDADURAS CADA DÍA SEA DE MAYOR IMPORTANCIA. UN SISTEMA DE "CALIDAD EN SOLDADURA" COMO PARTE DEL SISTEMA TOTAL DE FABRICACIÓN PRODUCIRÁ ARTÍCULOS DE BUENA CALIDAD ESTABLECIENDO CAPACIDADES DE INGENIERÍA PARA :

- 1.- SELECCIONAR, APLICAR ADECUADAMENTE E INSPECCIONAR LOS PROCESOS Y LOS EQUIPOS DE SOLDADURA: EL PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD
- 2.- SELECCIONAR, O GENERAR Y APLICAR PROCEDIMIENTOS CALIFICADOS DE SOLDADURA PARA CADA OPERACIÓN: LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.
- 3.- DIRIGIR, ADIESTRAR Y CALIFICAR AL PERSONAL SOLDADOR QUE PRODUCE LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS: LA CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR.

EL SISTEMA DE FABRICACIÓN PROPORCIONA EL APOYO GERENCIAL A TRAVÉS DE LOS PLANES DE ACCIÓN Y DE LA AUTORIDAD DELEGADA. EL SISTEMA COMPRENDE LA DOCUMENTACIÓN QUE ESTABLECE LOS DISEÑOS, LAS TÉCNICAS DE MANUFACTURA Y LOS MÉTODOS DE CONTROL DE CALIDAD. DESDE UN PUNTO DE VISTA DE LA SOLDADURA, INCLUYE TAMBIÉN LAS CALIFICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA, DEL DESEMPEÑO DE LOS SOLDADORES, Y UN PROGRAMA GENERAL DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS SOLDADURAS.

LA FINALIDAD DE UNA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ES DEMOSTRAR QUE LA CONSTRUCCIÓN SOLDADA PROPUESTA TENDRÁ LAS PROPIEDADES NECESARIAS PARA QUE SU APLICACIÓN SEA LA DESEADA; ESTO ES, DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE UNA BUENA SOLDADURA. EL DOCUMENTO QUE HACE LO ANTERIOR ES EL PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR), ESTE PROPORCIONA LAS VARIABLES REALES EN LA SOLDADURA USADA PARA PRODUCIR UNA SOLDADURA ACEPTABLE DE PRUEBAS Y LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS.-

EL OBJETIVO DE LA PRUEBA DE CALIFICACIÓN DE HABILIDAD DEL SOLDADOR ES DETERMINAR LA CAPACIDAD DEL SOLDADOR O DE LA PERSONA QUE HACE LA SOLDADURA, PARA EFECTUAR UN BUEN DEPOSITO DE METAL DE SOLDADURA SIGUIENDO UNA ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA. EL DOCUMENTO QUE SE MANEJA EN ESTADOS UNIDOS ES EL WELDER PERFORMANCE QUALIFICATION. EN EL SE CALIFICA AL SOLDADOR O A LA PERSONA QUE HACE LA SOLDADURA EN PROCESO ESPECÍFICOS, PARA DISTINTAS SOLDADURAS, POSICIONES Y ESPESORES.

NI LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA NI LA CALIFICACIÓN DE HABILIDAD DEL SOLDADOR ESTABLECEN LA CAPACIDAD DE LA ORGANIZACIÓN O DEL EQUIPO DE SOLDADURA PARA EJECUTAR UNA SOLDADURA ACEPTABLE EN UN PRODUCTO. POR TANTO, UN PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD, O PARA ASEGURAR LA MISMA, ESTABLECE LA AUTORIDAD Y LA RESPONSABILIDAD; LA BASE DEL DISEÑO, EL CONTROL DE ADQUISICIÓN Y DE MATERIALES, LA TECNOLOGÍA DE MANUFACTURA, LA SELECCIÓN Y LA APLICACIÓN DE PROCESOS Y EQUIPOS DE SOLDAR; LOS SUJETADORES Y LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS; LOS REQUISITOS DE PRE Y POSTCALENTAMIENTO; LA CALIBRACIÓN DEL EQUIPO; EL ENTRENAMIENTO Y LA ENSEÑANZA DE LOS SOLDADORES Y DE LA SUPERVISIÓN, Y EL COMPROMISO DE TODOS LOS NIVELES GERENCIALES PARA OBTENER PRODUCTOS DE ALTA CALIDAD.

LA PARTE RESTANTE DE ESTA SECCIÓN TRATA SOBRE EL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD Y SUGIERE UN PROGRAMA PARA EL CONTROL DE CALIDAD. LO PUEDEN ADOPTAR LAS COMPAÑÍAS QUE DESEEN MEJORAR LA CALIDAD DE LA SOLDADURA, Y ES MUY SEMEJANTE A PROGRAMAS YA ESTABLECIDOS POR ALGUNOS DE LOS CÓDIGOS NUCLEARES.

LA CALIDAD DE LA SOLDADURA DE CUALQUIER PRODUCTO SE DEBE JUZGAR CON RESPECTO A UNA NORMA LA CUAL DEBE BASARSE EN EL SERVICIO ESPERADO DEL PRODUCTO. DEBE HABER UN EQUILIBRIO ENTRE LOS REQUISITOS DE SERVICIO Y LA CONSECUENCIA DE UNA FALTA, Y LOS FACTORES ECONÓMICOS. PARA MUCHOS PRODUCTOS, EN VARIAS INDUSTRIAS, LOS REQUISITOS DE CALIDAD DE LAS SOLDADURAS ESTÁN CONTROLADOS POR LOS REGLAMENTOS Y ESPECIFICACIONES APLICABLES. SIN EMBARGO, CUANDO NO SE APLICA CÓDIGOS O ESPECIFICACIONES, EL FABRICANTE DEBE MANTENER UNA ALTA CALIDAD EN SUS PRODUCTOS PARA SOBREVIVIR. EL ÉXITO PARA MANTENER UN EQUILIBRIO ENTRE LA ALTA CALIDAD Y BAJO COSTO SE DECIDE EN EL CAMPO Y EN EL MERCADO, DONDE LA CALIDAD Y EL PRECIO DETERMINARA SI CONTINUA EL ÉXITO DEL FABRICANTE. -

HACE POCO TIEMPO LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS DE LOS VEHÍCULOS ESPACIALES Y LOS RECIPIENTES NUCLEARES ESTABAN EXPUESTAS A MEDIOS SIN PRECEDENTE. LA PERFECCIÓN DE LA SOLDADURA REQUERIDA Y OBTENIDA EN ESTA CLASE DE TRABAJO HA SIDO POSIBLE GRACIAS A PROCEDIMIENTOS EXCELENTES, ENTRENAMIENTO EXTENSO, Y MÉTODOS ESTRICTOS DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD. ESTE NIVEL DE CALIDAD SE ALCANZA DEBIDO A LA AMPLIA PREPARACIÓN, A LOS PROCEDIMIENTOS TEDIOSOS, PRUEBAS Y CALIFICACIONES, QUE CONTRIBUYEN AL ALTO COSTO FINAL. SIN EMBARGO, NO EN TODO TIPO DE CONSTRUCCIÓN SOLDADA SE REQUIEREN SOLDADURAS PERFECTAS. LA INDUSTRIA DE LAS SOLDADURA DEBE PROCURAR NO ESTABLECER REQUISITOS EXCESIVOS DE CALIDAD CUANDO NO SE NECESITEN.

LA RESPONSABILIDAD DE ELABORAR PRODUCTOS DE ALTA CALIDAD DEPENDE DE MUCHA GENTE. ES RESPONSABILIDAD DE LA GERENCIA ALENTAR ADECUADAMENTE AL PERSONAL PARA QUE HAYA COOPERACIÓN ENTRE DISEÑADORES, GERENTES Y TRABAJADORES DE PRODUCCIÓN, SUPERVISORES Y PERSONAL DE CONTROL DE CALIDAD E INSPECCIÓN PARA ASEGURAR QUE LOS REQUISITOS DE CALIDAD SEAN LOS REQUERIDOS Y ESTÉN DE ACUERDO CON EL SERVICIO ESPERADO. ES RESPONSABILIDAD DEL SOLDADOR PRODUCIR SOLDADURAS DE ALTA CALIDAD. CADA SOLDADOR DEBE ACEPTAR ESTA RESPONSABILIDAD. EL SUPERVISOR DE SOLDADURAS TIENE LA RESPONSABILIDAD DE LOS SOLDADORES Y DE SU DESEMPEÑO. EL INSPECTOR DE SOLDADURA DEBE VERIFICAR QUE SE CUMPLA CON LAS NORMAS DE CALIDAD. LAS NORMAS DE SOLDADURA O ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTO SON LA BASE PARA LA CALIDAD DE LA SOLDADURA, Y ESTOS FACTORES, AJUNADOS AL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN SOLDADA, SON RESPONSABILIDAD DE LOS DISEÑADORES, DE LOS INGENIEROS DE SOLDADURA, LOS GERENTES DE MATERIALES, Y DEL PERSONAL DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD. ES RESPONSABILIDAD TOTAL CON TODO LO QUE IMPLICA. ESTA INTERPELACIÓN ES MUY COMPLEJA.

LOS DISEÑADORES, LOS RESPONSABLES DE LAS ESPECIFICACIONES, LOS QUE ESPECIFICAN MATERIALES, Y DEMÁS, DEBEN MANTENER ESTRECHO CONTACTO CON LAS NECESIDADES Y PROBLEMAS EN EL CAMPO. DEBEN SER SENSIBLES A LAS NECESIDADES DEL CAMBIO Y REDUCIR O ESTRECHAR LAS NORMAS CUANDO SEA NECESARIO. LOS SUPERVISORES DE SOLDADURA Y LOS GERENTES DE PRODUCCIÓN DEBEN ESTAR SIEMPRE EN ALERTA PARA DESCUBRIR CUANDO LA MANO DE OBRA NO CUMPLA CON LAS NORMAS.

LA NECESIDAD DE DIFERENCIAR ENTRE LA SOLDADURA ADECUADA Y LA PERFECTA HA CONDUCIDO A INVESTIGACIONES CON RESPECTO A LA ACEPTABILIDAD DE IMPERFECCIONES EN LAS SOLDADURAS, Y A COMO DICHAS IMPERFECCIONES AFECTAN LA VIDA DE SERVICIO. ESTO TAMBIÉN A CONDUCIDO A INVESTIGACIONES DEL GRADO DE IMPERFECCIÓN Y AJUSTE EN LO QUE RESPETA AL OBJETIVO DE LA CONSTRUCCIÓN SOLDADA. A TRAVÉS DE LOS AÑOS LOS DATOS SE HAN CONVERTIDO EN REGLAMENTOS O CÓDIGO Y ESPECIFICACIONES PARA DISTINTOS TIPOS DE EQUIPO. EL CONOCIMIENTO LOGRADO DE EXPERIENCIAS DE CAMPO Y DE CONSTRUCCIONES SOLDADAS SE REFLEJAN EN LAS ACTUALIZACIONES O REVISIONES DE LOS REGLAMENTOS.

UN PROBLEMA IMPORTANTE DE LA PRODUCCIÓN DE CONSTRUCCIONES SOLDADAS ES LA SOSPECHA DEL DISEÑADOR DE QUE LA CONSTRUCCIÓN SOLDADA NO SE FABRIQUE COMO ESTA DISEÑADA. ESTA SOSPECHA SE TIENE CUANDO LOS DISEÑADORES TOMAN EN CUENTA FACTORES DE MANO DE OBRA QUE NO ESTÁN BAJO SU CONTROL. PIENSA QUE EL SOLDADOR, PUEDE LOGRAR UNIONES IGUALES A LAS REQUERIDAS POR EL DISEÑADOR BAJO CONDICIONES IDEALES, Y QUE EL SOLDADOR PRODUCE UNA SOLDADURA DE BUENA CALIDAD CUANDO PASA LA PRUEBA DE CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO; SIN EMBARGO, QUIERE TENER LA SEGURIDAD DE QUE TODA SOLDADURA EN LA CONSTRUCCIÓN SEA DE BUENA CALIDAD. PARA TENER UNA SEGURIDAD POSITIVA ES NECESARIO IMPLEMENTAR UN PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD. ESOS PROGRAMAS A LA LARGA AHORRAN DINERO PORQUE ELIMINAN EL PROBLEMA DE FALLAS PREMATURAS DE CAMPO, DESASTRES, O EL COSTO DE SOBRE SOLDAR PARA CONTRARRESTAR LA SOSPECHA DE MALAS PRACTICAS DE TALLER.

SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO

LA SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO ES UN PROCESO DE SOLDADURA EN EL QUE LA COALESCENCIA ES PRODUCIDA POR EL CALENTAMIENTO, CON UN ARCO ELÉCTRICO GENERADO ENTRE UN ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO Y LA PIEZA DE TRABAJO.

LA PROTECCIÓN SE OBTIENE DE LA DESCOMPOSICIÓN DEL RECUBRIMIENTO DEL ELECTRODO. NO SE REQUIERE PRESIÓN Y EL METAL DE APORTE SE OBTIENE DEL ELECTRODO.

EL PROCESO CONSISTE BÁSICAMENTE DEL ESTABLECIMIENTO DE UN ARCO ELÉCTRICO ENTRE UN ELECTRODO METÁLICO Y LA PIEZA DE TRABAJO A SER SOLDADA. EN ESTE PROCESO EL ELECTRODO ES REVESTIDO CON MATERIALES QUE, CUANDO SE CALIENTAN O ROMPE POR EL ARCO, REALIZAN VARIAS FUNCIONES: (1) PRODUCEN UN GAS QUE PROTEGE EL ARCO DE LA ATMÓSFERA, (2) PROMUEVEN LA CONDUCCIÓN ELÉCTRICA A TRAVÉS DEL ARCO Y AYUDAN A ESTABILIZARLO, (3) AÑADEN MATERIALES FORMADORES DE ESCORIA AL METAL FUNDIDO CON EL PROPÓSITO DE REFINAR EL METAL LIQUIDO Y, EN ALGUNOS CASOS, ADICIONAN ELEMENTOS ALEANTES, Y (4) PROPORCIONAN MATERIALES CON EL PROPÓSITO DE CONTROLAR LA FORMA DEL CORDÓN. UNA REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA SE MUESTRA EN LA FIG. 10.

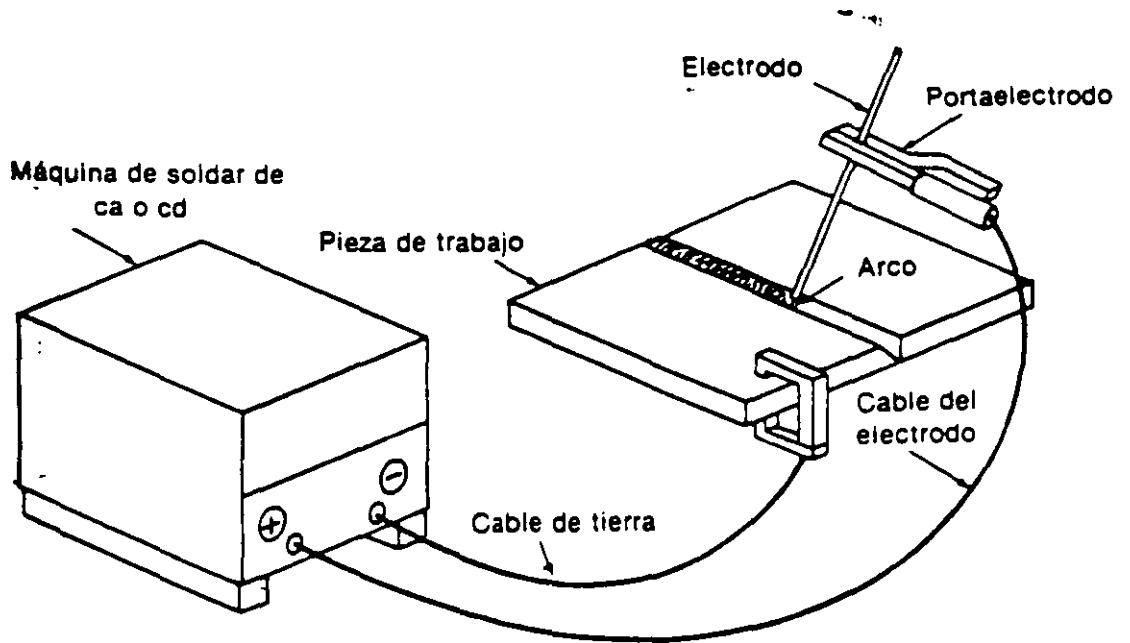
EN LA APLICACIÓN DE SOLDADURA POR ARCO, EL CONTROL DE TRES VARIABLES VELOCIDAD DE AVANCE, AMPERAJE Y VOLTAJE DEL ARCO ES EL PROBLEMA PRINCIPAL. EN SOLDADURA MANUAL, EL SOLDADOR CONTROLA DOS DE ELLAS: VELOCIDAD DE AVANCE Y VOLTAJE DEL ARCO.

LAS VARIABLES QUÍMICA, METALÚRGICA, MECÁNICA Y ELÉCTRICA INVOLUCRADAS SON EN MAYOR O MENOR GRADO, TOMADAS EN CUENTA EN EL DISEÑO Y MANUFACTURA DEL EQUIPO Y MATERIALES EMPLEADOS.

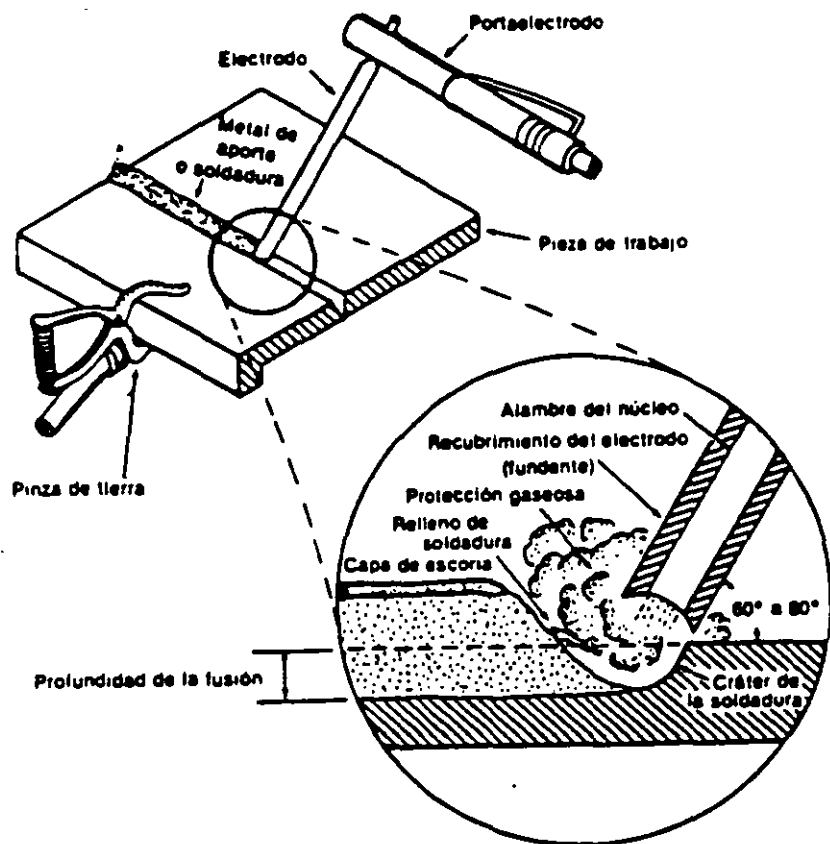
EL ARCO DESARROLLA UN INTENSO CALOR, QUE FUNDE EL METAL A SER SOLDADO Y FORMA UN "CHARCO" LIQUIDO, AL MISMO TIEMPO QUE LA PUNTA DEL ELECTRODO FUNDE Y ES TRANSPORTADA HASTA EL "CHARCO" A TRAVÉS DEL ARCO. EL RANGO DE CORRIENTE CASUAL PARA OPERACIÓN MANUAL ES DE 15 A 500 AMPERES.

EL VOLTAJE A TRAVÉS DEL ARCO VARIA DE 14 A 24 VOLTS CON BARRAS O ELECTRODOS LIGERAMENTE REVESTIDOS, Y DE 20 A 40 VOLTS CON ELECTRODOS RECUBIERTOS.

LA ENERGÍA DISPONIBLE EN EL ARCO ES SUFICIENTE PARA VAPORIZAR SOLO UN PEQUEÑO PORCENTAJE DE LA CANTIDAD TOTAL DE METAL QUE PASA A TRAVÉS DEL ARCO. PARTE DE ESE METAL VAPORIZADO, SIN EMBARGO, ES CONDENSADO EN EL "CHARCO" FUNDIDO, QUE SE ENCUENTRA A UNA TEMPERATURA MUCHO MENOR QUE LA PUNTA DEL ELECTRODO. UN POCO DEL METAL VAPORIZADO ESCAPA HACIA EL AIRE CIRCUNDANTE, SE OXIDA Y APARECE COMO HUMOS O VAPORES. TAMBIÉN UN POCO DE ESTE METAL, EN LA FORMA DE GOTAS, ES LANZADO FUERA DE LA SOLDADURA, COMO SALPICADURAS, PERO LA MAYOR PARTE DEL METAL ES TRANSFERIDO DESDE EL ELECTRODO AL TRABAJO.



Disposición de los elementos básicos para soldadura de arco metálico protegido.



Proceso de soldadura por arco

FIGURA 10

EL EQUIPO NORMALMENTE CONSISTE DE UNA FUENTE DE SUMINISTRO QUE TIENE UNA CARACTERÍSTICA DE CAÍDA VOLT-AMPERE. ADEMÁS SE REQUIEREN PORTA ELECTRODOS AISLADOS DE CAPACIDAD ALECTRICA Y TÉRMICA SUFICIENTE, JUNTO CON CABLES Y PINZAS DE TIERRA.

EL PROCESO PUEDE OPERAR UTILIZANDO CORRIENTE ALTERNA Y CORRIENTE DIRECTA, CON EL ELECTRODO POSITIVO O NEGATIVO. LOS REVESTIMIENTOS DEL ELECTRODO ESTÁN FORMULADOS PARA OPERAR CON CORRIENTE ALTERNA, DIRECTA O AMBAS.

LA FUNCIÓN DEL METAL EN ZONA DEL ARCO SE RELACIONA DIRECTAMENTE CON LA ENERGÍA ELÉCTRICA SUMINISTRADA AL ARCO. PARTE DE ESTA ENERGÍA SE USA PARA FUNDIR EL MATERIAL BASE Y PARTE SE UTILIZA PARA FUNDIR EL ELECTRODO Y SU REVESTIMIENTO. LA POLARIDAD ELÉCTRICA Y LOS CONSTITUYENTES EN EL ENCUBRIMIENTO DEL ELECTRODO DETERMINAN EL BALANCE DE ENERGÍA. CUANDO LA ENERGÍA ES MAS ASOCIADA CON EL MATERIAL BASE, LA PENETRACIÓN MAYOR; CUANDO LA ENERGÍA ES MAS ASOCIADA CON EL ELECTRODO, LA VELOCIDAD DE FUNCIÓN DEL ELECTRODO ES MAYOR.

CON ESTO, LA VELOCIDAD DE FUNCIÓN DEL ELECTRODO SE INCREMENTA DIRECTAMENTE CON LA CORRIENTE. DICHA VELOCIDAD DE FUSIÓN ES RELATIVAMENTE INDEPENDIENTE DEL VOLTAJE DEL ARCO.

LA SELECCIÓN DE ELECTRODOS APROPIADOS PARA LA SOLDADURA, POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO, DE ACEROS AL CARBONO DEPENDE DE LA CALIDAD REQUERIDA EN EL ENSAMBLE DE SOLDADURA, EL EQUIPO DISPONIBLE, LA POSICIÓN DE SOLDADURA, COSTO, METAL BASE, DISEÑO DE JUNTA Y PROPIEDADES DESEADAS EN EL METAL.

MUCHAS APLICACIONES DE SOLDADURA POR ARCO SE REALIZAN DE ACUERDO CON ALGUNOS CÓDIGOS O ESPECIFICACIONES INDUSTRIALES. EJEMPLOS DE CÓDIGOS SON LOS SIGUIENTES:

ASME	-	SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS MECÁNICOS.
AWS	-	SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA.
API	-	INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO.
ANSI	-	INSTITUTO NACIONAL AMERICANO DE NORMAS.

EN GENERAL, LAS ESPECIFICACIONES INDUSTRIALES NO SE INVOLUCRAN EN LA APROBACIÓN DE ELECTRODOS, HASTA QUE SE EFECTÚAN PRUEBAS. POR LO TANTO, LA CONFORMIDAD DE LOS ELECTRODOS, DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES INDUSTRIALES, ESTA DETERMINADA POR EL PROVEEDOR CON BASE EN PRUEBAS REALES.

LA SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA (AWS) EN COOPERACIÓN CON LA SOCIEDAD AMERICANA DE PRUEBAS Y MATERIALES HA PUBLICADO UNA SERIE DE ESPECIFICACIONES DISEÑADAS PARA CUBRIR DIFERENTES ELECTRODOS. LAS ESPECIFICACIONES DISPONIBLES CUBREN ELECTRODOS PARA ACERO DULCE, ACERO BAJA ALEACIÓN, COBRE Y ALEACIONES DE COBRE, ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO. OTRAS ESPECIFICACIONES CONTEMPLAN ELECTRODOS PARA RECUBRIMIENTOS Y HIERROS FUNDIDOS. ES IMPORTANTE NOTAR QUE LAS DESIGNACIONES PARA CLASIFICAR LOS ELECTRODOS, ESTABLECIDOS POR AWS-ASTM, SON LAS MAS EMPLEADAS, Y TIENEN ESENCIALMENTE EL MISMO SIGNIFICADO EN MUCHOS CÓDIGOS Y ESPECIFICACIONES INDUSTRIALES.

EN PARTICULAR, PARA ACEROS AL CARBONO Y DE BAJA ALEACIÓN, LA SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA HA DESARROLLADO UN SISTEMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE ELECTRODOS PARA UTILIZARSE CON EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO.

ELECTRODO

POSICIÓN

E XX XX

RESISTENCIA A LA
TENSIÓN

REVESTIMIENTO/CARAC-
TERÍSTICAS DE OPERA-
CIÓN.

LA CLASIFICACIÓN CONSISTE DE UNA LETRA "E", QUE SIGNIFICA ELECTRODO, SEGUIDA DE CUATRO O CINCO DÍGITOS. LOS PRIMEROS DOS O TRES DÍGITOS SE REFIEREN A LA MISMA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DEL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO. ESTOS NÚMEROS ESTABLECEN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN MILES DE LIBRAS POR PULGADA CUADRADA. POR EJEMPLO : "70" SIGNIFICA QUE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DEL METAL DEPOSITADO ES POR LO MENOS 70,000 PSI

EL SIGUIENTE NUMERO SE REFIERA LAS POSICIONES EN LAS CUALES EL ELECTRODO SE PUEDE EMPLEAR. UN "2" SIGNIFICA QUE EL METAL LIQUIDO ES TAN FLUIDO QUE EL ELECTRODO SOLO PUEDE SER UTILIZADO EN LA POSICIÓN PLANA O DE FILETE HORIZONTAL. UN "1" NOS DICE QUE EL ELECTRODO ES ADECUADO PARA UTILIZAR EN CUALQUIER POSICIÓN.

EL ÚLTIMO NUMERO DESCRIBE LA UTILIDAD DEL ELECTRODO, DETERMINADA POR EL RECURRIMIENTO PRESENTE EN EL MISMO. ASÍ MISMO ESTE RECURRIMIENTO DETERMINA SUS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN Y CORRIENTE ELÉCTRICA RECOMENDADA:

AC	-	CORRIENTE ALTERNA	
DCEP	-	CORRIENTE DIRECTA	ELECTRODO POSITIVO
DCEN	-	CORRIENTE DIRECTA	ELECTRODO NEGATIVO

LA TABLA SIGUIENTE ENLISTA EL SIGNIFICADO DEL ÚLTIMO DÍGITO EN EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ELECTRODOS AWS.

CLASIFICACIÓN	CORRIENTE	PENETRACIÓN	PENETRACIÓN Y ESCORIA	POLVO DE HIERRO %
EXX10	DCEP	ELEVADA	CELUL-SODIO	0-10
EXXX1	AC-DCEP	ELEVADA	CELUL-POTASIO	0
EXXX2	AC-DCEN	MEDIA	RUTILO-SODIO	0-10
EXXX3	AC-DC	BAJA	RUTILO-POTASIO	0-10
EXXX4	AC-DC	BAJA	RUTILO-POLVO DE HIERRO	25-40
EXXX5	DCEP	MEDIA	BAJO HIDR-SODIO	0
EXXX6	AC-DCEP	MEDIA	BAJO HIDR-POTASIO	0
EXXX8	AC-DCEP	MEDIA	BAJO HIDR-POLVO DE HIERRO	25-40
EXX20	AC-DC	MEDIA	OXIDO HIERRO-S.	0
EXX24	AC-DC	BAJA	RUTILO-POLVO DE HIERRO	50
EXX27	AC-DC	MEDIA	OXIDO HIERRO POLVO DE HIERRO.	50
EXX28	AC-DCEP	MEDIA	BAJO HIDR-POLVO DE HIERRO	50

ES IMPORTANTE NOTAR QUE AQUELLOS ELECTRODOS QUE TERMINAN EN "5", "6" U "8" SE CLASIFICAN COMO TIPOS BAJO HIDROGENO. PARA MANTENER EL BAJO CONTENIDO DE HUMEDAD, ESTOS DEBEN ALMACENARSE EN SU CONTENEDOR ORIGINAL O EN HORNO DE ALMACENAMIENTO ADECUADOS. ESTOS HORNO DEBEN SER CALENTADOS ELÉCTRICAMENTE Y TENER UN CONTROL DE TEMPERATURA, EN EL RANGO DE 150 A 450°F (65 A 230°C). DADO QUE ESTE DISEÑO AYUDARA A MANTENER BAJO EL NIVEL DE HUMEDAD (MENOS DE 2%), DEBE SER VENTILADO ADECUADAMENTE. CUALQUIER ELECTRODO TIPO BAJO HIDROGENO QUE NO SEA UTILIZADO INMEDIATAMENTE, DEBE COLOCARSE EN LOS HORNO, TAN RÁPIDO COMO SU CONTENEDOR SEA ABIERTO.

SIN EMBARGO, ES IMPORTANTE NOTAR QUE LOS ELECTRODOS DIFERENTES A LOS MENCIONADOS ARRIBA, PUEDEN DAÑARSE SI SE COLOCAN EN HORNO. ALGUNOS ELECTRODOS ESTÁN DISEÑADOS PARA TENER UN CIERTO NIVEL DE HUMEDAD. SI ESTA SE ELIMINA, LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL ELECTRODO SE DETERIORAN SIGNIFICATIVAMENTE.

LOS ELECTRODOS UTILIZADOS PARA SOLDAR ACEROS DE BAJA ALEACIÓN PUEDEN PRESENTAR TAMBIÉN UN SUBFLUJO QUE SE AÑADE A LA DESIGNACIÓN ESTÁNDAR DESPUÉS DE UN GUÍON. LA DESCRIPCIÓN DE ESTOS SUBFLUJOS SE INDICA ENSEGUIDA:

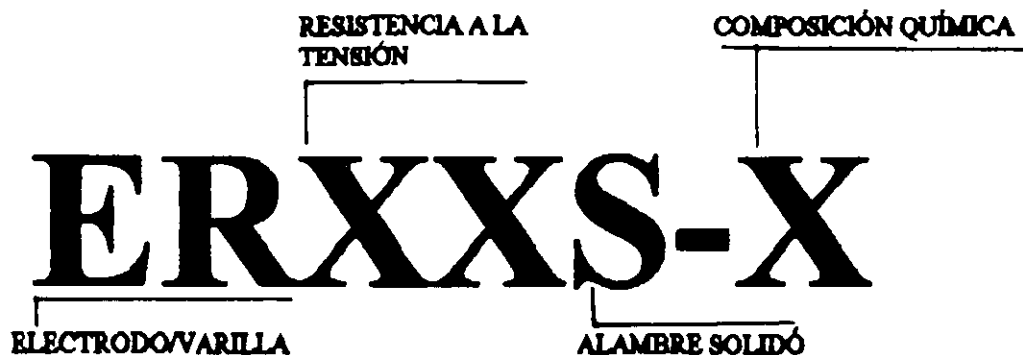
SUBFLUJO	ELEMENTO(S) ALEANTE (S)
A1	0.5% MOLIBDENO
B1	0.5% MOLIBDENO 0.5% CROMO
B2	0.5% MOLIBDENO 1.25% CROMO
B3	1.0% MOLIBDENO 2.25% CROMO
B4	0.5% MOLIBDENO 20% CROMO
C1	2.5% NÍQUEL
C2	3.5% NÍQUEL
C3	1.0% NÍQUEL
D1	0.3% MOLIBDENO 1.5% MANGANESO
D2	0.3% MOLIBDENO 1.75% MANGANESO
G*	0.2% MOLIBDENO 0.3% CROMO 0.5% NÍQUEL 10% MANGANESO 0.1% VANADIO

* NECESITA TENER EL CONTENIDO MÍNIMO PARA UN ELEMENTO SOLAMENTE.

SOLDADURA POR ARCO PROTECCIÓN DE GAS

LA SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS, ES UN PROCESO GASEOSA Y TRANSFERIDO A LA JUNTA, DONDE EL ARCO PROPORCIONA EL CALOR SUFICIENTE PARA FUNDIR EL METAL BASE. LA FIGURA 11 PRESENTA LOS ELEMENTOS ESENCIALES DEL PROCESO. EL METAL FUNDIDO DEBE SER PROTEGIDO DE LA ATMÓSFERA DURANTE LA OPERACIÓN DE SOLDADURA, DE OTRA MANERA, EL OXIGENO Y EL NITRÓGENO SE COMBINARAN FÁCILMENTE CON EL METAL DE SOLDADURA LIQUIDO DANDO COMO RESULTADO UNA SOLDADURA POROSA. UNA CARACTERÍSTICAS IMPORTANTE ES EL HECHO DE QUE TODA LA PROTECCIÓN DE LA SOLDADURA ES PROPORCIONADA POR UNA ATMÓSFERA PROTECTORA DE GAS, QUE ES EMITIDA DESDE LA PISTOLA DE LA SOLDADURA. LOS GASES EMPLEADOS INCLUYEN GASES INERTES Y GASES REACTIVOS, (MAS ADELANTE SE DARÁ UNA EXPLICACIÓN DETALLADA DE LOS GASES DE PROTECCIÓN EMPLEADOS EN ESTE PROCESO).

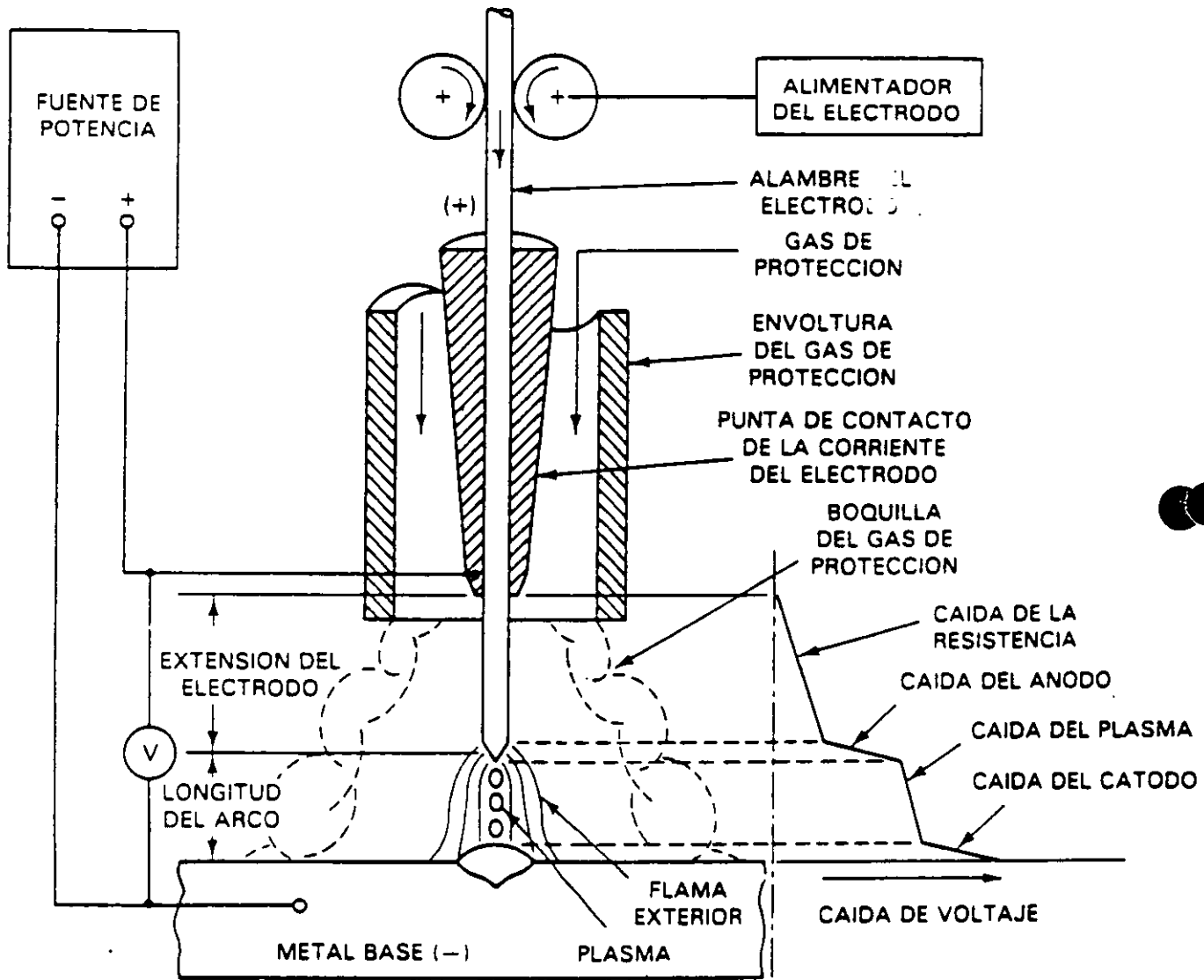
LOS ELECTRODOS UTILIZADOS PARA ESTE PROCESO SON ALAMBRES SÓLIDOS, QUE SON SUMINISTRADOS EN BOBINAS O CARRETES DE VARIOS TAMAÑOS. COMO ES EL CASO DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS, TAMBIÉN EXISTE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ESTABLECIDO, TAMBIÉN EXISTE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ESTABLECIDO POR LA SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA PARA LOS ELECTRODOS UTILIZADOS EN EL PROCESO POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS. ESTOS ESTÁN DENOTADOS POR LAS LETRAS "ER", SEGUIDAS POR DOS O TRES NÚMEROS, UNA LETRA "S", UN GUÓN , Y FINALMENTE OTRO NUMERO, COMO SE INDICA.



"ER" DESIGNA EL ALAMBRE, SIENDO ELECTRODO O VARILLA; ESTO SIGNIFICA QUE PUEDE CONducir CORRIENTE ELÉCTRICA O SER APLICADO SIMPLEMENTE COMO METAL DE APORTE CUANDO SE UTILIZA CON OTROS PROCESOS DE SOLDADURA. LOS SIGUIENTES DOS O TRES DÍGITOS ESTABLECEN LA MISMA LA MÍNIMA RESISTENCIA A LA TENSION DEL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO, EN MILES DE LIBRAS POR PULGADA CUADRADA. POR EJEMPLO, AL IGUAL QUE PARA ELECTRODOS REVESTIDOS, UN "70" DENOTA UN METAL DE APORTE QUE PRESENTA UNA RESISTENCIA MÍNIMA DE 70,000 PSI, EN LA CONDICIÓN DE DEPOSITO. LA LETRA "S" INDICA QUE SE TRATA DE UN ALAMBRE SOLIDO. FINALMENTE EL NUMERO DESPUÉS DEL GUIÓN SE REFIERE AL ANÁLISIS QUÍMICO DEL ELECTRODO.

ESTO TAMBIÉN DETERMINA LAS CARACTERÍSTICAS EN EL METAL DE SOLDADURA. TÍPICAMENTE, LOS ELECTRODOS PARA ESTE PROCESO TIENEN CANTIDADES SUPERIORES DE DESOXIDANTES TALES COMO MANGANESO, SOLICIO Y ALUMINIO PARA AYUDAR A LOS GASES AUXILIARES EN LA PROTECCIÓN DEL METAL DE SOLDADURA LIQUIDO.

AUNQUE EL ALAMBRE NO TIENE UN REVESTIMIENTO DE FUENTE, ES IMPORTANTE ALMACENAR EL MATERIAL CUANDO NO SE ENCUENTRA EN USO.



SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO CONSUMIBLE

FIGURA 11

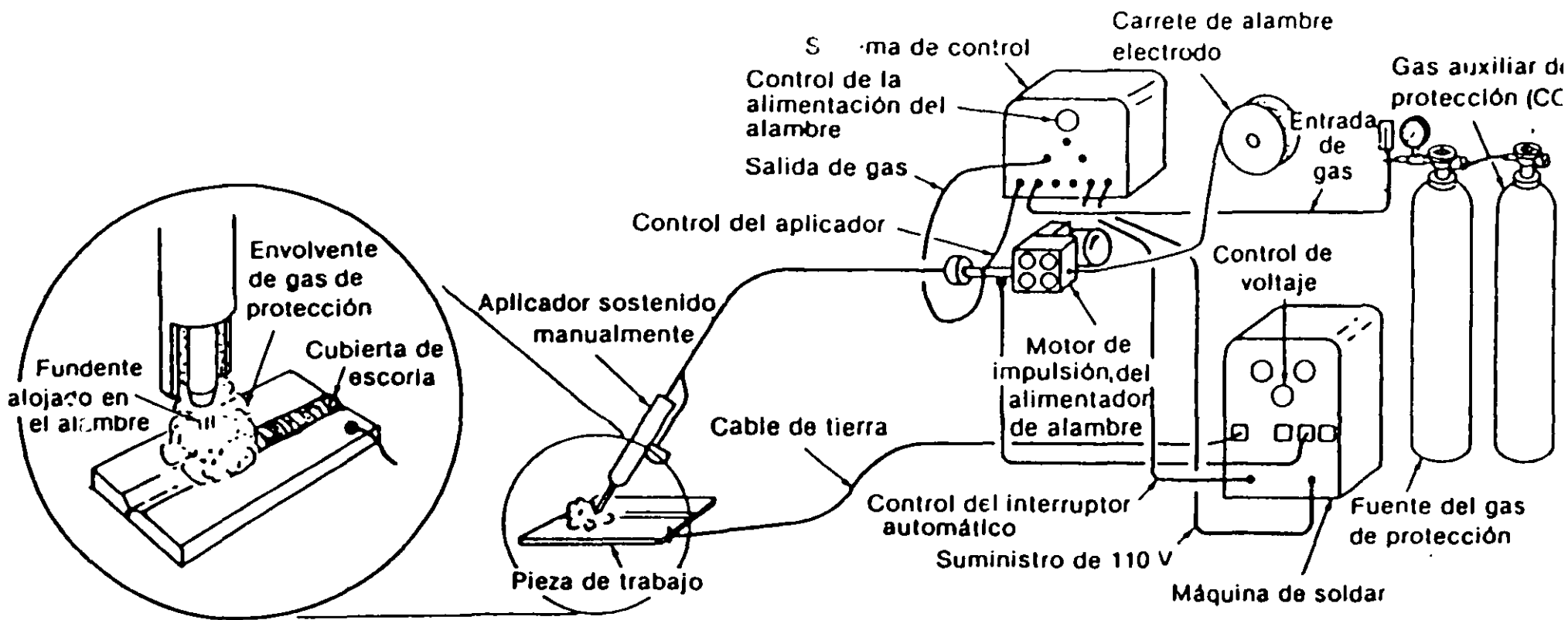
EL FACTOR MAS CRITICO ES QUE EL ALAMBRE DEBE CONSERVARSE LIMPIO. SI SE PERMITE QUE PERMANEZCA EN EL EXTERIOR PUEDE CONTAMINARSE CON OXIDO, ACEITE, HUMEDAD, POLVO, U OTROS ELEMENTOS PRESENTES EN UN TALLER. POR TANTO, CUANDO SEA POSIBLE, EL ALAMBRE DEBE CONSERVARSE EN SU ENVOLTURA PLÁSTICA ORIGINAL O EN SU PAQUETE DE ENVÍO. CUANDO UNA BOBINA DE ALAMBRE SE COLOCA EN EL ALIMENTADO, DEBE CUBRIRSE CON UNA CUBIERTA PROTECTORA, CUANDO NO SE USE POR PERIODOS PROLONGADOS DE TIEMPO.

LA FUENTE DE SUMINISTRO UTILIZADA PARA LA SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS ES MUY DIFERENTE DEL TIPO EMPLEADO PARA LA SOLDADURA CON ELECTRODO REVESTIDO. EN LUGAR DE UNA MAQUINA A CORRIENTE CONSTANTE, EL PROCESO POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS, UTILIZA LO QUE SE REFIERE COMO UNA FUENTE DE SUMINISTRO A VOLTAJE, SOBRE UN RANGO DE CORRIENTES.

LA SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS NORMALMENTE SE REALIZA UTILIZANDO CORRIENTE DIRECTA, ELECTRODO POSITIVO (POLARIDAD INVERTIDA) CUANDO ESTE TIPO DE FUENTE DE SUMINISTRO SE COMBINA CON UN ALIMENTADO DE ALAMBRE, DA COMO RESULTADO UN PROCESO DE SOLDADURA QUE PUEDE SER SEMIAUTOMÁTICO , MECÁNICO O TOTALMENTE AUTOMÁTICO. ESTO REDUCE EL GRADO DE HABILIDAD REQUERIDO PARA REALIZAR LA SOLDADURA CON ESTE PROCESO. LA FIGURA 12 MUESTRA EL ARREGLO TÍPICO DE LAS CONEXIONES PARA EL SISTEMA.

COMO PUEDE VERSE, EL EQUIPO ES MAS COMPLEJO QUE EL UTILIZADO PARA LA SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO. EL EQUIPO COMPLETO INCLUYE UNA FUENTE DE SUMINISTRO, ALIMENTADOR DE ALAMBRE, SUMINISTRO DE GAS Y UNA PISTOLA PARA SOLDAR, CONECTADA AL ALIMENTADOR DE ALAMBRE MEDIANTE UN CABLE FLEXIBLE A TRAVÉS DEL CUAL VIAJA EL ELECTRODO Y EL GAS. ANTES DE INICIAR LA SOLDADURA, EL SOLDADOR DEBERÁ AJUSTAR EL VOLTAJE EN LA FUENTE DE SUMINISTRO Y LA VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DEL ALAMBRE REALMENTE CONTROLA ESTA CARACTERÍSTICA.

CUANDO LOS AJUSTES DE MAQUINA MODIFICADOS, LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN SON ALTERADOS DRÁSTICAMENTE. EN PRINCIPIO, ES IMPORTANTE ENTENDER LA FORMA EN LA QUE EL METAL FUNDIDO ES TRANSFERIDO DESDE LA PUNTA DEL ELECTRODO, A TRAVÉS DEL ARCO, HASTA EL METAL BASE, EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS, HAY TRES MODOS BÁSICOS DE TRANSFERENCIA DEL METAL. ESTO SON: SPRAY, GLOBULAR Y CORTO CIRCUITO. SUS CARACTERÍSTICAS SON TAN DIFERENTES QUE EN ALGUNAS OCASIONES SE LES CONSIDERA COMO TRES PROCESOS DE SOLDADURA DIFERENTE. CADA TIPO ESPECIFICO TIENE VENTAJAS Y LIMITACIONES DEFINIDAS QUE LOS HACEN MEJORES PARA ALGUNAS APLICACIONES QUE OTRA. EL TIPO DE TRANSFERENCIA DEL METAL DEPENDE DE DIVERSOS FACTORES, QUE INCLUYEN: GAS DE PROTECCIÓN, NIVELES DE CORRIENTE Y VOLTAJE Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE SUMINISTRO.



Conjunto de elementos para soldadura MIG, modificado para control con protección auxiliar de gas.

FIGURA 12

UNA DE LAS DIFERENCIAS BÁSICAS EN LAS QUE DIFIEREN ESTOS TRES TIPOS, ES LA CANTIDAD DE CALOR QUE PROPORCIONAN A LA PIEZA DE TRABAJO, LA TRANSFERENCIA EN SPRAY, SE CONSIDERA LA MAS CALIENTE, SEGUIDO POR LAS TRANSFERENCIAS GLOBULAR Y CORTO CIRCUITO.

POR LO TANTO, LA TRANSFERENCIA EN SPRAY ES LA MAS EDECUADA PARA SECCIONES GRUESAS Y UNIONES DE PENETRACIÓN COMPLETA, ASÍ COMO LAS QUE PUEDEN COLOCARSE EN POSICIÓN PLANA.

LA TRANSFERENCIA GLOBULAR PROPORCIONA MUCHO CALENTAMIENTO Y ELEVADA VELOCIDAD DE DEPOSITO, PERO SUS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN TIENDEN A SER MENOS ESTABLES, RESULTANDO EN EXCESIVAS SALPICADURAS.

LA TRANSFERENCIA DE CORTO CIRCUITO PROVOCA MENOS CALENTAMIENTO DEL METAL BASE, TRANSFORMÁNDOLA EN UNA EXCELENTE SELECCIÓN, PARA LA SOLDADURA DE PLACAS DELGADAS Y UNIONES QUE TIENEN SEPARACIONES EXCESIVAS, DEBIDO A POBRE ALINEAMIENTO. ESTE TIPO DE TRANSFERENCIA ES TÍPICAMENTE LA MAS FRÍA DEBIDO AL HECHO DE QUE EL ELECTRODO REALMENTE ESTA EN CONTACTO CON EL METAL BASE, CREANDO UN CORTO CIRCUITO PARA UNA PORCIÓN DEL CICLO DE SOLDADURA. LOS BREVES PERIODOS DE EXTINCIÓN DEL ARCO PERMITEN TENDENCIA DE "QUEMADO" EN MATERIALES DELGADOS. DEBE TENERSE CUIDADO CUANDO LA TRANSFERENCIA EN CORTO CIRCUITO SE UTILIZA PARA LA SOLDADURA DE SECCIONES GRUESAS, DADO QUE RESULTAN EN FUSIÓN INCOMPLETA DEBIDO AL INSUFICIENTE CALENTAMIENTO DEL METAL BASE.

COMO SE MENCIONO, LOS GASES DE PROTECCIÓN TIENEN UN EFECTO SIGNIFICATIVO SOBRE EL TIPO DE TRANSFERENCIA DEL METAL. LA TRANSFERENCIA EN SPRAY PUEDE SER ALCANZADA SOLAMENTE CUANDO HAY, POR LO MENOS, 80% DE ARGÓN EN LA MEZCLA DE GASES. EL DIOXIDO DE CARBONO, CO₂, ES PROBABLEMENTE EL GAS MAS POPULAR PARA ESTE PROCESO, EN ACEROS AL CARBÓN, DEBIDO, EN PRINCIPIO, A SU BAJO COSTO Y LAS EXCELENTE CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN. UN INCONVENIENTE QUE DEBE TOMARSE EN CUANTA, SIN EMBARGO, ES QUE PRODUCE MUCHAS SALPICADURAS, REDUCIENDO LA EFICIENCIA.

LA VERSATILIDAD OFRECIDA, POR ESTE PROCESO HA RESULTADO EN SU UTILIZACIÓN EN MUCHAS APLICACIONES INDUSTRIALES. EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS PUEDE SER USADO EFICIENTEMENTE PARA UNIR O RECUBRIR MUCHOS METALES Y ALEACIONES FERROSAS Y NO FERROSAS.

EL USO DE GAS DE PROTECCIÓN EN LUGAR DE ALGÚN TIPO DE FÚNDENTE REDUCE LA POSIBILIDAD DE INTRODUCIR HIDROGENO EN LA ZONA DE SOLDADURA, DE TAL FORMA QUE ESTE PROCESO PUEDE UTILIZARSE EXITOSAMENTE EN SITUACIONES DONDE LA PRESENCIA DE HIDROGENO PUEDE CAUSAR PROBLEMAS. DEBIDO A LA AUSENCIA DE ESCORIA, EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS ES MUY ADECUADO PARA SOLDADURA AUTOMÁTICA U OTRAS SITUACIONES DE ALTA PRODUCCIÓN. DADO QUE MUY POCO O NINGUNA LIMPIEZA SE REQUIERE DESPUÉS DE LA SOLDADURA, LA EFICIENCIA ES MUY ELEVADA. ESTA EFICIENCIA ES MAYOR POR EL HECHO DE QUE EL ROLLO DE ALAMBRE ES CONTINUO, Y NO REQUIERE CAMBIOS TAN FRECUENTES COMO LOS ELECTRODOS UTILIZADOS EN EL PROCESO MANUAL. OTRO BENEFICIO DEL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS, ES QUE SE TRATA DE UN PROCESO RELATIVAMENTE LIMPIO, DEBIDO A QUE NO HAY FÚNDENTE, LOS TALLERES CON PROBLEMAS DE VENTILACIÓN PUEDEN ENCONTRAR ALGÚN ALIVIO UTILIZANDO ESTE PROCESO DEBIDO A QUE GENERA MENOS HUMO, CON LA PRESENCIA DE NUMEROSOS TIPOS DE ELECTRODOS Y EQUIPOS, QUE LO HACEN MAS PORTÁTIL LA VERSATILIDAD DEL PROCESO CONTINUA MEJORANDO, UN BENEFICIO ADICIONAL SE RELACIONA CON LA VISIBILIDAD DEL PROCESO; DADO QUE NO SE PRESENTA ESCORIA, EL SOLDADOR PUEDE OBSERVAR MAS FÁCILMENTE LA ACCIÓN DEL ARCO Y EL METAL FUNDIDO PARA MEJORAR SU CONTROL.

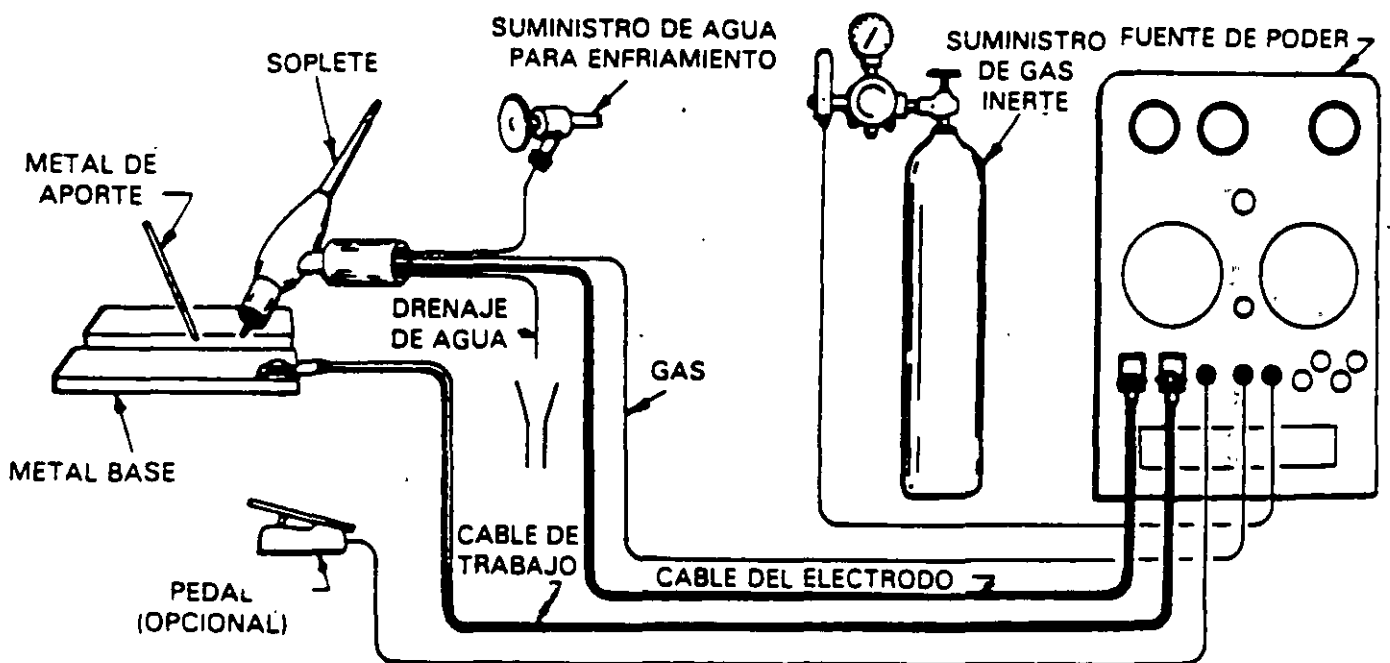
MIENTRAS QUE EL USO DE GAS DE PROTECCIÓN EN LUGAR DE FÚNDENTE PROPORCIONA ALGUNOS BENEFICIOS TAMBIÉN PUEDE SER UNA LIMITACIÓN. SI EL METAL BASE ESTA EXCESIVAMENTE CONTAMINADO, EL GAS DE PROTECCIÓN PUEDE NO SER SUFICIENTE PARA PREVENIR LA OCURRENCIA DE POROSIDAD. ES IMPORTANTE DARSE CUENTA QUE AUMENTAR EL FLUJO DE GAS ARRIBA DE LOS LIMITE RECOMENDADOS, NO NECESARIAMENTE GARANTIZA UNA MAYOR PROTECCIÓN. DE HECHO, LOS FLUJOS ELEVADOS TIENDEN A INCREMENTAR LA POSIBILIDAD DE POROSIDAD; ESTO SE DEBE A QUE TIENDEN A ARRASTRAR GASES DE LA ATMÓSFERA HACIA LA ZONA DE SOLDADURA.

SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO.

EL SIGUIENTE PROCESO A SER DISCUTIDO ES EL DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO, EL CUAL TIENE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS CUANDO SE COMPARA CON LOS OTROS PROCESOS POR ARCO ELÉCTRICO.

LA FIGURA 13 MUESTRA LOS ELEMENTOS BÁSICOS DEL PROCESO.

LA CARACTERÍSTICA MAS SIGNIFICATIVA AQUÍ, ES QUE EL ELECTRODO UTILIZADO NO SE CONSUME DURANTE LA OPERACIÓN DE SOLDADURA. ESTA FABRICADO DE TUNGSTENO PURO O ALEADO, EL CUAL TIENE LA HABILIDAD DE RESISTIR LAS ALTAS TEMPERATURAS, SIMILARES A LAS QUE SE PRODUCEN EN EL ARCO, POR TANTO, CUANDO LA CORRIENTE ESTA FLUYENDO, SE CREA UN ARCO ENTRE EL ELECTRODO DE TUNGSTENO Y LA PIEZA DE TRABAJO. SI SE REQUIERE METAL DE APORTE, ESTE DEBE SER AÑADIDO EXTERNAMENTE, YA SEA MANUALMENTE O CON EL USO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO. TODA LA PROTECCIÓN DEL ARCO Y DEL METAL ES PROPORCIONADA A TRAVÉS DEL USO DE UN GAS INERTE QUE FLUYE DE LAS BOQUILLA ALREDEDOR DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO. EL DEPOSITO DE SOLDADURA NO TIENE ESCORIA YA QUE NO UTILIZA FÚNDENTE.



SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO NO CONSUMIBLE

FIGURA 13

AL IGUAL QUE CON OTROS PROCESOS, HAY UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN QUE COMPRENDE VARIOS TIPOS DE ELECTRODOS DE TUNGSTENO, LO CUAL HACE QUE SEAN FÁCILMENTE IDENTIFICABLES. LA DESIGNACIÓN CONSISTE DE UNA SERIE DE LETRAS QUE INICIAN CON UNA "E" QUE SIGNIFICA ELECTRODO. EN SEGUIDA EXISTE UNA "W", QUE ES EL SÍMBOLO QUÍMICO DEL TUNGSTENO. ESTAS LETRAS SON SEGUIDAS POR LETRAS Y NÚMEROS QUE DESCRIBEN EL TIPO DE ALEACIÓN. DADO QUE SOLAMENTE HAY CINCO CLASIFICACIONES DIFERENTES, ESTOS SE DIFERENCIAN MÁS COMÚNMENTE UTILIZANDO UN SISTEMA DENOMINADO CÓDIGO DE COLORES. LA TABLA SIGUIENTE MUESTRA LAS CLASIFICACIONES Y EL CÓDIGO DE COLOR APROPIADO.

CLASIFICACIÓN AWS	COMPOSICIÓN	COLOR
EWp	TUNGSTENO	VERDE
EWTh-1	0.8-1.2% THORIO	AMARILLO
EWTh-2	1.7-2.2% THORIO	ROJO
EWTh-3	0.35-0.55% THORIO	AZUL
EWZr	0.15-0 ZIRCONIO	CAFÉ

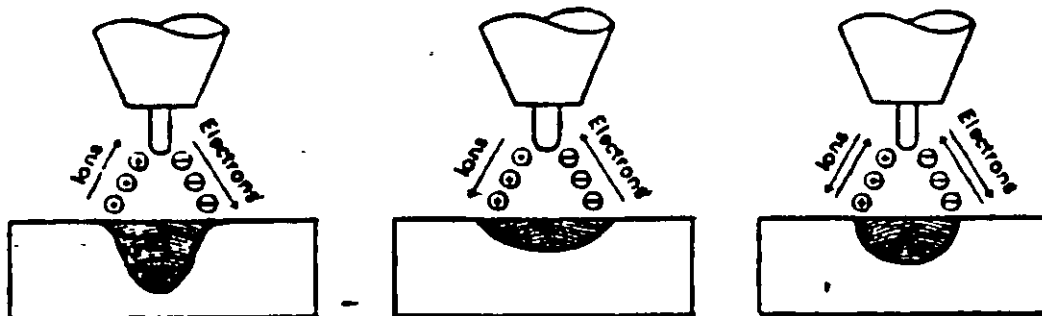
LA PRESENCIA DEL THORIO O ZIRCONIO AYUDA A MEJORAR LAS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS, HACIENDO QUE EL TUNGSTENO SEA LIGERAMENTE MÁS EMISIVO. ESTO SIGNIFICA SIMPLEMENTE QUE ES MÁS FÁCIL INICIAR UN ARCO CON LOS ELECTRODO DE TUNGSTENO PURO.

EL ELECTRODO TIPO EWTh-2 ES EL MÁS EMPLEADO PARA LA UNIÓN DE MATERIALES FERROSOS.

EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO PUEDE SER UTILIZADO CON CORRIENTE DIRECTA (EN AMBAS POLARIDADES) O CON CORRIENTE ALTERNA. EL USO DE CORRIENTE DIRECTA POLARIDAD INVERTIDA, DARÁ COMO RESULTADO UN MAYOR CALENTAMIENTO DEL ELECTRODO, MIENTRAS QUE CON CORRIENTE DIRECTA POLARIDAD DIRECTA HABRÁ UN MAYOR CALENTAMIENTO DEL METAL BASE. LA CORRIENTE ALTERNA SE USA TÍPICAMENTE PARA LA SOLDADURA DE ALUMINIO DEBIDO A QUE ESTE TIPO DE CORRIENTE INCREMENTARA LA ACCIÓN DE LIMPIEZA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA SOLDADURA. LA CORRIENTE DIRECTA POLARIDAD DIRECTA ES LA MÁS EMPLEADA PARA LA SOLDADURA DE ACEROS. LA FIGURA 14 ILUSTRARÁ CON MAYOR DETALLE LOS EFECTOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CORRIENTE EN TÉRMINOS DE CAPACIDAD DE PENETRACIÓN, ACCIÓN DE LIMPIEZA DE ÓXIDOS, BALANCE TÉRMICO DEL ARCO Y CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE CORRIENTE POR EL ELECTRODO.

COMO SE MENCIONA, ESTE PROCESO DE SOLDADURA UTILIZA GASES INERTES PARA LA PROTECCIÓN DEL ARCO Y DEL METAL LÍQUIDO. POR INERTE ENTENDEMOS QUE LOS GASES NO SE COMBINAN CON EL METAL, PERO LO PROTEGEN DE CONTAMINANTES. EL ARGÓN Y EL HELIO SON LOS GASES INERTES MÁS COMÚNMENTE UTILIZADOS, BASADOS EN SU COSTO RELATIVAMENTE BAJO Y SU DISPONIBILIDAD, COMPARADO CON OTROS TIPOS DE GASES INERTES.

Tipo de Corriente	DC	DC	AC (Balanceada)
Polaridad	Negativa	Positiva	



Características de penetración

Acción de limpieza de óxidos.	No	Si	Si - Una vez cada medio ciclo.
Balace de calor en el arco (aprox).	70% al trabajo 30% al electrodo	30% al trabajo 70% al electrodo	50% al trabajo 50% al electrodo
Penetración	Profundo, estrecho	Poca profundo; ancho	Media
Capacidad del electrodo	Excelente P.ej.- 3.18mm (1/8 pulg)-400 A	Mala P.ej.- 6.35mm (1/4 pulg)-120 A	Buena P.ej.- 3.18mm (1/8 pulg)-225 A.

EL EQUIPO REQUERIDO PARA EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO TIENEN COMO ELEMENTO PRIMARIO UNA FUENTE DE SUMINISTRO SIMILAR A LA EMPLEADA EN EL PROCESO POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO, ESTO ES, UNA MAQUINA DE CORRIENTE CONSTANTE. ADEMÁS, DADO QUE HAY UN GAS PRESENTE, ES NECESARIO TENER UN APARATO PARA SU CONTROL Y TRANSMISIÓN. LA FIGURA 15 MUESTRA UN ARREGLO TÍPICO PARA EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO.

EXISTEN NUMEROSAS APLICACIONES PARA ESTE PROCESO EN MUCHAS INDUSTRIAS. ESTE PROCESO ES CAPAZ DE SOLDAR VIRTUALMENTE TODOS LOS MATERIALES, DEBIDO A QUE EL ELECTRODO NO SE FUNDE DURANTE LA OPERACIÓN DE SOLDADURA. LA HABILIDAD PARA SOLDAR CON CORRIENTES EXTREMADAMENTE BAJAS HACE QUE ESTE PROCESO DE SOLDADURA SEA ADECUADO PARA UTILIZARSE EN SECCIONES DELGADAS (HASTA 0.005").

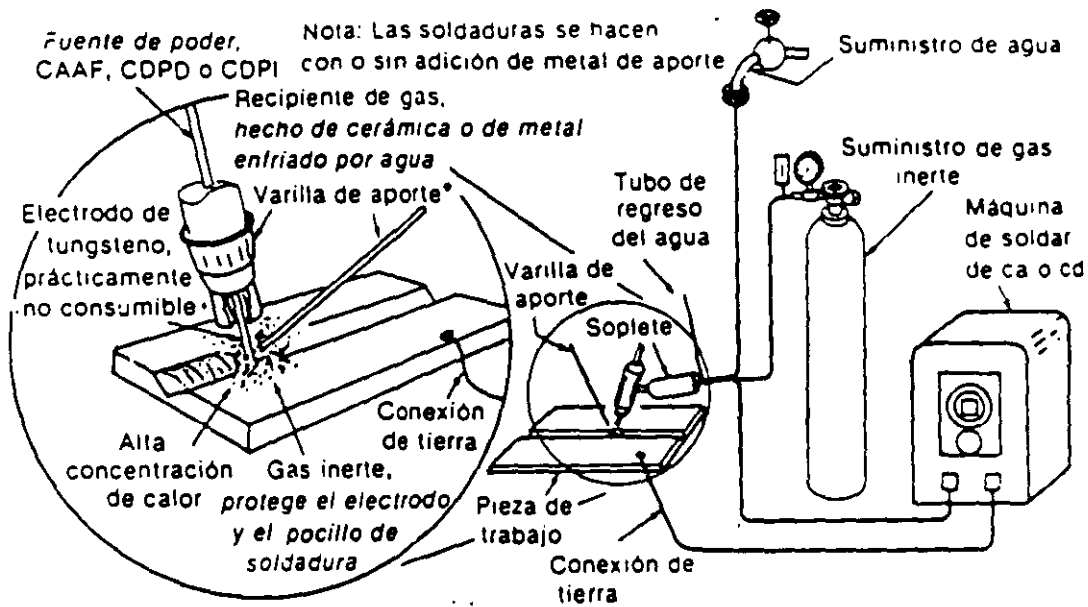
TÍPICAMENTE ES UN PROCESO LIMPIO Y DE OPERACIÓN CONTROLABLE LO CUAL INDICA QUE SEA EL ELEGIBLE PARA APLICACIONES EXTREMADAMENTE CRÍTICAS, TALES COMO EN LAS INDUSTRIAS AEROSPACIALES, PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS Y MEDICINAS Y QUÍMICA.

CONTRASTANDO CON ESTAS VENTAJAS, TAMBIÉN HAY DIVERSAS DESVENTAJAS. EN PRIMER LUGAR, ESTE PROCESO ES EL MAS LENTO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA LIMPIO, TAMBIÉN SE CARACTERIZA POR TENER UNA BAJA TOLERANCIA A LA CONTAMINACIÓN. POR TANTO, EL METAL DE APORTE Y EL METAL BASE DEBEN ESTAR EXTREMADAMENTE LIMPIOS ANTES DE LA OPERACIÓN DE SOLDADURA. CUANDO SE UTILIZA COMO PROCESO MANUAL, EL PROCESO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO REQUIERE UN ALTO NIVEL DE HABILIDAD. ESTO SE DEBE PARCIALMENTE A LA NECESIDAD DE UTILIZAR AMBAS MANOS UNA MANIPULA LA ANTORCHA Y LA OTRA EL METAL DE APORTE.

COMO SE MENCIONO, UNO DE LOS PROBLEMAS INHERENTES ASOCIADOS CON ESTE MÉTODO, ES LA INTOLERANCIA A LA CONTAMINACIÓN. SI SE ENCUENTRA HUMEDAD, YA SEA EN EL METAL DE APORTE, METAL BASE O GASES DE PROTECCIÓN, EL RESULTADO PUEDE SER POROSIDAD EN EL DEPOSITO DE SOLDADURA.

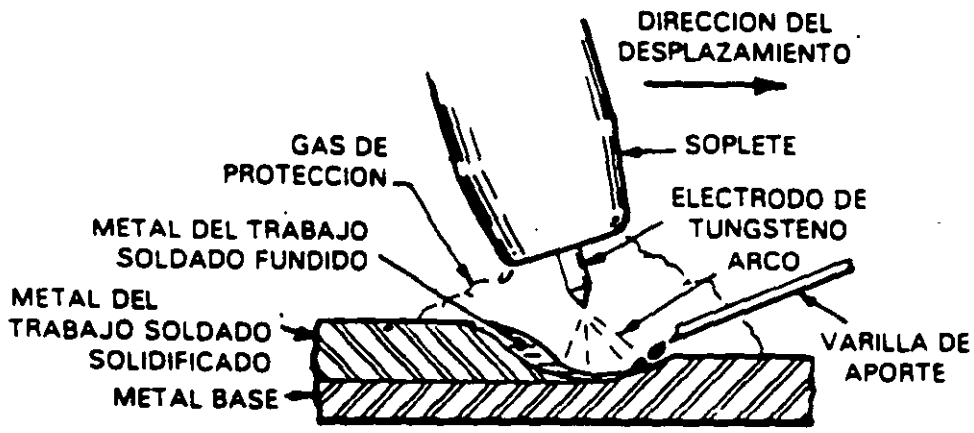
CUANDO OCURRE ESTO, ES UNA SEÑAL DE QUE EL PROCESO ESTA FUERA DE CONTROL Y SON NECESARIAS ALGUNAS MEDIDAS CORRECTIVAS. PARA ESTO DEBE REALIZARSE UN CHEQUEO PARA DETERMINAR LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN Y CON ESTO ELIMINARLA.

OTRO PROBLEMA INHERENTE ÚNICAMENTE A ESTE PROCESO, ES LA INCLUSIÓN DE TUNGSTENO. COMO SU NOMBRE LO INDICA, ESTA DISCONTINUIDAD OCURRE CUANDO PARTES DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO SE INCLUYEN EN EL DEPOSITO DE SOLDADURA. LAS INCLUSIONES DE TUNGSTENO PUEDE OCURRIR DEBIDO A ALGUNA DE LAS SIGUIENTES RAZONES.



Unidad para soldadura dotada de suministro de agua, para soldar por el proceso TIG.

Diagrama del proceso (GTAW).



SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO NO CONSUMIBLE

FIGURA 15

- 1.- CONTACTO DE LA PUNTA DEL ELECTRODO CON EL METAL LIQUIDO
- 2.- CONTACTO DEL METAL DE APORTE CON LA PUNTA CALIENTE DEL ELECTRODO
- 3.- CONTAMINACIÓN DE LA PUNTA DEL ELECTRODO POR SALPICADURAS.
- 4.- EXCESO DE CORRIENTE, MAYOR AL LIMITE PARA UN DIÁMETRO O TIPO DE ELECTRODOS DETERMINADO.
- 5.- EXTENSIÓN DE ELECTRODOS MAS ALLA DE SU DISTANCIA NORMAL DEL COLECTOR, RESULTANDO EN SOBRECALENTAMIENTO DEL ELECTRODO.
- 6.- CIERRE INADECUADO DEL COLECTOR.
- 7.- INADECUADO FLUJO DEL GAS DE PROTECCIÓN O EXCESIVAS CORRIENTES DE AIRE, QUE PROMUEVEN OXIDACIÓN DE LA PUNTA DEL ELECTRODO.
- 8.- DEFECTOS TALES COMO GRIETAS O RAYONES EN EL ELECTRODO
- 9.- USO DE GASES DE PROTECCIÓN INADECUADOS, Y
- 10.- AFILADO INADECUADO DE LA PUNTA DEL ELECTRODO

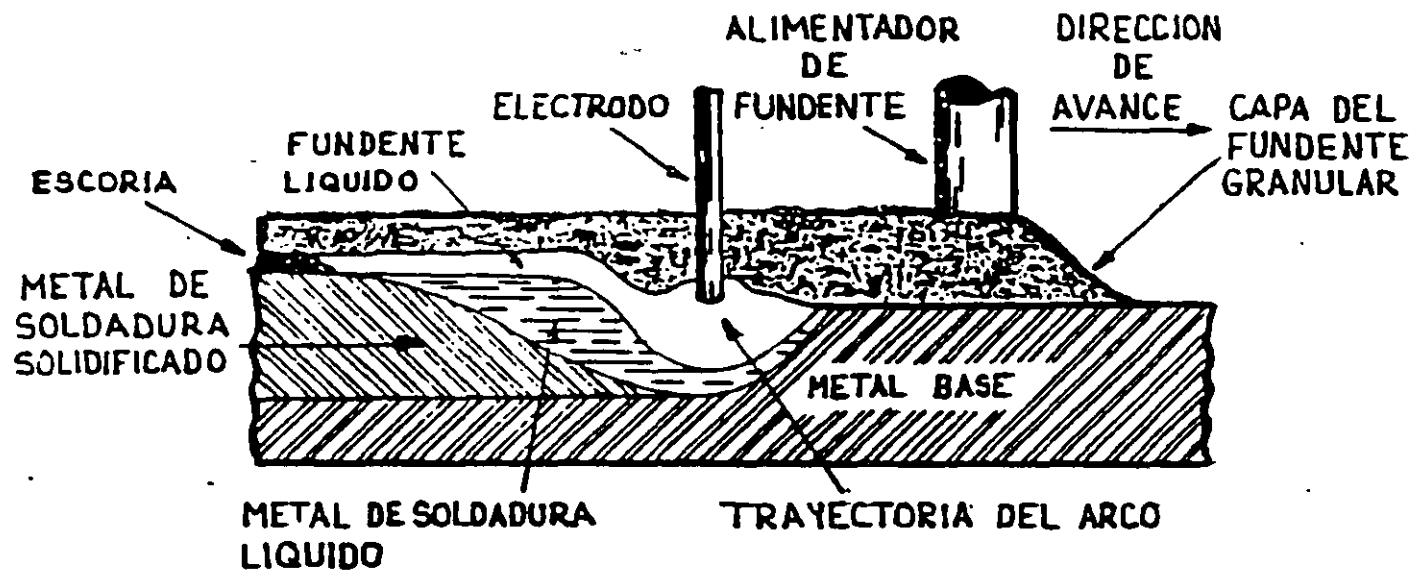
SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

ESTE PROCESO DE SOLDADURA ES TÍPICAMENTE EL MAS EFICIENTE, EN TÉRMINOS DE LA VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE SOLDADURA. EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO SE CARACTERIZA POR EL USO DE UN ALAMBRE SOLIDO (ELECTRODO) ALIMENTADO CONTINUAMENTE, EL CUAL FORMA UN ARCO CON UNA PIEZA DE TRABAJO; ESE ARCO ES PROTEGIDO TOTALMENTE POR UNA CAPA DE FÚNDENTE GRANULAR DE AQUÍ SU NOMBRE DE ARCO SUMERGIDO". LA FIGURA 16 MUESTRA COMO SE PRODUCE UNA SOLDADURA UTILIZANDO ESTE PROCESO.

COMO SE MENCIONO, EL ALAMBRE ES ALIMENTADO EN UNA ZONA DE SOLDADURA DE LA MISMA FORMA QUE EN LOS PROCESOS POR ARCO, PROTEGIDOS CON GAS Y CON FÚNDENTE EN EL NÚCLEO. LA MAYOR DIFERENCIA, SIN EMBARGO, ESTE EN EL MÉTODO DE PROTECCIÓN. CON LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO, UN FÚNDENTE GRANULAR ES VACIADO SOBRE O ALREDEDOR DE ESTE ELECTRODO PARA FACILITAR LA PROTECCIÓN DEL METAL FUNDIDO. A MEDIDA QUE PROGRESA LA SOLDADURA, ADEMÁS DEL CORDÓN DE SOLDADURA HAY UNA CAPA DE ESCORIA Y FÚNDENTE AUN GRANULAR, QUE CUBRE EL METAL DE SOLDADURA SOLIDIFICADO.

LA ESCORIA DEBE SER REMOVIDA Y ELIMINADA. SIN EMBARGO, EL FÚNDENTE GRANULAR PUEDE SER RECUPERADO Y REUTILIZADO, SI SE TOMAN CUIDADOS PARA EVITAR SU CONTAMINACIÓN. EN ALGUNOS CASOS CUANDO EL FÚNDENTE PROPORCIONA ELEMENTOS ALEANTES A LA SOLDADURA, LA REUTILIZACION DEL FÚNDENTE NO ES PERMITIDA.

DADO QUE EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO UTILIZA ELECTRODOS Y FUNDENTES, HAY NUMEROSAS COMBINACIONES DISPONIBLES PARA APLICACIONES ESPECIFICAS. HAY DOS TIPOS GENERALES DE COMBINACIONES QUE PUEDEN SER UTILIZADAS PARA OBTENER UN DEPOSITO DE SOLDADURA ALEADO; UN ELECTRODO ALEADO CON UN FÚNDENTE NEUTRO O UN ELECTRODO DE ACERO AL CARBONO CON FÚNDENTE ALEADO. POR TANTO PARA DESCRIBIR APROPIADAMENTE EL MATERIAL DE APORTE EN LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO, LA SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA AWS, DISEÑO UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN QUE COMBINA LAS CARACTERÍSTICAS DEL ELECTRODO Y EL FÚNDENTE, LA FIGURA 17 MUESTRA LOS SIGNIFICADOS DE LA CLASIFICACIÓN ELECTRODO/FÚNDENTE. TAMBIÉN MUESTRA UN EJEMPLO TÍPICO.



SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

FIGURA 16

EL EQUIPO UTILIZADO PARA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO CONSISTE DE DIVERSO COMPONENTES, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 18.

YA QUE ESTE PROCESO PUEDE SER UTILIZADO COMO UN MÉTODO TOTALMENTE AUTOMÁTICO O COMO MÉTODO SEMIAUTOMÁTICO, EL EQUIPO UTILIZADO, EN CADA CASO, ES LIGERAMENTE DIFERENTE. EN AMBOS MÉTODOS, SIN EMBARGO, SE REQUIERE UNA FUENTE DE SUMINISTRO. AUN QUE ESTE PROCESO SE REALIZA CON UNA FUENTE DE SUMINISTRO A VOLTAJE CONSTANTE, HAY CIERTAS APLICACIONES DONDE SE PREFERE UNA MAQUINA A CORRIENTE CONSTANTE. AL IGUAL QUE EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN DE GAS, UN ALIMENTADOR DE ALAMBRE FORJA EL ALAMBRE A TRAVÉS DE UN TUBO HUECO, HASTA EL MANERAL DE SOLDADURA. EL FÚNDENTE DEBE SER ALIMENTADO A LA ZONA DE SOLDADURA DE ALGUNA FORMA. EN EL CASO DEL SISTEMA MECANIZADO, EL FÚNDENTE ES VACIADO EN UNA TOLVA, ARRIBA DEL CABEZAL DE SOLDADURA, Y ALIMENTADO POR GRAVEDAD, DE TAL FORMA QUE SE VACÍA LIGERAMENTE ADELANTE DEL ARCO O ALREDEDOR DEL ARCO, DESDE UNA BOQUILLA QUE RODEA EL TUBO DE CONTACTO.

INDICA FÚNDENTE

INDICA LA MÍNIMA RESISTENCIA A LA TENSIÓN (EN INCREMENTOS DE 10.000 PSI (69 Mpa) DEL METAL DE SOLDADURA CON EL FÚNDENTE Y EL ELECTRODO ESPECÍFICOS.

INDICA LAS CONDICIONES DE TRATAMIENTO TÉRMICO EN LAS CUALES SE CONDUJO LA PRUEBA "A" SIN TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA; "p" CON TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA.

INDICA LA TEMPERATURA A LA CUAL SE REALIZO LA PRUEBA DE IMPACTO DEL METAL DE SOLDADURA EN DECENAS DE °F BAJO CERO

INDICA UN ELECTRODO

CLASIFICACIÓN DEL ALAMBRE

FXXX-EXXX

EJEMPLO : F7A5-EM 13K.

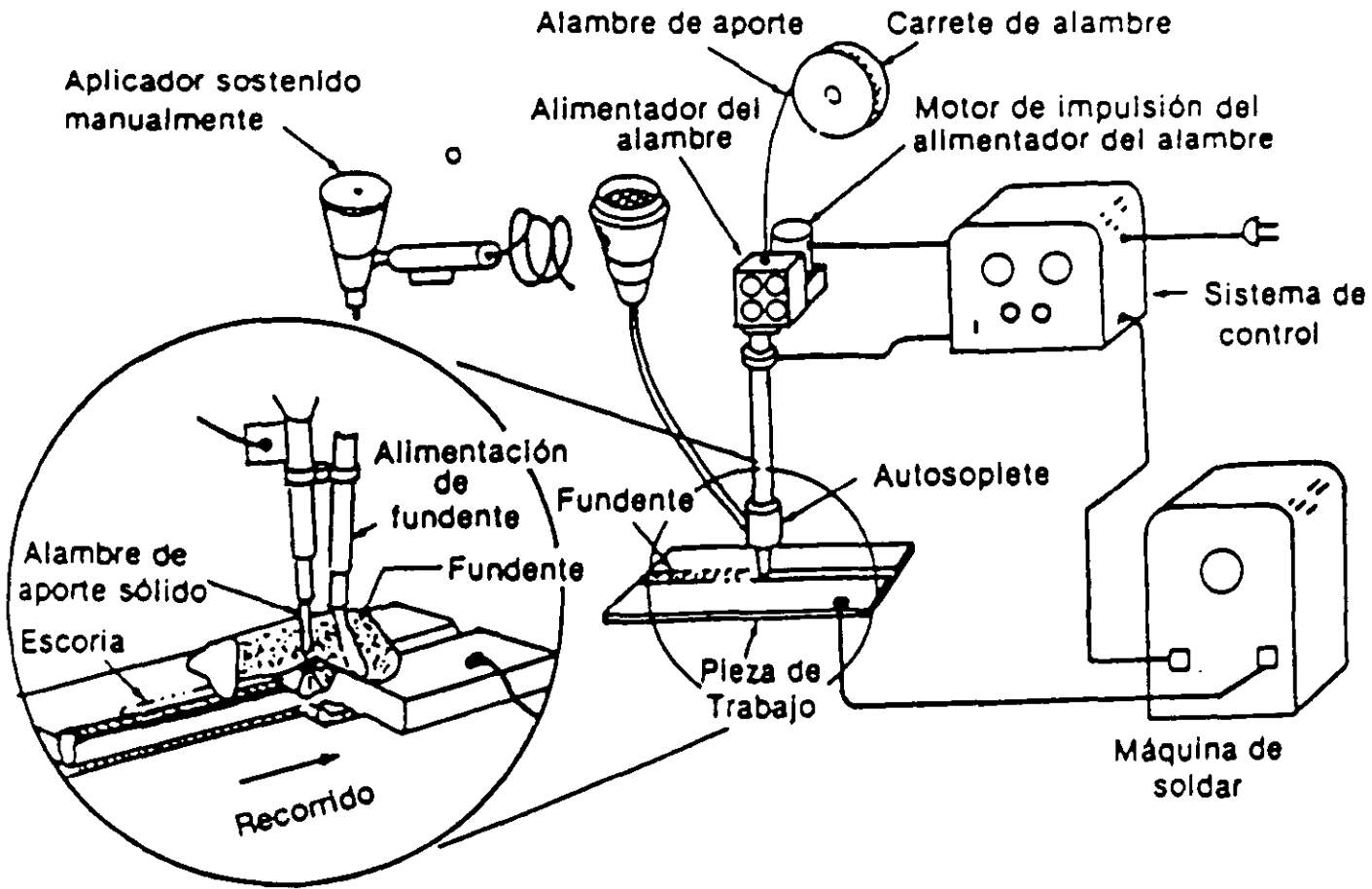
F- FÚNDENTE

7- MÍNIMO 70.000 PSI DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN

A- SIN TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA

5- TEMPERATURA PARA PRUEBA DE IMPACTO- 50°F.

EM13K- CLASIFICACIÓN ESPECIFICA DEL ALAMBRE CON EL QUE SE EFECTUÓ EL DEPOSITO DE SOLDADURA.



Partes de un sistema para soldadura de arco sumergido.

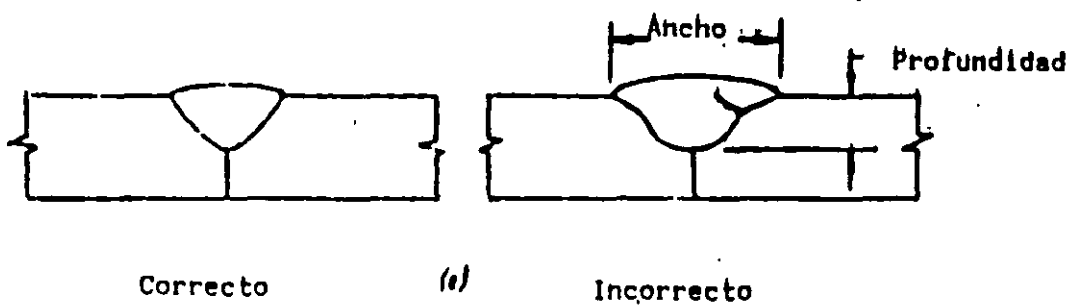
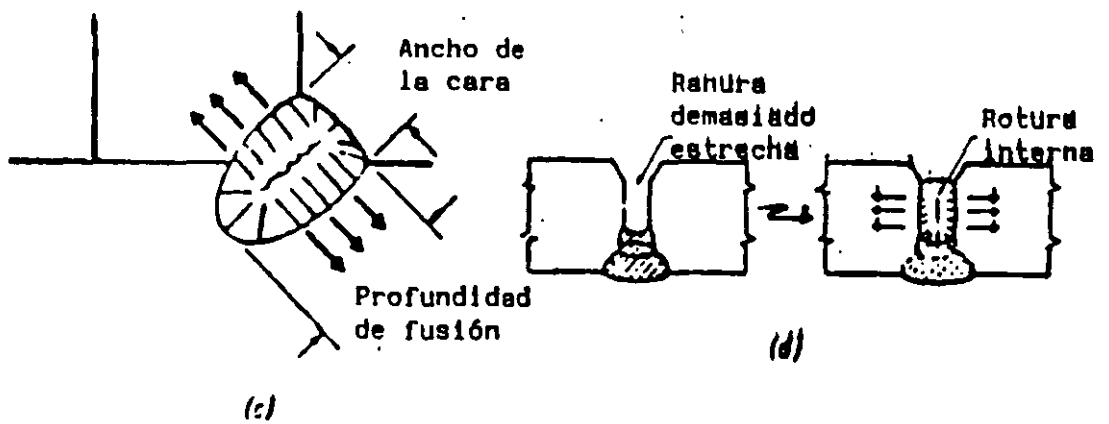
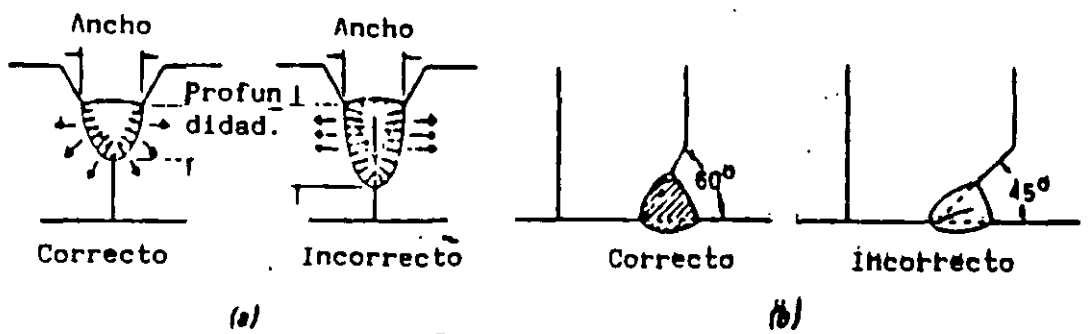
FIGURA 18

LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO HA ENCONTRADO GRAN ACEPTACIÓN EN MUCHAS INDUSTRIAS, Y PUEDE SER APLICADO EN NUMEROSOS METALES. DEBIDO A LA ALTA VELOCIDAD DE DEPOSITO DE SOLDADURA, HA DEMOSTRADO SER MUY EFECTIVO PARA REVESTIMIENTOS Y RECONSTRUCCIÓN DE SUPERFICIES. EN SITUACIONES EN LAS QUE UNA SUPERFICIE NECESITA MEJORAR SU RESISTENCIA A LA CORROSIÓN Y AL DESGASTE, FRECUENTEMENTE ES MAS ECONÓMICO APLICAR UN RECLUBRIMIENTO DE SOLDADURA CON DICHAS CARACTERÍSTICAS, SOBRE EL MATERIAL BASE. SI ESTA APLICACIÓN PUEDE SER MECANIZADA, LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO ES UNA OPCIÓN EXCELENTE.

PROBABLEMENTE LA MAYOR VENTAJA DE LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO ES SU ALTA VELOCIDAD DE DEPOSITO. TÍPICAMENTE, PUEDE DEPOSITAR MAS EFICIENTEMENTE QUE CUALESQUIER DE LOS PROCESOS COMUNES. ESTE PROCESO TAMBIÉN TIENE MAYOR ATRACCIÓN PARA EL OPERADOR; EN PRINCIPIO, DEBIDO A LA AUSENCIA DE UN ARCO VISIBLE, LO CUAL PERMITE AL OPERADOR CONTROLAR LA SOLDADURA SIN NECESIDAD DE UTILIZAR LENTES DE PROTECCIÓN Y OTROS MATERIALES, DE SEGURIDAD. LA OTRA CARACTERÍSTICA BENÉFICA ES QUE SE GENERA MENOS HUMO, EN COMPARACIÓN CON OTROS PROCESOS. UNA CARACTERÍSTICA ADICIONAL DEL PROCESO QUE LO HACE DESEABLE PARA MUCHAS APLICACIONES, ES SU HABILIDAD DE PENETRACIÓN.

LA MAYOR LIMITACIÓN DE LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO ES QUE SOLAMENTE SE PUEDE EFECTUAR EN UNA POSICIÓN DONDE EL FÚNDENTE PUEDA SER MANTENIDO EN LA JUNTA DE SOLDADURA. CUANDO SE SUELDA EN UNA POSICIÓN DIFERENTE DE LAS POSICIONES PLANA U HORIZONTAL DE FILETE, SE REQUIERE ALGÚN DISEÑO PARA MANTENER EL FÚNDENTE EN EL SITIO DE APLICACIÓN. OTRA LIMITACIÓN ES QUE PARA UN SISTEMA TOTALMENTE AUTOMÁTICO, HAY NECESIDAD DE UN EQUIPO DE POSICIONAMIENTO Y GUÍA. AL IGUAL QUE OTROS PROCESOS QUE UTILIZAN FUNDENTES, LAS SOLDADURAS TERMINADAS TIENEN UNA CAPA DE ESCORIA QUE DEBE SER REMOVIDA.

SI LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA SON INADECUADOS, LOS CONTORNOS DE LA SOLDADURA SERÁN TALES QUE EL TRABAJO DE REMOCIÓN DE ESCORIA SERÁN MAS DIFÍCILES. LA DESVENTAJA FINAL DE ESTE PROCESO SE RELACIONA CON EL FÚNDENTE QUE CUBRE EL ARCO DURANTE LA APLICACIÓN. ADEMÁS DE QUE REALIZA UN BUEN TRABAJO DE PROTECCIÓN PARA EL SOLDADOR, TAMBIÉN EVITA QUE ESTE VEA EXACTAMENTE DONDE SE POSICIÓN EL ARCO, CON RESPECTO A LA JUNTA. CON UN ARREGLO MECANIZADO, ES ACONSEJABLE RECORRER LA LONGITUD ENTERA DE LA JUNTA SIN ENCENDER EL ARCO Y SIN FÚNDENTE, PARA VERIFICAR EL ALINEAMIENTO. SI EL ARCO NO SE DIRIGE APROPIADAMENTE PUEDE RESULTAR EN FUSIÓN INCOMPLETA.



Agrietamiento durante la solidificación debido al perfil de la soldadura.

FIGURA 19

HAY ALGUNOS PROBLEMAS INHERENTES RELACIONADOS CON EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO. EL PRIMERO SE RELACIONA CON EL FÚNDENTE GRANULAR. AL IGUAL QUE CON LOS ELECTRODOS BAJO HIDROGENO, EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDOS, SMAW, ES NECESARIO PROTEGER EL FÚNDENTE DE LA HUMEDAD. PUEDE SER NECESARIO ALMACENAR EL FÚNDENTE EN CONTENEDORES CALIENTES ANTES DE SU UTILIZACIÓN. SI EL FÚNDENTE ESTE HÚMEDO, PUEDE RESULTAR EN POROSIDAD Y AGRIETAMIENTOS BAJO CORDÓN.

OTRO PROBLEMA CARACTERÍSTICO DE ESTE PROCESO ES EL AGRIETAMIENTO DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN.

ESTE PROBLEMA RESULTA CUANDO LAS CONDICIONES DE SOLDADURA PROPORCIONAN UN CORDÓN DE SOLDADURA QUE TIENE UNA RELACIÓN EXTREMA ANCHO/ PROFUNDIDAD. ESTO ES, CUANDO EL ANCHO DEL CORDÓN ES MUCHO MAYOR QUE SU PROFUNDIDAD, O VICEVERSA, PUEDE OCURRIR EL AGRIETAMIENTO EN EL CENTRO, DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN. LA FIGURA 19 MUESTRA ALGUNAS CONDICIONES QUE PUEDE CAUSAR DICHOS PROBLEMAS.

PROCESOS DE SOLDADURA (BRAZING)

LA SOLDADURA FUERTE (BRAZING) DIFERENTE DE LA SOLDADURA CONVENCIONAL EN QUE NO SE REQUIERE LA FUSIÓN DEL METAL BASE PARA REALIZAR LA UNIÓN. EL CALOR ES SUFICIENTE ÚNICAMENTE PARA LA FUSIÓN DEL METAL DE APORTE. OTRO PROCESO DE UNIÓN, EL ESTAÑADO, ES SIMILAR EN QUE TAMBIÉN REQUIERE ÚNICAMENTE LA FUSIÓN DEL METAL DE APORTE PARA CREAR EL ENLACE. LA SOLDADURA FUERTE Y EL ESTAÑO SE DIFERENCIAN POR LA TEMPERATURA A LA CUAL FUNDE EL METAL DE APORTE. AQUELLOS METALES DE APORTE FUNDEN ARRIBA DE 840°F (450°C) SE CONSIDERAN MATERIALES DE SOLDADURA FUERTE. MIENTRAS QUE AQUELLOS QUE FUNDEN ABAJO DE ESTA TEMPERATURA SE UTILIZAN PARA "ESTAÑADO CON PLACA" ES REALMENTE INCORRECTO, DEBIDO A QUE LA SOLDADURA DE PLATA FUNDE ARRIBA DE 840°F.

AUN CUANDO EL METAL BASE NO SE FUNDE Y NO HAY FUSIÓN ENTRE EL METAL BASE Y EL METAL DE APORTE, EL ENLACE CREADO TIENE UNA GRAN RESISTENCIA. CUANDO SE APLICA APROPIADAMENTE, LA UNIÓN PUEDE DESARROLLAR UNA RESISTENCIA IGUAL O MAYOR QUE EL METAL BASE, AUNQUE EL MATERIAL DE APORTE DE LA SOLDADURA FUERTE SEA MAS DÉBIL QUE EL METAL BASE. ESTO ES POSIBLE DEBIDO A DOS FACTORES.

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD

PARA CIERTAS CLASES DE TRABAJO ESTÁN BIEN ESTABLECIDOS LOS REQUISITOS DE CONTROL DE CALIDAD. ESTOS REQUISITOS HACEN NECESARIOS REDACTAR UN PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD. LOS ESTRICTOS REQUISITOS QUE SE ENCUENTRAN EN LOS CÓDIGOS NUCLEARES NECESITAN DE UN PROGRAMA PARA ASEGURAR UNA CALIDAD ADECUADA DESDE EL DISEÑO, ADQUISICIÓN, FABRICACIÓN Y EL EMBARQUE FINAL. EL PROGRAMA DEBE DEFINIR AUTORIDAD Y RESPONSABILIDAD PARA CADA PARTE DEL TRABAJO. EL PROGRAMA PARA ASEGURAR LA CALIDAD DEBE COMPRENDER LO SIGUIENTE:

1.- **ORGANIZACIÓN.** SE DEBE ESTABLECER CLARAMENTE LA ORGANIZACIÓN PARA LA CALIDAD. DEBE DEFINIR Y MOSTRAR DIAGRAMAS DE RESPONSABILIDAD Y DE AUTORIDAD, Y LA LIBERTAD ORGANIZACIONAL PARA IDENTIFICAR Y EVALUAR PROBLEMAS DE CALIDAD. EL PERSONAL DE CONTROL DE CALIDAD NO DEBE "REPORTAR" AL PERSONAL DE PRODUCCIÓN.

2.- **PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.** EL FABRICANTE DEBE LLEVAR A CABO UNA REVISIÓN DE LOS REQUISITOS NECESARIOS DE CALIDAD EN EL PRODUCTO. SE DEBEN IDENTIFICAR LOS DISTINTOS FACTORES, COMO CONTROLES ESPECIALIZADOS, PROCESOS, EQUIPO DE PRUEBA Y CONOCIMIENTOS PARA ASEGURAR LA CALIDAD DEL PRODUCTO. ESTE PROGRAMA SE DEBE DOCUMENTAR MEDIANTE PLANES DE ACCIÓN POR ESCRITO, PROCEDIMIENTO E INSTRUCCIONES.

3.- **CONTROL EN EL DISEÑO.** EL CONTROL EN EL DISEÑO DEBE PERMITIR VERIFICAR LA ADECUACIÓN DEL DISEÑO MEDIANTE PRUEBA DE OPERACIÓN Y REVISIÓN INDEPENDIENTE. DEBE INCLUIR LA CALIFICACIÓN Y PRUEBA DE PROTOTIPOS, Y DEBE APEGARSE A LAS ESPECIFICACIONES. HAY QUE ESTABLECER MEDIDAS QUE ASEGUREN QUE LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO Y REQUISITOS REGLAMENTARIOS SE TRASLADEN CORRECTAMENTE A LOS DIBUJOS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUCCIONES.

4.- **CONTROL DE DOCUMENTOS DE ADQUISICIÓN.** EL PROGRAMA NECESITA QUE LAS ESPECIFICACIONES SE HAGAN POR ESCRITO PARA CADA PARTE COMPRADA Y QUE LA ESPECIFICACIÓN ASEGURE LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL. ESTAS ESPECIFICACIONES TAMBIÉN NECESITAN DE PROGRAMAS PARA ASEGURAR LA CALIDAD DE PARTE DE LOS PROVEEDORES.

5.- **INSTRUCCIONES, PROCEDIMIENTO Y DIBUJOS.** EL PROGRAMA DE CALIDAD DEBE ASEGURAR QUE TODO TRABAJO QUE AFECTE LA CALIDAD SEA PRESCRITO EN INSTRUCCIONES CLARAS Y COMPLETAS, DOCUMENTADAS, DE UN TIPO ADECUADO PARA EL TRABAJO. SE DEBE VIGILAR QUE SE CUMPLAN BIEN LAS INSTRUCCIONES.

6.- **CONTROL DE DOCUMENTOS.** EL PROGRAMA DE CALIDAD DEBE COMPRENDER UN PROCEDIMIENTO PARA MANTENER LA TOTALIDAD Y LA CORRECCIÓN DE DIBUJOS E INSTRUCCIONES, Y QUE MUESTRE DATOS, CONTROL, PUNTO EFECTIVO, ETC. ESTOS DIBUJOS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUCCIONES DEBEN MANTENERSE Y SU CONTINUIDAD SE DEBE EXPLICAR MEDIANTE AVISOS DE CAMBIO.

7.- CONTROL DEL EQUIPO, MATERIAL Y SERVICIO COMPRADOS. EL PROGRAMA DEBE INCLUIR UN SISTEMA DE CONTROL PARA COMPRA A VENDEDORES CALIFICADOS. ESTO SIGNIFICA QUE LOS PROVEEDORES DEBEN TENER PROGRAMAS SEMEJANTES DE CALIDAD PARA PRODUCIR SUS ARTÍCULOS. HAY QUE HACER UNA LISTA DE LOS PRODUCTOS APROBADOS Y SOLO INCLUIR EN ELLA A PROVEEDORES QUE CUMPLAN CON LOS PROGRAMAS DE CALIDAD ADECUADOS Y QUE FABRIQUEN PARTES DE ALTA CALIDAD. EL PROGRAMA NECESITA DE SISTEMA DE INSPECCIÓN A LA RECEPCIÓN, DE MODO QUE LAS PARTES COMPRADAS PUEDAN REVISARSE COMPARÁNDOLAS CON LAS ESPECIFICACIONES. LA MATERIA PRIMA, LA REFACCIONES COMPRADAS, ETC. SE DEBEN REVISAR MEDIANTE INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO, ETC. PARA ASEGURAR QUE LOS PRODUCTOS SATISFAGAN LAS ESPECIFICACIONES.

8.- IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE MATERIALES. EL PROGRAMA DEBE PERMITIR LA IDENTIFICACIÓN DE TODAS LAS PARTES, MATERIALES, COMPONENTES, ETC., DESDE LA RECEPCIÓN, Y A TRAVÉS DE TODOS LOS PROCESOS HASTA EL ARTICULO FINAL LOS REGISTROS DEBEN PERMITIR LA LOCALIZACIÓN DE TODOS LOS MATERIALES, COMPONENTES, ETC. SE DEBE ESTABLECER UNA LISTA DE VERIFICACIÓN PARA QUE SE PUEDAN REVISAR TODAS LAS CARACTERÍSTICAS Y PARA ANOTAR QUE SE HAN RECIBIDO LOS INFORMES DE LAS PRUEBAS, SE HAN REVISADO Y SE HAN APROBADO.

9.- CONTROL DE PROCESOS ESPECIALES. EL PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DEBE ASEGURAR QUE TODAS LAS OPERACIONES DE MANUFACTURA, INCLUYENDO LA SOLDADURA, SE LLEVEN A CABO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS, ESTAS CONDICIONES CONTROLADAS IMPLICAN EL SEGUIR INSTRUCCIONES DE TRABAJO POR ESCRITO, DIBUJOS, EQUIPO ESPECIAL, ETC. ADEMÁS, IMPLICA QUE SE DEN INSTRUCCIONES, CON ESPACIOS PARA INFORMAR LOS RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN POR PARTE DEL FABRICANTE Y DEL INSPECTOR, INCLUYENDO LA FECHA Y SUS INICIALES.

10.- INSPECCIÓN. EL PROGRAMA PARA SEGURAR LA CALIDAD DEBE INCLUIR UN SISTEMA DE INSPECCION Y PRUEBAS PARA TODOS LOS PRODUCTOS. DICHAS PRUEBAS DEBEN SIMULAR EL SERVICIO DEL PRODUCTO Y HAY QUE REGISTRAR SI EL PRODUCTO ES ADECUADO Y CUMPLE CON ESAS ESPECIFICACIONES.

11.- CONTROL DE PRUEBA. EL PROGRAMA DEBE ASEGURAR QUE TODAS LAS PRUEBAS SE LLEVEN A CABO DE ACUERDO CON LAS INSTRUCCIONES ESCRITAS. LAS INSTRUCCIONES DEBEN INCLUIR LOS REQUISITOS Y LOS LÍMITES DE ACEPTACIÓN. LOS RESULTADOS DE PRUEBA SE DEBEN DOCUMENTAR Y EVALUAR PARA ASEGURAR QUE SE SATISFAGAN LOS REQUISITOS DE PRUEBA.

12.- CONTROL DE EQUIPO DE MEDICIÓN Y PRUEBA. EL PROGRAMA DEBE INCLUIR MÉTODOS PARA MANTENER LA EXACTITUD DE LOS CALIBRES, DISPOSITIVOS DE PRUEBA, MEDIDORES Y DEMÁS DISPOSITIVOS DE PRECISIÓN, QUE MUESTRE QUE ESTÉN CALIBRADOS CONTRA PATRONES CERTIFICADOS DE MEDIDA, EN UNA BASE PERIÓDICA.

13.- MANEJO, ALMACENAMIENTO Y ENTREGA. EL PROGRAMA DEBE INCLUIR INSTRUCCIONES ADECUADAS PARA EL MANEJO, ALMACENAMIENTO, CONSERVACIÓN, EMPAQUE, EMBARQUE, ECT., PARA QUE EL PRODUCTO ESTE PROTEGIDO DESDE QUE SE FABRICA HASTA QUE SE USA.

14.- **PRUEBA DE INSPECCIÓN Y ESTADO OPERACIONAL.** EL PROGRAMA DEBE ABARCAR MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE PARTES PARA DETERMINAR SU ESTADO EN LO CONCERNIENTE A INSPECCIÓN Y APROBACIÓN.

15.- **MATERIALES, PARTES O COMPONENTES QUE NO SE AJUSTEN A LAS ESPECIFICACIONES.** DEBE HABER UN PROCEDIMIENTO ESTABLECIDO PARA MANTENER UN SISTEMA EFECTIVO Y POSITIVO DE CONTROL DEL MATERIAL QUE NO PASE LAS PRUEBAS. PUEDE COMPRENDER Y ESPECIFICAR UN REPROCESAMIENTO; SIN EMBARGO, SE DEBEN MANTENER REGISTROS DE ESE TRABAJO. LA RESOLUCIÓN DE INCONFORMIDADES SE DEBE HACER DE ACUERDO CON EL PÁRRAFO 7 DE ESTE PROGRAMA.

16.- **ACCIONES CORRECTIVAS.** EL PROGRAMA DE CALIDAD DEBE ESTABLECER MÉTODOS DE MODIFICACIONES RÁPIDAS DE CUALQUIER CONDICIÓN QUE SEA ADVERSA PARA LA CALIDAD, INCLUYENDO EL DISEÑO, LA ADQUISICIÓN, LA FABRICACIÓN, LA PRUEBA, ETC. EL PROGRAMA TAMBIÉN DEBE COMPRENDER MÉTODOS PARA SUPERAR DEFECTOS, TOMAR ACCIONES CORRECTIVAS PARA PRODUCIR UNA PARTE QUE SATISFAGA LA CALIDAD DESEADA.

17.- **REGISTROS PARA ASEGURAR LA CALIDAD.** EL PROGRAMA NECESITA QUE SE CUENTE CON REGISTROS, INCLUYENDO TODOS LOS DATOS ESENCIALES PARA LA OPERACIÓN ECONÓMICA Y EFECTIVA DEL PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD. LOS REGISTROS DEBEN SER COMPLETOS Y CONFIABLES, E INCLUIR MEDICIONES, INSPECCIONES, OBSERVACIONES, ETC., Y DICHS REGISTROS DEBEN ESTAR DISPONIBLES PARA SU REVISIÓN.

18.- **COSTO EN RELACIÓN CON LA CALIDAD.** EL PROGRAMA DEBE PERMITIR EL MANTENIMIENTO Y USO DE DATOS DE COSTO PARA IDENTIFICAR EL COSTO DEL PROGRAMA Y PARA LA PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN DE LOS DEFECTOS ENCONTRADOS.

19.- **HERRAMIENTAS DE PRODUCCIÓN Y EQUIPO DE PRUEBA.** SE PUEDE USAR VARIOS ARTÍCULOS DE HERRAMIENTAS, INCLUYENDO SISTEMAS DE FIJACIÓN, PLANTILLAS, PATRONES, ETC., PARA FINES DE INSPECCIÓN, SIEMPRE QUE A INTERVALOS PERIÓDICOS SE COMPRUEBE SU EXACTITUD.

20.- **AUDITORIAS.** EL PROGRAMA DEBE INCLUIR UN SISTEMA DE AUDITORIAS PLANEADAS Y PERIÓDICAS PARA VERIFICAR QUE SE CUMPLAN CON TODOS LOS ASPECTOS DEL PROGRAMA PARA ASEGURAR LA CALIDAD. LA AUDITORIA LA DEBE LLEVAR A CABO PERSONAL EXTRAÑO A LAS ÁREAS QUE SE VAYAN A INSPECCIONAR. LAS AUDITORIAS SE DEBEN LLEVAR POR ESCRITO Y REVISARLAS, ASÍ COMO CORREGIR CUALQUIER DEFICIENCIA QUE SE ENCUENTRE.

LA LISTA ANTERIOR ES UN ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LOS REQUISITOS DE UN PROGRAMA PARA ASEGURAR LA CALIDAD NECESARIO PARA PRODUCTOS CRÍTICOS. A MEDIDA QUE PASA EL TIEMPO, Y QUE CONTINÚAN LOS REQUISITOS DE UNA MAYOR CALIDAD, SE PUEDEN NECESITAR PROGRAMAS SEMEJANTES PARA OTROS PRODUCTOS.

RECIPIENTES A PRESIÓN

EN ESTADOS UNIDOS EL FABRICANTE DE RECIPIENTES A PRESIÓN Y DE TODO TIPO DE ARTICULO QUE SE DEFINA COMO RECIPIENTE A PRESIÓN QUEDA BAJO LAS ESPECIFICACIONES DEL CÓDIGO ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS) PARA CALDERAS Y RECIPIENTE A PRESIÓN ESTE CÓDIGO CONSISTE EN 11 SECCIONES:

SECCIÓN I	CALDERAS DE POTENCIA
SECCIÓN II	MATERIALES
PARTE A	ESPECIFICACIONES DE MATERIALES FERROSOS
PARTE B	ESPECIFICACIONES DE MATERIALES NO FERROSOS
PARTE C	ESPECIFICACIONES DE VARILLAS DE SOLDADURA, ELECTRODOS Y MATERIALES DE APORTE.
PARTE D	PROPIEDADES
SECCIÓN III	COMPONENTES DE PLANTAS DE ENERGÍA NUCLEAR
SECCIÓN IV	CALDERAS DE CALEFACCIÓN
SECCIÓN V	PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS
SECCIÓN VI	REGLAS RECOMENDADAS PARA EL CUIDADO Y EL FUNCIONAMIENTO DE CALDERAS DE CALEFACCIÓN.
SECCIÓN VII	REGLAS RECOMENDADAS PARA EL CUIDADO DE CALDERAS DE POTENCIA.
SECCIÓN VIII	RECIPIENTES A PRESIÓN, DIVISIONES I, II
SECCIÓN IX	CALIFICACIÓN DE SOLDADURA
SECCIÓN X	RECIPIENTES A PRESIÓN DE PLÁSTICOS REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO
SECCIÓN XI	REGLAS PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE REACTORES NUCLEARES DENTRO DEL SERVICIO.

TODOS LOS PRODUCTOS FABRICADOS BAJO LAS DIRECTRICES DE ESOS CÓDIGOS TAMBIÉN SE PUEDEN FABRICAR BAJO LOS REGLAMENTOS DE DIFERENTES PAÍSES, ESTADOS Y PROVINCIAS QUE REFIERAN O REIMPRIMAN DISTINTAS SECCIONES DEL CÓDIGO DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN. EN GENERAL, LA SECCIÓN IX SE USA UNIVERSALMENTE A TRAVÉS DE ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y EN OTRAS PARTES DEL MUNDO COMO EL MÉTODO PARA CALIFICAR PROCEDIMIENTOS Y SOLDADORES PARA TRABAJO EN RECIPIENTES A PRESIÓN.

PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y SU CALIFICACIÓN

EL TEMA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA HA LLEGADO A SER EN EXTREMO COMPLICADO DEBIDO A LAS DISTINTAS TERMINOLOGIAS Y DEFINICIONES DE CADA CÓDIGO DE SOLDADURA. EN VISTA DE LO ANTERIOR ES NECESARIO CONSULTAR LA ULTIMA EDICIÓN O LA EDICIÓN ESPECIFICA DEL CÓDIGO Y SEGUIR AL DETALLE.

EN GENERAL " UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ES EL CONJUNTO DE MÉTODO Y PRACTICAS DETALLADOS IMPLICADOS EN LA PRODUCCIÓN DE UNA CONSTRUCCIÓN SOLDADA". ESTA ES UNA DEFINICIÓN MUY AMPLIA QUE AMPARA DOS TIPOS DE PROCEDIMIENTOS. EL PRIMERO ES EL REQUISITO LEGAL DE UN CÓDIGO O ESPECIFICACIÓN. EL SEGUNDO ES MAS AMPLIO U PUEDE SER EL INSTRUCTIVO PASO A PASO PARA EJECUTAR UNA CONSTRUCCIÓN SOLDADA ESPECIFICA, ESTE TIPO DE PROCEDIMIENTO AYUDAN A MANTENER LA CONSISTENCIA, Y A REDUCIR LA DISTORSIÓN DE LA SOLDADURA, O INDICAN COMO SE PUEDE EJECUTAR UNA CONSTRUCCIÓN SOLDADA.

EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA, NECESARIO SEGÚN LOS CÓDIGOS, COMPRENDE LAS INSTRUCCIONES PASO A PASO PARA EJECUTAR UNA SOLDADURA ESPECIFICA Y LA PRUEBA DE QUE LA SOLDADURA SE PUEDE ACEPTAR. ESTE TIPO DE PROCEDIMIENTO CONSISTE DE TRES PARTES:

- 1.- UNA EXPLICACIÓN ESCRITA QUE DESCRIBE LAS CONDICIONES IMPLICADAS.
- 2.- UN DIBUJO DE LA UNIÓN SOLDADA Y UNA TABLA QUE DA LOS PARÁMETROS DE LA SOLDADURA.
- 3.- UNA HOJA DE INFORMACIÓN QUE MUESTRA LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LAS SOLDADURAS, Y QUE AFIRMA QUE CUMPLEN CON LOS REQUISITOS.

TODOS LOS CÓDIGOS Y LAS ESPECIFICACIONES DE SOLDADURA SON SEMEJANTES EN LO QUE SE REFIERE A LOS PROCEDIMIENTOS. EN CADA CASO ES NECESARIO DEJAR POR ESCRITO EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA Y DESPUÉS PROBARLO O CALIFICARLO. EL PROBLEMA ESTA EN LA TERMINOLOGÍA, QUE ES DIFERENTE EN MUCHOS CÓDIGOS.

LA MAYORÍA DE REGLAMENTOS TAMBIÉN ESPECIFICAN PRUEBAS PARA QUE LOS SOLDADORES Y OTROS TRABAJADORES TENGAN LA HABILIDAD NECESARIA PARA SEGUIR CON ÉXITO EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA. PARA ESTO ES NECESARIO QUE LOS SOLDADORES HAGAN SOLDADURAS ESPECIFICAS, QUE SE PRUEBAN PARA DEMOSTRAR QUE EL SOLDADOR PUEDE LLEVAR A CABO LA SOLDADURA CON LA CALIDAD NECESARIA. ESTA RUTINA ES DIFERENTE EN CADA CÓDIGO, SEGÚN SE EXPLICO BREVEMENTE EN LA SECCIÓN " CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LOS SOLDADORES".

LAS SUBDIVISIONES POLÍTICAS, COMO MUNICIPIOS , ESTADOS Y PROVINCIAS ADOPTAN MUCHAS NORMAS, CÓDIGOS Y ESPECIFICACIONES. CUANDO SE HACE ESTO EL CONTENIDO DEL CÓDIGO O ESPECIFICACIONES A QUE SE HACE REFERENCIA SE CONVIERTE EN DOCUMENTOS LEGALES. TAMBIÉN SUCEDE LO MISMO CON DOCUMENTOS LEGALES CUANDO SE ESPECIFICAN EN UN CONTRATO U ORDEN DE COMPRA.

LAS COMPAÑÍAS DESARROLLAN Y CALIFICAN LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA NECESARIOS PARA FABRICAR SUS PRODUCTOS QUE SE CONSTRUYEN BAJO CÓDIGO. LOS CONTRATISTAS CUENTAN CON PROCEDIMIENTOS CALIFICADOS DE SOLDADURA, QUE LES PERMITE INSTALAR PRODUCTOS BAJO CÓDIGO. LAS COMPAÑÍAS DE SERVICIOS, CON PLANTAS DE FUERZA, TAMBIÉN TIENEN PROCEDIMIENTOS Y PERSONAL CALIFICADO. ESTO SE HACE EN ÁREAS METROPOLITANAS O DONDE SE LLEVE A CABO TRABAJO SEMEJANTE. POR EJEMPLO, LOS CONTRATISTAS DE TUBERÍAS EN UNA GRAN CIUDAD PUEDEN FORMAR UNA ASOCIACIÓN PARA CALIFICAR PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y SOLDADORES. LOS SOLDADORES SE CONTRATAN EN UN BOLSA DE TRABAJO Y PUEDEN TRABAJAR PARA DISTINTOS CONTRATISTA EN CADA NUEVO TRABAJO. CON ESTA ORGANIZACION QUEDAN CUBIERTOS POR LOS PROCEDIMIENTOS CALIFICADOS DE LA ASOCIACIÓN Y NO NECESITAN VOLVER HACER LA PRUEBA PARA CADA TRABAJO. A UN CON LA ASOCIACIÓN, EL CONTRATISTA ES RESPONSABLE DE LOS PROCEDIMIENTOS DE LOS SOLDADORES, Y DE LLEVAR A CABO PRACTICAS DE CONTROL DE CALIDAD.

LOS TRES COGIDOS MAS UTILIZADOS AMPARAN CALDERAS Y RECIPIENTES DE PRESIÓN PUENTES Y EDIFICIOS Y LA SOLDADURA DE TUBERÍAS DE TRANSMISIÓN A CAMPO TRAVIEBA CADA UNO DE ESTOS CÓDIGOS SE EXPLICARA EN LOS SIGUIENTES EJEMPLOS SOBRE DOCUMENTOS NECESARIOS.

CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

LA SECCIÓN X DEL CÓDIGO ASME DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN DE LAS CALIFICACIONES DE SOLDADURA Y LATONADO. SE TITULA "QUALIFICATION STANDAR FOR WELDING AND BRAZING , PROCEDURES, WELDERS, BRAZERS, AND WELDING AND BRAZING OPERATORS"

ESTE CÓDIGO AFIRMA LO SIGUIENTE A LA RESPONSABILIDAD: " CADA FABRICANTE O CONTRATISTA ES RESPONSABLE DE LAS SOLDADURAS EJECUTADAS POR SU ORGANIZACION Y DEBE LLEVAR A CABO PARA CALIFICAR LOS PROCEDIMIENTOS DE LA SOLDADURA QUE USE EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS PARTES SOLDADAS FABRICADAS SEGÚN ESTE CÓDIGO, Y EL DESEMPEÑO DE LOS SOLDADORES Y OPERADORES QUIENES APLIQUEN ESTOS PROCEDIMIENTOS ". " CADA FABRICANTE O CONTRATISTA DEBE MANTENER UN REGISTRO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE SOLDADORES Y DE OTROS TRABAJADORES. DICHS REGISTROS DEBEN SER CERTIFICADOS POR EL FABRICANTE O CONTRATISTA Y ESTAR A LA DISPOSICIÓN DEL INSPECTOR AUTORIZADO".

EL CÓDIGO ASME DENOMINADO WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) AL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA. ESTE DOCUMENTO DETALLA LAS CONDICIONES NECESARIAS PARA QUE LAS APLICACIONES RESPECTIVAS ASEGUREN A SOLDADORES Y A OTROS TRABAJADORES ENTRENADOS LA REPETICIÓN CUANDO SE NECESARIO. UN WPS ES UN PROCEDIMIENTO ESCRITO PREPARADO PARA DIRIGIR LA FABRICACIÓN DE SOLDADURAS DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO A LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO LA ASME EMITE UN MACHO DE MUESTRA, QUE SE PUEDE USAR TAL CUAL, O MODIFICARLO SIEMPRE QUE INCLUYA TODA LA INFORMACIÓN. EL WPS DA LAS DIRECTRICES AL TRABAJADOR O SOLDADOR PARA ASEGURAR QUE SE CUMPLAN LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO. TODO EL WPS ESCRIBE LAS VARIABLES ESENCIALES, NO ESENCIALES Y ESENCIALES SUPLEMENTARIAS(CUANDO SE NECESITAN) PARA CADA PROCESO DE SOLDADURA. EL WPS DEBE REFERIR EL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PROCEDURE QUALIFICATION RECORD, PQR) QUE ES UN REGISTRO DE LOS DATOS DE SOLDADURA QUE SE USAN PARA SOLDAR LOS CUPONES DE PRUEBA.

MUESTRA TODAS LAS CONDICIONES QUE IMPERARON AL SOLDAR LOS CUPONES DE PRUEBA Y LOS RESULTADOS REALES DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA. EL REGISTRO COMPLETO PQR DEBE MOSTRAR LAS VARIABLES ESENCIALES Y SUPLEMENTARIAS ESENCIALES (CUANDO SE NECESITEN) PARA CADA PROCESO DE SOLDADURA, QUE EMPLEARON PARA SOLDAR EL CUPÓN DE PRUEBA. LAS VARIANTES NO ESENCIALES Y ADICIONALES QUE SE OCUPARON AL SOLDAR LOS CUPONES DE PRUEBA NO NECESITAN REGISTRARSE. EL PQR SE DEBE CERTIFICAR COMO EXACTO POR EL CONTRATISTA O EL FABRICANTE. ESTA CERTIFICACIÓN ES LA VERIFICACIÓN DEL CONTRATISTA O DEL FABRICANTE DE QUE LA INFORMACIÓN ES UN REGISTRO VERDADERO DE LA VARIANTES QUE SE USARON DURANTE LA SOLDADURA DEL CUPON DE PRUEBA Y DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA CUMPLEN CON LA SECCIÓN IX DEL CÓDIGO. EL FABRICANTE O EL CONTRATISTA NO PUEDEN SUBCONTRATAR ESTA FUNCIÓN DE CERTIFICACIÓN.

HAY TRES TIPOS DE VARIABLES PARA LAS ESPECIFICACIONES WPS. LAS "VARIANTES ESENCIALES" SON AQUELLAS EN LAS QUE UN CAMBIO SE CONSIDERA QUE AFECTA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA UNIÓN SOLDADA O DE LA CONSTRUCCIÓN SOLDADA.

LAS "VARIANTES ESENCIALES SUPLEMENTARIAS" SON NECESARIAS PARA METALES EN LAS QUE HAY QUE HACER PRUEBAS DE MUESTRA. LAS "VARIANTES NO ESENCIALES" SON AQUELLAS EN LAS CUALES UN CAMBIO PUEDE EFECTUARSE EN EL WPS SIN RECALIFICACION. LA SECCIÓN IX CONTIENE UNA LISTA DETALLADA DE LAS VARIABLES PARA CADA PROCESO DE SOLDADURA. POR ESTA RAZÓN ES NECESARIO CONSULTAR EL CÓDIGO CUANDO SE ANOTEN, PRUEBEN O CERTIFIQUEN LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.

(WPS) PARA AYUDAR A EXPLICAR LA ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS), EN LAS FIGURAS 21-2 A 21.4 SE MUESTRA UN EJEMPLO QUE ES SEMEJANTE AL ASME QW-482. EN ESTE EJEMPLO, LA ABC PRESSURE VESSEL COMPANY USA EL PROCESO DE ARCO METÁLICO EN GAS, APLICADO SEMIAUTOMÁTICAMENTE PARA SOLDADOR TUBO DE ACERO GRADO P-1 EN LAS POSICIONES HORIZONTALES FLIA Y VERTICAL. BREVEMENTE SE EXPLICARA EL TRABAJO DE CADA DEPARTAMENTO.

UNIONES. EL DISEÑO DE LA UNIÓN ES UN BISEL SENCILLO EN V, QUE INCLUYE UN ÁNGULO DE 60 A 70 °. SE RECOMIENDA QUE SE DIBUJE UN ESQUEMA DE LOS DETALLES DE LA FORMA Y DEL ÁREA. SI SE NECESITA MAS ESPACIO HAY QUE AGREGAR UNA TERCERA HOJA TRES DE TRES (FIGURA 21.4) EN EL EJEMPLO. LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA ESTÁN COLOCADOS EN LA TABLA. NO SE USA RESPALDO NO ES NECESARIO DESCRIBIR EL MATERIAL PARA RESPALDO, SIN EMBARGO, SI SE USA RESPALDO HAY QUE DESCRIBIRLO.

METALES BASE. PARA REDUCIR EL NUMERO NECESARIO DE WPS SE ASIGNARAN NÚMEROS P A LOS METALES BASE, DEPENDIENDO DE CARACTERÍSTICAS TALES COMO COMPOSICIÓN, FACILIDAD PARA SOLDAR Y PROPIEDADES MECÁNICAS. LOS GRUPOS DENTRO DE LOS NÚMEROS P SE ASIGNAN PARA METALES FERROSOS CON FINES DE CALIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO CUANDO SE ESPECIFIQUEN REQUISITOS DE RESISTENCIA DE MUESCAS. LOS MISMOS NÚMEROS P AGRUPAN A METALES BASE DISTINTOS QUE TIENEN CARACTERÍSTICAS COMPARABLES. LOS NÚMEROS P: Y LOS AGRUPAMIENTOS DE LA MAYORÍA DE LOS DISTINTOS ACEROS SE AGRUPAN EN LA SECCIÓN IX LAS CALIFICACIONES DE METALES BASE Y LOS AGRUPAMIENTOS EN EL AWS B-2.1 VARIAN LIGERAMENTE. SI UN NUMERO P NO ESTA DISPONIBLE PARA EL MATERIAL ESPECIFICADO SE PUEDE USAR SU ESPECIFICACIÓN ASTM. SI EL NUMERO DE LA ESPECIFICACIÓN ASTM NO SE CONOCE, SE PUEDEN USAR EL ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS. BAJO LOS METALES DE BASE SE INICIA EL GRADO DE ESPESOR, Y SI SE TRATA DE TUBO HAY QUE MOSTRAR EL GRADO DE DIÁMETRO DEL TUBO.

METALES DE APORTE. LOS ELECTRODOS Y LAS VARILLAS DE SOLDADURA SE AGRUPAN DE ACUERDO CON SUS CARACTERÍSTICAS DE USO LO CUAL DETERMINA LA CAPACIDAD DE LOS SOLDADORES PARA EJECUTAR SOLDADURAS SATISFACTORIAS CON DETERMINADO METAL DE APORTE. ESTE AGRUPAMIENTO SE HACE PARA REDUCIR EL NUMERO NECESARIO DE WPS. A LOS GRUPOS SE LES DA NUMERO F, QUE SE RELACIONAN CON LA COMPOSICIÓN Y EL USO. ESTO SE LLENA EN EL MACHOTE. ESTE GRUPO TAMBIÉN NECESITA EL NUMERO DE ESPECIFICACIÓN ASME, Y EL NUMERO DE CLASIFICACIÓN AWS, AGREGANDO LAS LETRAS SF. DICHS DATOS SE PROPORCIONAN EN LA SECCIÓN IX DE LA ASME, Y EN EL DOCUMENTO AWS B-2.1. EL NUMERO DE CLASIFICACIÓN AWS PARA EL METAL DE APORTE TAMBIÉN SE ENCUENTRA EN LA ETIQUETA DE LA CAJA DEL METAL DE APORTE. EL NUMERO A ES LA CLASIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL METAL DE SOLDADURA. POR EJEMPLO, A-1 TIENE UN DEPOSITO DE METAL ACERO SUAVE COMO METAL DE SOLDADURA.

ESTE SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SE DA EN AMBAS ESPECIFICACIONES. EL TAMAÑO DEL METAL DE APORTE, QUE ES SU DIÁMETRO, SE DEBE MOSTRAR ASÍ COMO EL GRADO DE ESPESORES DEL METAL DEPOSITADO PARA LA SOLDADURAS DEL BISEL O DE CHAFLÁN. EL CASO DE SOLDADURA CON ARCO SUMERGIDO HAY QUE SEÑALAR LA CLASE DE FÚNDENTE DE ELECTRODO Y TAMBIÉN LA MARCA DEL FÚNDENTE PARA EL ACERO DE TUNGSTENO EN GAS SE INDICA EL ANÁLISIS DEL INSERTO CONSUMIBLE. SE DARÁ INFORMACIÓN ADICIONAL CUANDO SE DISPONGA DE ELLA, SOBRE LOS METALES DE APORTE.

POSICIÓN. LA POSICIÓN PARA SOLDAR BISEL O CHAFLÁN SE DEBE DESCRIBIR DE ACUERDO CON LA TECNOLOGÍA DE AWS. SI SE USA LA POSICIÓN VERTICAL HAY QUE MENCIONAR SI EL AVANCE ES HACIA ARRIBA O HACIA ABAJO.

PRECALENTAMIENTO. SE DEBE DAR LA TEMPERATURA MÍNIMA ASÍ COMO LA TEMPERATURA MÁXIMA ENTRE PASOS. CUANDO SEA NECESARIO SE DEBE REGISTRAR LOS CALENTAMIENTOS ESPECIALES.

TRATAMIENTO TÉRMICO DESPUÉS DE SOLDAR. SI SE EMPLEA TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA HAY QUE DESCRIBIRLO ESTO COMPRENDE EL GRADO DE TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE TEMPERATURA. SI NO SE HACE TRATAMIENTO TÉRMICO DESPUÉS DE SOLDAR ANOTE "NINGUNO".

GAS. SE DEBE IDENTIFICAR EL GAS DE PROTECCIÓN, Y SI ES UN MEZCLA SE DESCRIBE. HAY QUE REGISTRAR EL FLUJO DE GAS DE PANTALLA. SI USA GAS DE RESPALDO SE INDICA SU POSICIÓN Y SE REGISTRA SU VELOCIDAD DE FLUJO.

CARACTERÍSTICAS DE LA ELECTRICIDAD. SE ANOTA LA CORRIENTE DE SOLDADURA Y SI ES ALTERNA (ca) O DIRECTA (cd). SI SE USA CORRIENTE DIRECTA SE DEBE INFORMAR LA POLARIDAD DEL ELECTRODO. SE ANOTAN LOS GRADOS AMPERES Y DE VOLTAJE PARA CADA TAMAÑO DE ELECTRODO, POSICIÓN ESPESOR. ESTO TAMBIÉN SE PRESENTA EN FORMA TABULAR, COMO SE MUESTRA EN LA HOJA 3 DE 3. EN EL CASO DE LA SOLDADURA DE ARCO DE TUNGSTENO Y SU TIPO. PARA SOLDAR POR ARCO METÁLICO CON GAS SE DESCRIBE LA FORMA DE TRANSFERENCIA DEL GAS. SE ANOTARA EL GRADO DE VELOCIDADES DE ALIMENTACIÓN DEL ELECTRODO DE ALAMBRE.

TÉCNICA. SE DESCRIBE LA SOLDADURA HECHA CON CORDONES RECTOS O SINUOSOS, SEGÚN LA TÉCNICA EMPLEAR LA OSCILACIÓN PARA TIRAR CORDONES SINUOSOS. ESTO TAMBIÉN SE INCLUYEN EN EL ESQUEMA. FRECUENTEMENTE SE UTILIZAN AMBAS TÉCNICA EN LA MISMA SOLDADURA. PARA EL PROCESOS DE GASES DE PANTALLA SE DEBE ANOTAR EL DIÁMETRO INTERIOR DE LA BOQUILLA. TAMBIÉN SE ANOTARA EL MÉTODO DE LIMPIEZA DESPUÉS DE SOLDAR Y ENTRE PASOS. SI SE EMPLEA VACIADO SE DESCRIBE, ASÍ COMO LA DISTANCIA QUE HAY EN LA PUNTA A LA PIEZA, COMO DIMENSIÓN DE MÍNIMA Y MÁXIMA. SE ANOTARA SI SE USA LA TÉCNICA DE UN SOLO PASO O EN PASOS MÚLTIPLES. TAMBIÉN ES NECESARIO INDICAR SI SE EMPLEA UN SOLO ELECTRODO O ELECTRODOS MÚLTIPLES. SE DESCRIBE EL RITMO DE VELOCIDAD DEL RECORRIDO. SI SE USA MARTILLADO SE ANOTARA, ASÍ COMO CUALQUIER OTRA INFORMACIÓN PERTINENTE RELACIONADA CON LA EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA. POR EJEMPLO SI SE EMPLEA PULSACIÓN SE LE DESCRIBIRÁ.

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO. PARA RESPALDAR AL WPS ES NECESARIO PROBAR Y CERTIFICAR LOS RESULTADOS DE LA SOLDADURA. ESTO SE LLEVA A CABO EJECUTANDO LAS SOLDADURAS DESCRITAS EN EL WPS, MAQUINÁNDOLAS Y EXAMINANDO EL ESPÉCIMEN DE ACUERDO CON EL CÓDIGO.

PARA ELLO, SE USA EL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR), QUE SE DEFINE COMO UN DOCUMENTO QUE PROPORCIONA LAS VARIABLES REALES DE SOLDADURA, QUE SE USARON PARA PRODUCIR UNA SOLDADURA ACEPTABLE DE PRUEBA, Y LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS EN LA SOLDADURA CON EL FIN DE CALIFICAR UNA ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS). DEBE REFERIRSE A UN WPS ESPECÍFICO. LAS FIGURAS 21-5 Y 21-6 ILUSTRAN EL EJEMPLO DE UN REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PRUEBA, QUE ES SEMEJANTE AL ASME QW-483. ESTE PQR DE MUESTRA ES UN REGISTRO DE LAS CONDICIONES REALES QUE SE USARON PARA SOLDAR LOS CUPONES HECHOS DE ACUERDO CON EL WPS-1, EL EJEMPLO QUE SE MENCIONO ANTES. MUCHO DE LOS DATOS NECESARIOS PARA EL PQR SON LOS MISMOS QUE LA INFORMACIÓN PARA EL WPS.

DE HECHO LOS DATOS DE LAS PRIMERAS HOJAS SON CASI IDÉNTICOS. LA PARTE POSTERIOR (HOJA 2 DE 2) DEL PQR ES DIRECTA Y ES UN REGISTRO DE LAS PRUEBAS MECÁNICAS, LA PRUEBA DE TENSIÓN, LA PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO, LA PRUEBA DE TENACIDAD (CUANDO SE NECESITA), Y LA PRUEBA DE SOLDADURA DE CHAFLÁN CUANDO SE USA. UNA PRUEBA DE TENACIDAD, YA SEA DE IMPACTO O DE CAÍDA DE CONTRAPESO, NO ES NECESARIO SEGÚN LA SECCIÓN IX DEL CÓDIGO. ESTAS PRUEBAS SE PUEDEN NECESITAR, SEGÚN OTRAS SECCIONES DEL CÓDIGO, Y SE EFECTUARÁN DE ACUERDO CON OTRAS PARTES DEL CÓDIGO O DE UNA ESPECIFICACIÓN ASTM. EL EJEMPLO MUESTRA LOS DATOS TÍPICOS QUE SE ANOTAN. SI LOS DATOS DE LA PRUEBA CUMPLEN CON LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO, EL REPRESENTANTE DEL FABRICANTE FIRMA A CONTINUACIÓN LA HOJA, CERTIFICANDO QUE LO QUE SE AFIRMA EN EL REGISTRO ES CORRECTO Y QUE SE PREPARARON LAS SOLDADURAS DE PRUEBA, SE SOLDARON Y SE PROBARON DE ACUERDO CON LOS REGISTROS DE LA SECCIÓN IX DEL CÓDIGO ASME. LA HOJA DE PRUEBA DEL PQR CALIFICA AL WPS Y CUMPLE CON LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO. TODO CAMBIO A UN PQR NECESITA DE UNA RECERTIFICACION DE PARTE DEL FABRICANTE O DEL CONTRATISTA.

ES NECESARIO TENER WPS Y PQR ESPECÍFICOS PARA CUBRIR TODOS LOS PROCESOS DE SOLDADURA, COMBINACIONES DE PROCESOS DE SOLDADURA, AGRUPAMIENTOS DE MATERIALES BASE CON DISTINTA P, ETC. PARA CUMPLIR CON LAS VARIABLES IMPLICADAS. CADA PROCESO Y METAL QUE SE USEN EN PRODUCCIÓN DEBEN ESTAR CUBIERTOS CON UN WPS, AL CUAL SE DEBE CALIFICAR CON UN PQR.

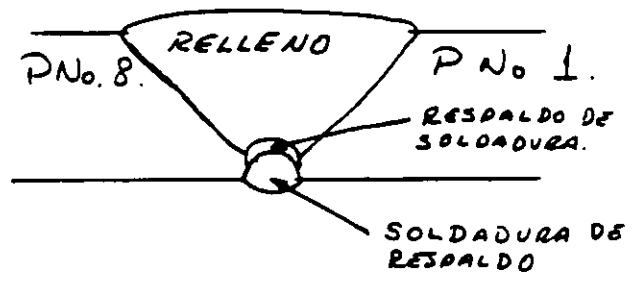
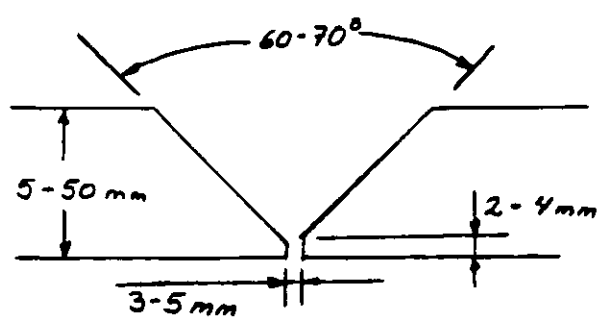
xxxNOMBRE DE LA COMPAÑIAxxxxxxxxx WPS No. XXXXXXXX
 xxxxxxDEPARTAMENTOxxxxxxxxxxxxxxxxxxx REV. XX FECHA: XXXXXXXX
 ESPEC. DE PROC. DE SOLDADURA (WPS) - SIMBOLO @= REVISION.

ELABORADO POR: Persona que elabora FIRMA: _____

SOPORTADO POR PQR No. (S): _____ REV.: _____ FECHA: _____

PROCESO(S) DE SOLDADURA: Arco con Electrodo Recubierto (SMAW)
 TIPO(S): Manual

JUNTAS (QW-402)



DISEÑO DE LA UNION: En "V"
 RESPALDO: SI (X) NO ()
 MATERIAL DE RESPALDO (TIPO):
Metal base o metal de sold.

NOTA: SON ACEPTABLES OTROS DISEÑOS DE JUNTA
 INDICADOS EN MAPAS DE SOLDADURA, DIA-
 GRAMAS O DIBUJOS DE FABRICACION.

METALES BASE (QW-403)

No. P 1 GRUPO No. todos A No. P 8 GRUPO No. todos
 O
 ESPECIFICACION TIPO Y GRADO: _____
 A ESPECIFICACION TIPO Y GRADO: _____
 O
 ANALISIS QUIMICO Y PROPS. MEC.: _____
 A ANALISIS QUIMICO Y PROPS. MEC.: _____

RANGO DE ESPESOR: METAL BASE: RANURA: 4.8 a 50.4 mm FILETE: Todos.
 RANGO DE DIAM. DE TUBERIA: FILETE: Todos.
 OTROS: _____

METALES DE APORTE (QW-404):

PROCESO DE SOLDADURA:	SMAW		
ESPECIFICACION SFA:	5.4		
CLASE AWS:	E309		
NO. F:	5		
NO. A:	8		
DIAM DEL METAL DE APORTE	3.2mm, 4mm		
ESPEOR DE METAL DE SOLD DEPOSITADO: RANURA:	50.8mm máximo		
FILETE:	Todos		
CLASIF. ALAMBRE-FUNDENTE	-----		
NOMBRE COMERCIAL	-----		
INSERTO CONSUMIBLE.	-----		
OTROS:	-----		

POSICIONES (QW-405):

POSICION(ES) DE LA RANURA: Todas FILETE: Todas
 PROGRESION DE SOLDADURA: ASDTE. (XXX) DESDTE. ()

PRECALENTAMIENTO (QW-406)

PRECALENTAMIENTO MIN.: 93°C
 MAX. INTERPASOS: 200 °C
 MANTENIMIENTO DEL PRECALENTAMIENTO:
Calor generado durante la soldadura
o flama de gas natural.

TRAT. TERMICO POSTSOLD. (QW-407)

RANGO DE TEMPERATURA: -----
 RANGO DE TIEMPO: -----
 OTROS: -----

GAS (QW-408):

GAS(ES) DE PROTECCION: -----
 COMPOSICION DE LA MEZCLA: -----
 RANGO DE FLUJO: -----
 GAS DE RESPALDO: -----
 COMP. DEL GAS DE RESPALDO Y ARRASTRE: -----

CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409):

CURRIENTE: Directa PLARIDAD: Invertida
 AMPERAJE (RANGO): 100-190 Amps. VOLTAJE (RANGO): 20-26 Volts
 DIAM. DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO: ----- TIPO: -----
 MODO DE TRANSFERENCIA DE METAL PARA GMAW : -----
 RANGO DE ALIMENTACION DE ALAMBRE: -----
 CALOR SUMINISTRADO O METAL DE SOLD. DEPOSITADO: -----

TECNICA (QW-410):

CORDON RECTO U OSCILADO: Recto (raíz), Oscilado (relleno)
 TAMAÑO DEL ORIFICIO O COPA DE GAS: -----
 LIMPIEZA INICIAL O INTERPASOS: Esmeril, Cepillo de alambre S.S.
 METODO DE ELIMINACION DE RESPALDO: Esmeril
 OSCILACION: -----
 DISTANCIA TUBO DE CONTACTO-TRABAJO: -----
 PASO MULTIPLE O SENCILLO POR LADO: Múltiple
 ELECTRODO MULTIPLE O SENCILLO: Sencillo
 MARTILLADO: No se permite
 OTROS: Las superficies a soldar deben estar libres de óxidos, aceite,
escamas y grasa, en una distancia de al menos 12.7mm de la
preparación para soldar.

CAPA DE SOLD.	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTS (RANGO)	VEL. DE AVANCE mmPM
		CLASE	DIA.	TIPO Y POL.	AMP. (RANGO)		
Raíz	SMAW	E309	3.2mm	DC (+)	100-120	20-26	-----
Relleno	SMAW	E309	4 mm	DC (+)	100-190	20-26	-----

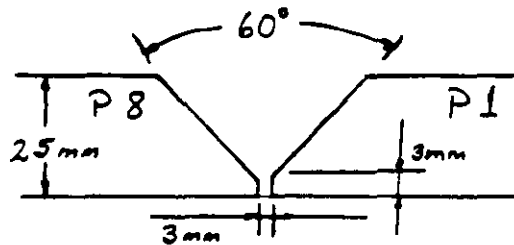
XX NOMBRE DE LA COMPAÑIAXXXXXXXXX
 XXXXXX DEPARTAMENTO XXXXXXXXXXXXXXXXX
 REGISTRO DE CALIF. DE PROC. (PQR)

PQR No. XXXXXX
 REV. XX FECHA: XXXXXX
 SIMBOLO @= REVISION.
 WPS No. XXXXXX
 REV: XXX

ELABORADO POR: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

PROCESO(S) DE SOLDADURA : Arco con Electrodo Recubierto (SMAW)
 TIPO: Manual

JUNTAS (QW-402)



METALES BASE (QW-403)

ESPEC. DE MATERIAL SA-516, SA-240
 TIPO O GRADO Gr. 70, Tp. 316L
 P No. 1 A P No. 8
 ESPESOR DEL CUPON 25.4mm
 DIAMETRO DEL CUPON -----
 OTRO(S) -----

TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA (QW-407)

TEMPERATURA -----
 TIEMPO -----
 OTRO(S) -----

METALES DE APORTE (QW-404)

ESPEC. SFA	<u>5.4</u>	
CLASE AWS	<u>E309</u>	
No. F	<u>5</u>	
No. A	<u>8</u>	
TAMAÑO	<u>3.2mm.</u>	
	<u>4mm</u>	
METAL DEPOSITADO	<u>25.4mm</u>	
OTRO(S)	<u>-----</u>	
	<u>-----</u>	

GAS(ES) (QW-408)

	COMPOSICION	FLUJO
PROTECCION	<u>-----</u>	<u>----</u>
ARRASTRE	<u>-----</u>	<u>-----</u>
RESPALDO	<u>-----</u>	<u>-----</u>

CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)

CORRIENTE Directa
 POLARIDAD Invertida
 AMPERS. 180 VOLTS. 23
 TAMAÑO ELECT. TUNGSTENO -----
 OTRO(S) -----

POSICION (QW-405)

POSICION DE LA RANURA Plana
 AVANCE DE LA SOLDADURA
 ASCENDENTE (-) DESCENDENTE (-)
 OTRO(S) -----

TECNICA (QW-410)

VELOCIDAD DE AVANCE 200-300 mm/min.
 CORDON RECTO U OSCILADO ambos
 OSCILACION -----
 PASO MULTIPLE O SENCILLO (POR LADO) Múltiple
 ELECTRODO MULTIPLE O SENCILLO Sencillo
 OTRO(S) Después de soldar el primer lado de la unión, fue ranurado desde el lado opuesto con arco-aire-carbón seguido de esmeril y vuelto a soldar.

PRECALENTAMIENTO (QW-406)

TEMPERATURAS:
 PRECALENTAMIENTO 93 °C
 INTERPASOS: 200 °C
 OTRO(S) Mantenimiento por calor de la soldadura y flama de gas natural.

PRUEBA DE TENSION (QW-150)

No. ESPECIMEN	ANCHO mm	ESPESOR mm	AREA mm ²	CARGA MAX. Kg.	RESIST. A LA TENSION. MPa	TIPO DE FALLA Y LOCALIZ.
T-1	19.3	9.4	359.04	10286.2	556	Dúctil/M.B.
T-2	19.05	10.16	361.00	11235.3	570	Dúctil/M.B.
T-3	19.05	8.81	361.00	9297.8	544	Dúctil/M.B.
T-4	19.43	8.94	359.48	9647	543.8	Dúctil/M.B.

PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO (QW-160)

TIPO Y NUMERO DE FIGURA	RESULTADO
1. Doblez Lateral QW-462.2	Satisfactorio
2. Doblez Lateral QW-462.2	Satisfactorio
3. Doblez Lateral QW-462.2	Satisfactorio
4. Doblez Lateral QW-462.2	Satisfactorio

PRUEBAS DE TENACIDAD (QW-170)

No. ESPECIMEN	LOCALIZACION DE MUESCA	TIPO DE MUESCA	TEMP. PRUEBA	VALORES Joules	EXP. LATERAL % CORTE	mm
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

PRUEBA DE SOLDADURA DE FILETE (QW-170)

RESULTADO: SATISFACTORIO: SI (--) NO (--)
 PENETRACION EN METAL BASE : SI (--) NO (--)
 RESULTADOS DE MACROATAQUE :

OTRAS PRUEBAS

TIPO DE PRUEBA:
 ANALISIS DEL DEPOSITO:
 OTRO(S)

NOMBRE DEL SOLDADOR: XXXXXXXXXXXXXXXXXXo FICHA 17 MARCA G
 PRUEBAS CONDUCIDAS POR: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 PRUEBA DE LABORATORIO No. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

CERTIFICAMOS QUE LAS AFIRMACIONES ESTABLECIDAS EN ESTE REGISTRO SON CORRECTAS Y QUE LOS CUPONES DE PRUEBA FUERON PREPARADOS, SOLDADOS Y PROBADOS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA SECCION IX DEL CODIGO ASME. ESTE FORMATO PUEDE SER MODIFICADO CONFORME LOS REQUERIMIENTOS DEL CODIGO.

FECHA XXXXXXXXXXXXXX POR

REGISTRO DE LAS PRUEBAS DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR CON LOS DOCUMENTOS WPS Y PQR ORDEN, A CONTINUACIÓN SE EXAMINARA A LOS SOLDADORES Y TRABAJOS, DE ACUERDO CON LO QUE SE TENGA QUE HACER. HAY QUE CALIFICAR A CADA SOLDADOR Y OPERADOR QUE TOMA PARTE EN LA FABRICACIÓN O INSTALACIÓN DE LOS PRODUCTOS AMPARADOS POR EL CÓDIGO ASME DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN.

EL SOLDADOR QUE PREPARA LOS ESPECÍMENES DEL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS (PQR) QUE PASAN LOS REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO ESTA CALIFICADO PERSONALMENTE DENTRO DE SUS VARIABLES DE CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO. TODOS LOS DEMÁS SOLDADORES Y TRABAJADORES ESTÁN CALIFICADOS MEDIANTE PRUEBAS ESPECÍFICAS DE SOLDADURA, QUE ESTÁN DISEÑADAS PARA DETERMINAR SU CAPACIDAD PARA EJECUTAR LAS SOLDADURAS PEDIDAS EN EL WPS Y QUE SE EMPLEAN EN EL TRABAJO. EN LA FIG.21-7 SE ILUSTRAN UN EJEMPLO DEL "REGISTRO DE LAS PRUEBAS DE CALIFICACIÓN DE SOLDADORES O TRABAJADORES", EL CUAL ES SEMEJANTE AL ASME QW-484.

EL REGISTRO DE LAS PRUEBAS DE DESEMPEÑO DEL TRABAJADOR O SOLDADOR DEBE INCLUIR LAS VARIABLES ESENCIALES, EL TIPO DE PRUEBA Y LOS RESULTADOS DE ELLA, ASÍ COMO LA CALIFICACIÓN PARA CADA TRABAJADOR Y SOLDADOR. A CADA SOLDADOR Y TRABAJADOR SE LE ASIGNA UN NÚMERO, LETRA O SÍMBOLO, CON EL FIN DE IDENTIFICAR EL TRABAJO DE CADA PERSONA. LAS PRUEBAS MECÁNICAS DEBEN CUMPLIR CON LOS REQUISITOS APLICABLES SEGÚN EL CÓDIGO. EL EXAMEN RADIOGRÁFICO SE PUEDE SUSTITUIR POR PRUEBAS MECÁNICAS, EXCEPTO EN LA SOLDADURA DE ARCO METÁLICO EN GAS QUE USE TRANSFERENCIA DE METAL POR CORTOCIRCUITO. DEBEN ESTAR DE ACUERDO CON EL CÓDIGO LA TÉCNICA RADIOGRÁFICA Y LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN. EN GENERAL, LOS SOLDADORES QUE CUMPLEN CON LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO PARA SOLDADURAS DE CHAFLÁN, PERO NO A LA INVERSA. UN SOLDADOR CALIFICADO PARA SOLDAR DE ACUERDO CON UN WPS CALIFICADO, TAMBIÉN ESTA CALIFICADO PARA SOLDAR DE ACUERDO CON OTROS WPS CALIFICADOS QUE USEN EL MISMO PROCESO DE SOLDADURA, DENTRO DE LOS LÍMITES QUE ESTABLECEN EL CÓDIGO PARA LAS VARIABLES ESENCIALES.

SI UN SOLDADOR LLEVA TRES MESES O MÁS SIN SOLDAR, SUS CALIFICACIONES YA NO ESTARÁN VIGENTES. SI HAY RAZÓN PARA DUDAR DE LA CAPACIDAD DEL SOLDADOR PARA EJECUTAR SOLDADURAS QUE CUMPLAN CON LA ESPECIFICACIÓN, SE CONSIDERARA QUE HA EXPIRADO SU CALIFICACIÓN. EL CÓDIGO CONTIENE MUCHAS OTRAS CONDICIONES A PROPÓSITO DE LA CALIFICACIÓN DE LOS SOLDADORES. PARA ESTA INFORMACIÓN HAY QUE CONSULTAR EL CÓDIGO.

SELLOS DE SÍMBOLO .- LOS FABRICANTES O CONTRATISTAS QUE CON REGULARIDAD CONSTRUYEN O INSTALAN RECIPIENTES O TUBERÍAS A PRESIÓN, GENERALMENTE TIENE UN SELLO CON EL SÍMBOLO DE LA ASME. ESTO SIGNIFICA QUE EL CONTRATISTA O FABRICANTE HA SIDO APROBADO POR LA AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Y QUE ES UN FABRICANTE O INSTALADOR AUTORIZADO DEL TIPO DE EQUIPO ESPECIFICADO. SE USAN VARIOS SELLOS PARA MARCAR LA INSTALACIÓN O EL PRODUCTO FABRICADO. ALGUNOS DE ESOS SELLOS DE SÍMBOLO SON:

N	RECIPIENTE NUCLEAR
PP	TUBERÍA A PRESIÓN
U	RECIPIENTE A PRESIÓN
S	CALDERAS A PRESIÓN
H	CALDERAS DE CALEFACCIÓN

SUBDIRECCION DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR/ OPERADOR DE SOLDADURA (WPO)

NOMBRE DEL SOLDADOR RAMIREZ CASAS CARLOS
 FICHA XXXX MARCA G FECHA DE PRUEBA: XX-XX-XX
 PROCESO(S) DE SOLDADURA SMAW TIPO MANUAL

No. WPS UTILIZADO PARA LA CALIFICACION XXXXX MATERIAL BASE SA-516-70

VARIABLES PARA CADA PROCESO MANUAL O SEMIAUTOMATICO (QW-350)

	VALORES REALES	RANGO CALIFICADO
RESPALDO (QW-402)	<u>CON</u>	<u>CON</u>
ASME No.P. <u>1</u> A ASME No.P. <u>1</u>		<u>P1 A P11 Y P4X</u>
PLACA (XX) O TUBERIA () <u>12.7 mm</u>		<u>N/A</u>
ESPEC. METAL DE APORTE (SFA) <u>5.1</u> CLASIFICACION: <u>E7018</u>		
No. F METAL DE APORTE: <u>4</u>		<u>4,3,2,1</u>
INSERTO CONSUMIBLE (PARA GTAW O PAW) <u>N/A</u>		<u>N/A</u>
ESPESOR DE DEPOSITO POR PROCESO <u>12.7 mm</u>		<u>25.4 mm MAX.</u>
POSICION DE SOLDADURA <u>3G</u>		
RANURA: <u>PLACA Y TUBO</u>) <u>609.6 mm ø</u>		<u>F, VU</u>
<u>TUBERIA</u> <u>73.0 mm ø - 609.6 mm ø</u>		<u>F</u>
FILETE: <u>PLACA Y TUBERIA</u>		<u>F, H, VU</u>
AVANCE (ASCENDENTE O DESCENDENTE) <u>ASCENDENTE</u>		<u>ASCENDENTE</u>
GAS DE RESPALDO (GTAW, GMAW O PAW) <u>N/A</u>		<u>N/A</u>
MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW) <u>N/A</u>		<u>N/A</u>
TIPO DE CORRIENTE Y POLARIDAD (GTAW) <u>N/A</u>		<u>N/A</u>

VARIABLES PARA CADA PROCESO MAQUINA O AUTOMATICO (QW-360)

	VALORES REALES	RANGO CALIFICADO
CONTROL VISUAL REMOTO/DIRECTO	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
CONTROL DE VOLTAJE AUTOMATICO (GTAW)	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
POSICIONADO AUTOMATICO DE LA JUNTA	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
POSICION DE SOLDADURA	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
INSERTO CONSUMIBLE	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
RESPALDO	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>

RESULTADOS DE PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO

DOBLEZ GUIADO (X) QW-462.2 (-) QW-462.3(a) (-) QW-462.3(b)
 TIPO DE PRUEBA DOBLEZ LATERAL TRANSV. B & C LONG. B & C

1.	SATISFACTORIO	N/A	N/A
2.	SATISFACTORIO	N/A	N/A

RESULTADOS DE INSPECCION VISUAL (QW-302.4): SATISFACTORIO
 RESULTADOS DE RADIOGRAFIA (QW-304 Y QW-305): N/A

(ALTERNATIVA DE CALIFICACION PARA SOLDADURAS A TOPE)

RESULTADOS DE LIQUIDOS PENETRANTES: N/A
 FILETE: FRACTURA: N/A LONG. Y % DE DEFECTOS N/A
 MACROATAQUE: FUSION N/A TAMAÑO DE PIEDRA N/A mm .L N/A mm. ,CONCAVIDAD/CONVEXIDAD N/A mm

PRUEBA DE SOLDADURA CONDUCTIDA POR XXXXXXXXXXXXXXXXXX
 PRUEBAS MECANICAS CONDUCTIDAS POR XXXXXXXXXXXXXXXXXX
 REPORTE DE LABORATORIO No. XXXXXXXXXXXX

CERTIFICAMOS QUE LAS AFIRMACIONES ESTABLECIDAS EN ESTE REGISTRO SON CORRECTAS Y QUE LOS CUPONES DE PRUEBA FUERON PREPARADOS, SOLDADOS Y PROBADOS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA SECCION II DEL CODIGO ASME.

ORGANIZACION: CONSORCIO INDUSTRIAL S.A. DE C.V.

FECHA: 03 DIC., 1994 POR:



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

TRATAMIENTO DE AGUAS

**EXPOSITOR:
ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**


DIPLOMADO
EN
INGENIERIA DE CALDERAS Y
RECIPIENTES SUJETOS A PRESION

Tema:

TRATAMIENTO QUIMICO
DEL
AGUA

Expositor. Ing. Miguel Alonso Castillo Hoil

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.

MACH/ 2




ORIGEN Y CARACTERISTICAS DEL AGUA

El agua proviene de cuatro fuentes principales:

- b Agua de lluvia y superficial
- b Agua de manantiales y ríos
- b Agua de pozos y perforaciones
- b Agua de mar

El agua de estas fuentes que no ha recibido ningún tratamiento se le conoce como AGUA CRUDA.


MACH/ 3



Algunas de las características del agua por lo que se utiliza en la industria, son:

- b No sufre alteraciones químicas por calentamiento dentro del rango de temperaturas encontradas.
- b A la temperatura ambiente puede controlarse y hacerse fluir fácilmente.
- b Su manejo no presenta riesgos.
- b **Es aún abundante y barata.**
- b

MACH/ 4




El agua es una sustancia fundamental en muchos procesos industriales en los que interviene como:

- b 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.

- b Es poco frecuente que el agua disponible del municipio, tenga la calidad necesaria para ser aplicada directamente a la generación de vapor.

MACH/ 5



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 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.


MACH/ 6



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.


MACH/ 7



Dureza: Sales de Calcio y Magnesio expresadas como 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(HCO_3), Carbonatos(CO_3), e Hidróxidos(OH).- Causa espuma y arrastre de sólidos en la producción de vapor.
Fragilización del acero en calderas. El CO_3 produce CO_2 al calentarse. (Este gas es corrosivo).

MACH/ 8




Acidez mineral: Ácidos libres (H_2SO_4 , HNO_3 y HCl), expresados como $CaCO_3$. - 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: (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.


MACH/ 9



Sílice: 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).

MACH/10



Oxígeno: (O_2).- Causa corrosión en líneas de agua, equipo de intercambio de calor, calderas, retorno de condensado, etc.

Conductividad.- Se expresa en micro mhos 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.

MACH/1




ANÁLISIS DEL AGUA

El análisis del agua es un análisis fisico-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).

MACH/2




Los cationes más comunes en el agua son: Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}) y Sodio (Na^+).

Los aniones más comunes en el agua son: Bicarbonato (HCO_3^-), Carbonato ($\text{CO}_3^{=}$), Cloruro (Cl^-), Sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), Nitratos ($\text{NO}_3^{=}$) y, en aguas contaminadas, los Nitritos (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 (CO_2), el Oxígeno (O_2), el Amoníaco (NH_3), etc.

MACH/13




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, SiO_2 , de Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn).

MACH/14




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 .

MACH/15



Como la densidad del agua es de 1 gr/ ml. tenemos:

$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg /lt}$, o también

$1 \text{ ppm} = 1 \text{ gr/m}^3$

La ppb es mil veces menor que la ppm , es decir :

$1 \text{ ppb} = 1 \text{ mg /m}^3$

Para facilitar el manejo aritmético de los resultados de los análisis del agua , se suelen convertir a una base común. Generalmente se utiliza el CaCO_3 , cuyo peso molecular es de 100.


MACH/16



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.

MACH/17



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".

MACH/18

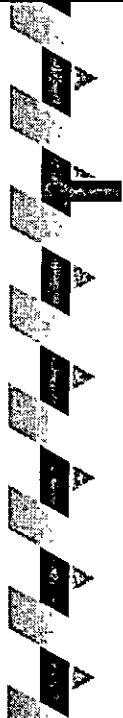


Algunos de los tratamientos elementales a mencionar, son:

b 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.

MACH/19




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 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.

MACH/20



Diámetro de la partícula (mm)	Material	Tiempo de sedimentación para 1m de caída
<hr/>		

MACH21



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.


MACH22



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).


MACH23



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.

MACH24

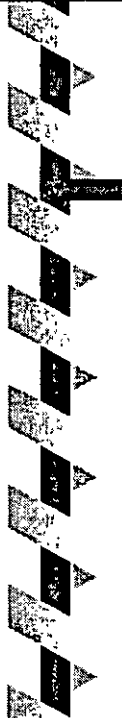


COAGULACION Y FLOCULACION

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:

MACH25




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.

MACH26



Los reactivos correspondientes serán “coagulantes” y “floculantes” respectivamente.

La separación sólido-líquido del floculo formado y del agua puede hacerse por filtración, por decantación o flotación y filtración (opcional).


MACH27



PRECIPITACION

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.


MACH28



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 (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⁺⁺ y Magnesio⁺⁺ por precipitación como CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{CO}_3)$.

MACH/29



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 (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 CaCO_3 ya precipitados, la reacción alcanza su equilibrio en unos minutos.


MACH/30



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.

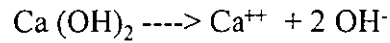
MACH/31



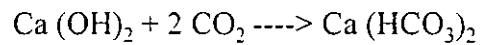
La dureza constituida por las sales de Ca y Mg, son reducidas en este tratamiento, por el proceso de precipitación, que predomina en este tratamiento, como CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ respectivamente.

Puesto que la alcalinidad de casi toda el agua cruda esta formada por bicarbonatos y generalmente contiene CO_2 , la precipitación del Carbonato de Calcio requiere la conversión del CO_2 del HCO_3 , de acuerdo con las siguientes reacciones químicas:

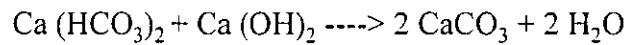
MACH/32



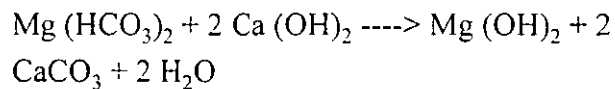
para el CO_2 :




para el $\text{Ca (HCO}_3)_2$:



para el $\text{Mg (HCO}_3)_2$



MACH33




De esta manera, se han convertido las sales solubles a sales insolubles (precipitado que se separa por asentamiento).

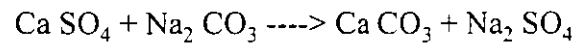
Dado que la dureza de Ca y Mg puede ser “de Carbonato” o “no Carbonato”, las reacciones anteriores convirtieron la “dureza Carbonato”.

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 (Na_2CO_3), de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:

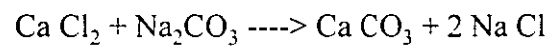
MACH34



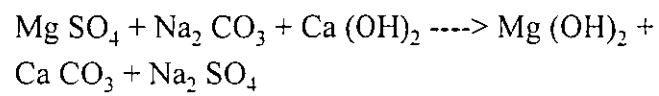
Para el Ca SO₄



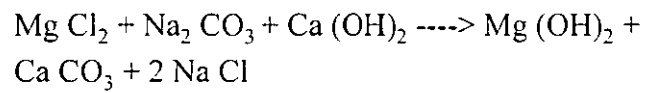
Para el Ca Cl₂



Para el Mg SO₄



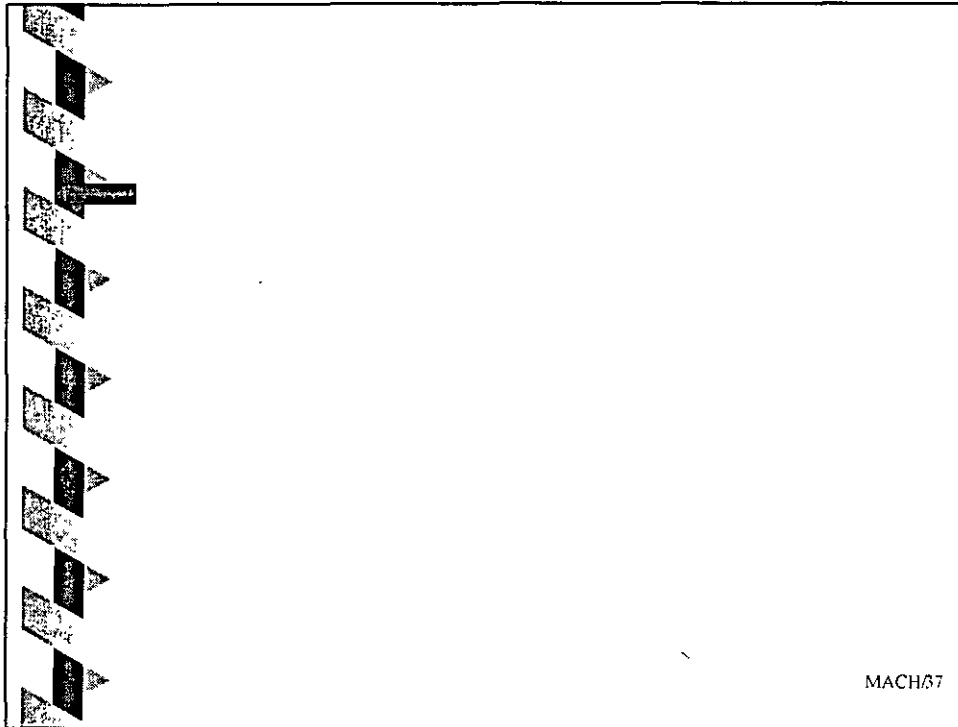
Para el Mg Cl₂



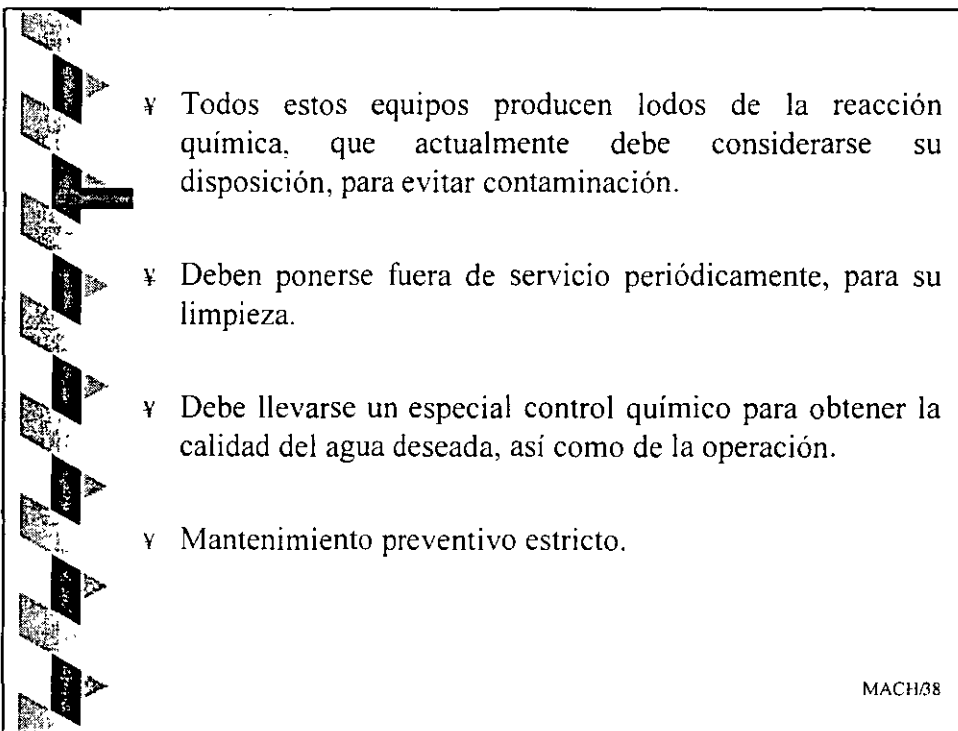
MACH35



MACH36



MACH/37



- ∧ 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.


MACH/38



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 CO₂.


MACH39



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 Mg (OH)₂ del agua cruda actúa igual y además funciona como coagulante.

MACH40



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 (O_2 , 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 $CaCO_3$ y $Mg(OH)_2$ hasta los filtros por lo que deben tomarse las medidas pertinentes.


MACH41



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.

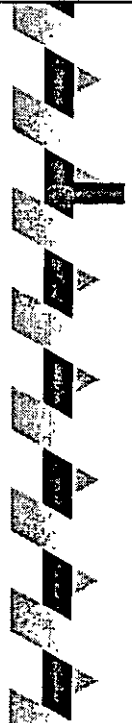
MACH42



Mediante esta permutación, llamada INTERCAMBIO IÓNICO, 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. Entonces se lava con una solución regeneradora que contiene la especie deseable de iones, los que sustituyen a los iones, indeseables acumulados, quedando el material de intercambio en condiciones similares a las iniciales (regenerada).

MACH43



b Esta operación es un proceso químico cíclico y el ciclo completo incluye normalmente:

- Retrolavado
- Regeneración
- Enjuagado
- Servicio

b Este proceso de intercambio iónico, puede ser:

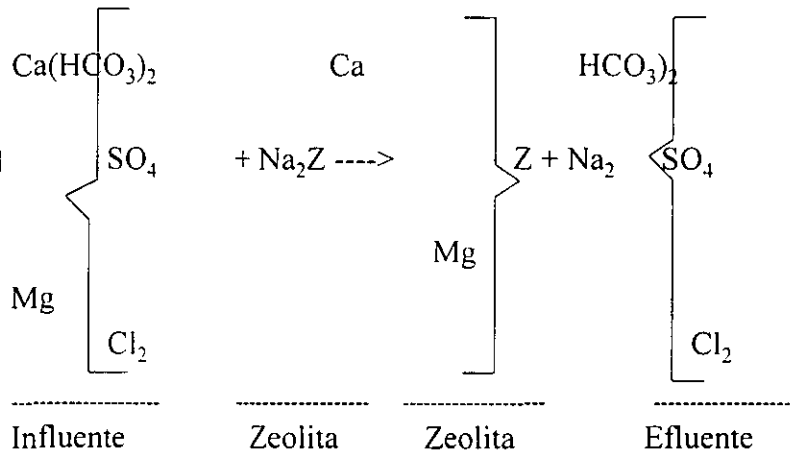
- Suavización
- Desalcalinización
- Desmineralización

MACH44

SUAVIZACION

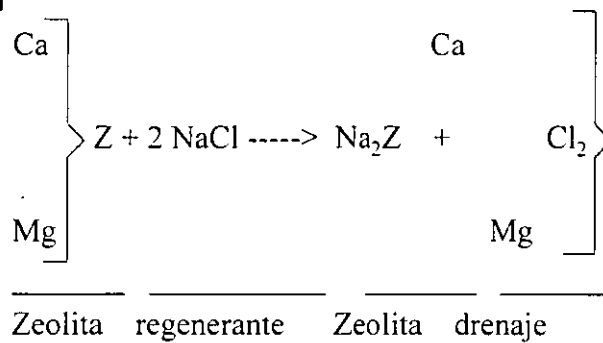
El intercambio que sucede durante la operación, produce un efluente con sales de sodio, en vez de las sales de Ca y Mg del influente. La dureza en el efluente puede llegar hasta 2 a 4 ppm, dependiendo de la dureza del influente. (Generalmente se obtiene agua de dureza cero). Las reacciones químicas que se suscitan en el equipo suavizador, son las siguientes:

MACH45



MACH46

Para restituir la capacidad de intercambio de la resina se regenera:




MACH47

El efluente con sales de sodio, de un suavizador con Zeolita, puede abastecer calderas de baja presión.

La cantidad de sal que necesita un suavizador para su regeneración está determinada por los límites aceptables para la calidad del efluente y la capacidad que la planta desea obtener.

MACH48




Por su diseño y forma de operación, un suavizador actúa también como filtro, esto obliga a efectuar un retrolavado cuidadoso.

En el caso de que el efluente contenga turbidez y lodo, la Zeolita se irá recubriendo y su capacidad disminuirá gradualmente.

Si el efluente proviene de un tratamiento "cal en frío", la Zeolita puede ser incrustada por Carbonato de Calcio o hidróxido de Magnesio, etc.


MACH/49

DESMINERALIZACION



Dado que las sales que se encuentran disueltas en el agua se encuentran disociadas en iones, con carga eléctrica positiva llamados "cationes y con carga eléctrica negativa llamados aniones". las soluciones son eléctricamente neutras, debido a la igualdad de ambas cargas.

MACH/50




El proceso de Desmineralización o desionización consiste en la eliminación de ambos iones contenidos en el agua. La pureza que se llega a obtener a través de este proceso en el efluente es de aproximadamente del orden de 0.10 a 0.20 ppm de sales totales disueltas y menos de 10 ppb de Sílice.

Esta eliminación de iones se efectúa en dos pasos:

- 1°.- Intercambio iónico para el intercambio de cationes por iones Hidrógeno (H^+).
- 2°.- Intercambio iónico para el intercambio de aniones por iones Oxhidrilo (OH^-)


MACH/51



En el caso de una resina en ciclo sodio, el calcio desplaza al sodio, por tener concentraciones normales. Pero para la regeneración, el Sodio desplaza al Calcio, debido a su alta concentración en la solución regenerante.

La mayor parte de las unidades de intercambio iónico son simples recipientes que contienen un lecho de resina de intercambio iónico que opera por flujo descendente. Como se mencionó anteriormente, sobre una base cíclica: operación, regeneración, enjuague, y operación.


MACH/52



Recordando que el diámetro efectivo del material de intercambio iónico es de 20-50 mallas (0.5 mm), hace que el lecho de resina funcione como un filtro muy efectivo, con las ventajas y desventajas correspondientes.

Además del arreglo seleccionado, deberá incluirse una fosa de neutralización para los efluentes de la regeneración y la fosa de recuperación de ácido (opcional).


MACH/53



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.

MACH/54




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.

MACH/55



Algunas consideraciones sobre el tratamiento de los desechos:

- b 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.

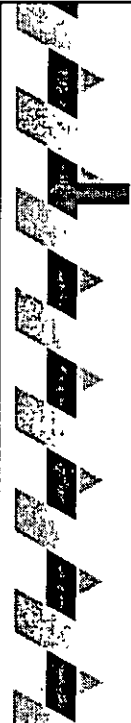
MACH/56



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.


MACH57



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.


MACH58



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).


MACH59



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:


MACH60



- b 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/pulg²).

- b El flujo de sales a través de la membrana es proporcional a la diferencial de Concentraciones a través de la membrana, es decir, si se aumenta la presión de operación se aumenta el flujo de agua.


MACH61



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.

MACH62

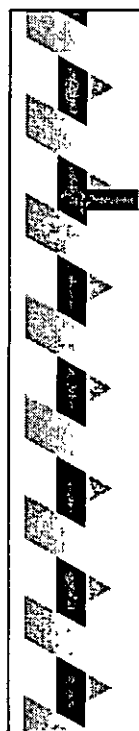


En la actualidad, se comercializan dos tipos de membranas :

- bDe acetato de celulosa (mezcla mono, di, triacetato).
- bMembranas 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.

MACH63




Los dos diseños más importantes de Osmosis inversa son:

- b 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.


MACH64



b 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.


MACH65



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.

MACH66




En un permeador de cuatro pulgadas de diámetro hay un millón de fibras aproximadamente, que soportan una presión de 400 lb/pulg² 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.

MACH67

INSTALACIONES DE OSMOSIS INVERSAS

- 
- b En Paralelo.- En este tipo de instalaciones todos los módulos trabajan en las mismas condiciones de operación (presión y conversión).
 - b En Serie.- Con esta disposición se aumenta el % de conversión.

Algunas aplicaciones más importantes:

- b Abastecimiento de agua potable o a la industria.
- b Producción de agua de alta calidad.
- b Agua de mar.
- b Aguas residuales industriales.

MACH68




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.

MACH69



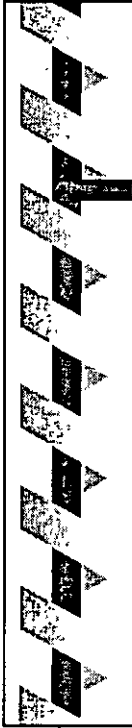
Control por fosfatos:

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.

MACH70

- 
- 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.

MACH/71

Tratamiento Volátil:

Es el control de pH del agua de caldera mediante productos volátiles tales como la hidrazina, amoníaco, morfolina y ciclohexilamina.

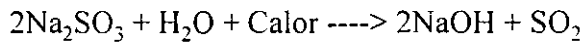
Tratamiento Químico del Agua de Alimentación:

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.

MACH/72

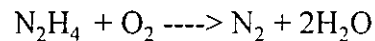
Sulfito de sodio:

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:



Hidrazina:

Para calderas de alta presión se emplea como agente reductor la hidrazina (N_2H_4). Reacciona con el oxígeno disuelto del agua de acuerdo a la siguiente reacción:



MACH/73


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 filmicas:

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.

MACH/74



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.

MACH175



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA (PARTE 2)

**EXPOSITOR:
ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**

TRATAMIENTOS

- CONSISTEN EN UNA SERIE DE TÉCNICAS, MÉTODOS O PROCESOS, QUE CAMBIAN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS O BIOLÓGICAS, DE UN MATERIAL.

CLASIFICACIÓN

■ BIOLÓGICOS

■ FÍSICOS Y QUÍMICOS

■ TÉRMICOS

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

- USO DE MICROORGANISMOS, PARA DEGRADAR O DESCOMPONER LOS DESECHOS ORGÁNICOS TÓXICOS, PRODUCIENDO PRINCIPALMENTE: CO₂, H₂O Y OTROS.
- EL OXÍGENO SE ADICIONA A LOS DESECHOS, LO QUE PROMUEVE LA ACCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS.

TRATAMIENTOS FÍSICOS

- ESTE CONSISTE EN UTILIZAR LAS OPERACIONES UNITARIAS.

- SU PRINCIPAL FUNCIÓN, ES PERMITIR UNA MAYOR SEPARACIÓN, EN UNA CORRIENTE O EN UN DESECHO .

24

TRATAMIENTOS QUÍMICOS

- SON PROCESOS EN LOS QUE SE EMPLEAN SUSTANCIAS QUÍMICAS PARA TRANSFORMAR LA NATURALEZA INTERNA DE LOS DESECHOS PELIGROSOS.

SOLIDIFICACIÓN

- SON TÉCNICAS QUE CAMBIAN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL DESECHO, PARA PRODUCIR UNA ESTRUCTURA SÓLIDA QUE ATRAPA MECÁNICAMENTE A LOS CONTAMINANTES.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

- EL USO DE ELEVADAS TEMPERATURAS PARA EL TRATAMIENTO DE RSM Y DESECHOS PELIGROSOS.
- LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS CAMBIAN EL ESTADO FÍSICO Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA. SE INCLUYEN LA INCINERACIÓN Y PIRÓLISIS.

ESTABILIZACIÓN (FIJACIÓN QUÍMICA)

- SON TÉCNICAS CONCEBIDAS PARA MODIFICAR LOS DESECHOS DE FORMA QUÍMICA, *y Física* YA SEA TRANSFORMÁNDOLOS O INMOVILIZÁNDOLOS.

DESVENTAJAS DEL PROCESO POLÍMERO ORGÁNICO

- 1) LOS MATERIALES QUE SE EMPLEAN SON CAROS
- 2) UTILIZA UNA GRAN CANTIDAD DE ENERGÍA EN EL PROCESO
- 3) VARIOS POLÍMEROS ORGÁNICOS SON FLAMBLES
- 4) REQUIERE DE PERSONAL EXPERIMENTADO
- 5) LOS MATERIALES SON BIODEGRADALES Y ESTÁN PROPENSOS A UN ATAQUE DE SOLVENTES ORGÁNICOS

VENTAJAS DEL PROCESO POLÍMERO ORGÁNICO

- 1) LA PROPORCIÓN DE MIGRACIÓN ES MENOR QUE AQUÉLLA QUE PRESENTAN LOS PROCESOS INORGÁNICOS
- 2) SE REQUIEREN DE MENORES ADITIVOS CUANDO SE COMPARA CON LOS PROCESOS DE CAL Y CEMENTO
- 3) LOS MATERIALES TRATADOS SON DE MENOR DENSIDAD, LO CUAL REDUCE LOS COSTOS DE TRANSPORTE
- 4) LOS MATERIALES ORGÁNICOS FORMAN UNA CUBIERTA IMPERMEABLE ENTRE EL DESECHO Y LA SOLUCIÓN DEL LIXIVIADO
- 5) LOS PROCESOS PUEDEN ENCAPSULAR UN AMPLIO INTERVALO DE DESECHOS

PROCESO DE MACROENCAPSULACIÓN: POLÍMERO ORGÁNICO

A) MICROENCAPSULACIÓN DE DESECHOS CON POLIBUTADIENO Y SUBSECUENTEMENTE, LA MACROENCAPSULACIÓN CON UNA MATRIZ O CUBIERTA DE POLIESTIRENO DE ALTA DENSIDAD

B) UTILIZANDO LOS BAJOS COSTOS, DE LOS MATERIALES DEL PROCESO DE CEMENTACIÓN PARA FORMAR BLOQUES, UNA VEZ FORMADOS SE CUBRE CON UNA MATRIZ (CUBIERTA) DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

C) USANDO MATRICES PREFABRICADOS DE FIBRA DE VIDRIO Y DE TERMOSELLADO, POR ÚLTIMO SE UTILIZA UNA MATRIZ DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

COMPATIBILIDAD DE DESECHOS EN EL PROCESO TERMOPLÁSTICO

DESECHO

- DISOLVENTES ORGÁNICOS MALO
- PLÁSTICOS Y RESINAS BUENO

INORGÁNICO

- DESECHOS ÁCIDOS REGULAR
- AGENTES OXIDANTES MALO
- SULFATOS MALO
- METALES PESADOS EXCELENTE
- MAT. RADIOACTIVOS EXCELENTE
- CLORUROS MALO

DESVENTAJAS DEL PROCESO TERMOPLÁSTICO

- 1) NECESITAN POR LO GENERAL EQUIPO COSTOSOS Y DE PERSONAL EXPERIMENTADO
- 2) LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS SON FLAMABLES
- 3) SE DEBE TENER CUIDADO AL PROCESAR LOS LODOS QUE CONTENGAN CONTAMINANTES QUE SE PUEDAN VOLATILIZARSE A BAJAS TEMPERATURAS

7

VENTAJAS DEL PROCESO ENCAPSULACIÓN TERMOPLÁSTICA

1. LAS PROPORCIONES DE MIGRACIÓN DE CONTAMINANTES PARA LAS TÉCNICAS DE FIJACIÓN TERMOPLÁSTICAS, SON MENORES QUE PARA LA MAYORÍA DE LAS DEMÁS PROCESOS
 2. SON PRIMORDIALMENTE RESISTENTES A LAS SOLUCIONES MÁS ACUOSAS.
 3. LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS SE ADHIEREN BIEN A LOS MATERIALES INCORPORADOS
-

PROCESO DE MICROENCAPSULACIÓN: TERMOPLÁSTICO

ETAPAS

1) PRETRATAMIENTO

2) SECADO DEL DESECHO

3) ADICIÓN DEL MATERIAL PLÁSTICO

4) MEZCLA Y CALENTAMIENTO

5) DISPOSICIÓN FINAL

MICROENCAPSULACIÓN

LOS MATERIALES ADICIONADOS PARA AISLAR EN LA MICROENCAPSULACIÓN SE CLASIFICAN EN:

- ✓ ORGÁNICOS
- ✓ INORGÁNICOS

SISTEMAS ORGÁNICOS SIMPLES

- ✓ POLIESTER
- ✓ RESINAS EPÓXICAS
- ✓ ASFALTOS
- ✓ POLIOLEFINAS
- ✓ UREA FORMALDEHÍDO

SISTEMAS ORGÁNICOS COMPUESTOS

- ✓ TIERRAS DIATOMICIAS. CEMENTO, POLIESTIRENO
- ✓ POLIESTIRENO-CEMENTO
- ✓ GELES DE POLÍMERO CON SILICATOS CAL Y CEMENTO

LOS PROCESOS DE ENCAPSULACIÓN SE DIVIDEN EN:

- 1) TERMOPLÁSTICO

- 2) POLÍMERO ORGÁNICO

ENCAPSULACIÓN

- ES EL PROCESOS EN EL CUAL SE UTILIZA UNA MATRIZ CON EL FIN DE AISLAR HERMÉTICAMENTE, UNA PARTÍCULA TÓXICA O UN DESECHO PELIGROSO.

DESVENTAJAS DEL PROCESO BASE CAL

- 1. LA CAL Y OTROS ADITIVOS ADICIONAN PESO Y VOLUMEN AL PRODUCTO FINAL

- 2. LOS LODOS ESTABILIZADOS SON VULNERABLES A SOLUCIONES ÁCIDAS Y A LOS PROBLEMAS DE CURACIÓN Y FRAGUADO, ASOCIADOS CON LA PRESENCIA DE CONTAMINANTES INORGÁNICOS

VENTAJAS DEL PROCESO BASE CAL

- 1) GENERALMENTE LOS ADITIVOS SON BARATOS Y FÁCILMENTE DISPONIBLES
- 2) EL EQUIPO DE PROCESAMIENTO SON FÁCILMENTE DISPONIBLE
- 3) LA REACCIONES DE ESTE PROCESO ESTAN BIEN IDENTIFICADAS

COMPATIBILIDAD DE DESECHOS EN EL PROCESO BASE CAL

DESECHO ORGÁNICO

- DISOLVENTES ORGÁNICOS MALO
- PLÁSTICOS Y RESINAS EXCELENTE

INORGÁNICO

- DESECHOS ÁCIDOS EXCELENTE
- AGENTES OXIDANTES EXCELENTE
- SULFATOS EXCELENTE
- METALES PESADOS REGULAR
- MAT. RADIOACTIVOS REGULAR
- CLORUROS EXCELENTE

CAL

(PUZZOLANIC)

- LOS DESECHOS SE MEZCLAN CON AGUA, CAL, YESO, SILICATOS Y OTROS.
- SE PRODUCE UNA MATRIZ O BLOQUE SÓLIDO DE MEDIANA RESISTENCIA FÍSICA
- LOS DESECHOS QUEDAN ATRAPADOS EN LA MATRIZ.

9/

DESVENTAJAS DEL PROCESO BASE CEMENTO

- 1) LAS MEZCLAS DE DESECHO-CEMENTO SON CON FRECUENCIA VULNERABLES A SOLUCIONES ÁCIDAS DE LIXIVIADO.
- 2) REQUIERE ALGUNAS ETAPAS DE TRATAMIENTO, TIPOS DE CEMENTO MÁS CAROS O ADITIVOS COSTOSOS.
- 3) EL CEMENTO, DESECHO Y ADITIVOS AUMENTAN CONSIDERABLEMENTE EL PESO Y VOLUMEN.

VENTAJAS DEL PROCESO BASE CEMENTO

- 1) LOS ADITIVOS ESTÁN DISPONIBLES A PRECIO RAZONABLE
- 2) ESTAN BIEN ESTABLECIDAS LA TÉCNICAS DE MEZCLADO Y MANEJO DE CEMENTO.
- 3) SE PUEDE CONSEGUIR FACILMENTE EL EQUIPO DE PROCESAMIENTO NECESARIO.
- 4) LA RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL PRODUCTO FINAL, PUEDE VARIAR AL CONTROLAR LA CANTIDAD DE CEMENTO QUE SE ADICIONA.
- 5) LAS TÉCNICAS TOLERAN RAZONABLEMENTE ALGUNAS VARIACIONES QUÍMICAS EN LOS LODOS.

COMPATIBILIDAD DE DESECHOS EN EL PROCESO BASE CEMENTO

DESECHO

ORGÁNICO

- DISOLVENTES ORGÁNICOS MALO
- PLÁSTICOS Y RESINAS EXCELENTE

INORGÁNICO

- DESECHOS ÁCIDOS BUENO
- AGENTES OXIDANTES REGULAR
- SULFATOS MALO
- METALES PESADOS BUENO
- MAT. RADIOACTIVOS REGULAR
- CLORUROS MALO

CEMENTO (PORTLAND)

- LOS DESECHOS SE MEZCLAN CON CEMENTO, AGUA Y SE AJUSTA EL pH
- LOS DESECHOS QUEDAN ATRAPADOS E INMOVILIZADOS EN LA MATRIZ
- SE PRODUCE UNA MATRIZ O BLOQUE SÓLIDA DE ALTA RESISTENCIA FÍSICA

SOLIDIFICACIÓN/ESTABILIZACIÓN

- CONSISTEN EN TECNOLOGÍAS DE FIJACIÓN QUÍMICA, PUEDEN SER DESCRITOS COMO PROCEDIMIENTOS CUYO OBJETIVO ES INMOVILIZAR, AISLAR O CONFINAR UN CONTAMINANTE PRINCIPALMENTE DE NATURALEZA INORGÁNICA, EN UNA MATRIZ SÓLIDA, GENERALMENTE CON ADITIVOS O REACTIVOS ESPECIALES.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

LIMPIEZAS QUÍMICAS POST OPERACIONALES DE GENERADORES DE VAPOR

**EXPOSITOR:
ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**

LIMPIEZAS QUÍMICAS POST-OPERACIONALES DE GENERADORES DE VAPOR.

La limpieza química de los generadores de vapor son necesarias para remover los depósitos formados en las superficies internas de los tubos, debido a que pueden restringir la transferencia de calor, del flujo y/o, favorecer la corrosión causando finalmente la falla de los mismos. Estos depósitos se forman a pesar del tratamiento de agua de repuesto.

A pesar de ser el método más efectivo para la remoción de éstos depósitos, tiene sus riesgos y complejidad, ya que por lo general, se utilizan sustancias y compuestos químicos agresivos, que eliminan rápida y totalmente los depósitos.

Lo anterior nos obliga a tomar en cuenta lo siguiente:

- La limpieza química de un generador de vapor debe programarse y planearse cuidadosamente con las técnicas adecuadas.
 - . Selección del tipo y método a utilizar.
 - . Medidas de Seguridad en el área.
 - . Determinación de la terminación del trabajo.
 - . Planes de contingencia para fugas, derrames, fallas, etc.
 - . Disposición de residuos peligrosos generados.
 - . Deberá efectuar estos trabajos personal calificado y con experiencia.

Selección del método de limpieza química.

Para que se seleccione correctamente el método para efectuar la limpieza química de una caldera, se deberá tener y estudiar la siguiente información:

- 1.- Modo de operación de calderas (continua o cíclica).
- 2.- Cambios de combustible.
- 3.- Datos de fallas de tubos de calderas (causas, localización, cantidad, etc.

- 4.- Datos de limpieza químicas anteriores (tipo, método, frecuencia, que y cuanto se removió, etc.).
- 5.- Datos de tratamiento químico externo - interno y de la operación de la caldera.
- 6.- Características de los depósitos (formados en la caldera o arrastrados a ella).
- 7.- Muestreo de tubos.-
(antes y después de la limpieza química)
- 8.- Análisis de depósitos.
 - . Oxidos de fierro (capa, suave, porosa de baja densidad)
 - . Oxidos de fierro de 80 a 100% (capas suaves y duras independientes)
 - . Oxidos de fierro de alto porcentaje en pequeñas cantidades de calcio, magnesio y fosfatos).
 - . Similares a los anteriores, originados por fuerte corrosión del sistema de caldera.

El primer solvente utilizado para las limpiezas químicas, es el ácido clorhídrico inhibido por su facilidad de adquirirlo, barato, eficiente y relativamente seguro en la remoción de calcio y magnesio; pero al encontrar en calderas recientes otro tipo de depósito (silice y cobre), se implementó una segunda etapa para remover el cobre con tiourea o bromo, incorporado a la etapa ácida y así se remueve fierro y cobre a la vez.

De la misma manera se utilizó el bifluoruro de amonio para la eliminación de la sílice, mejorando a la vez la acción limpiadora del ácido.

Para ciertas calderas, cuyas condiciones no lo permiten por el estado de sus tubos, se utilizan ácidos orgánicos como solventes (ácido cítrico en solución con amoniaco o EDTA amoniacal).

Es decir, los solventes empleados actualmente son:

- Ácido clorhídrico
- Citrato de monoamonio
- Ácido etilendiamino tetracético (EDTA)

para remoción de cobre:

- Bromato de sodio y amoniaco

para la remoción de depósitos de sílice:

- Bifluoruro de amonio.

MÉTODO DEL ÁCIDO CLORHÍDRICO.

El Ácido clorhídrico es usado para remover depósitos de óxido de fierro y otras impurezas. Cuando se utiliza con el bifuoruro de amonio es muy efectivo para la remoción de la sílice. Si se utiliza con un agente acomplejante del cobre también lo remueve.

La temperatura que se emplea es de 65 a 76°C y su concentración es de 5% en peso, con velocidades de flujo de 1 pie/seg. Se deberá utilizar un inhibidor de corrosión especial para este solvente.

Parte importante que se deberá atender es la de la protección del personal y seguridad en las áreas de trabajo.

Por lo que se deberá tener equipo de protección para el personal (botas, ropa, botas de hule, guantes, casco, goggles, etc, etc.) .

También se tomarán medidas y acciones para tener la seguridad necesaria (Regaderas, botiquín, equipo contra incendio, acordar las áreas de trabajo, de maniobras, letreros de avisos, etc., etc.).

Disponer de suficiente agua para efectuar la limpieza química y desde luego de las sustancias químicas para efectuar este trabajo, en las cantidades mínimas siguientes:

Ácido clorhídrico	5%
Inhibidor de corrosión	0.25%
Bifluoruro de amonio	0.25%
Amoniaco en solución acuosa 28-30%	2%
Ácido cítrico (99.8%)	1.5%
Nitrógeno gas (99.99%)	3 vol.
Carbonato de Sodio 58%	1%
Nitrito de Sodio (99%)	0.5%
Hidrazina Catalizada	0.2%

Debemos disponer de un laboratorio químico para el control del proceso.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, se deberá contar con personal calificado y con experiencia para efectuar el trabajo.

Deberá tenerse disponible todos los sistemas de la unidad (condensado, agua de repuesto, de alimentación, enfriamiento, aire, instrumentos, encendido, etc.). Así como también los arreglos y modificaciones necesarios provisionales (tuberías, válvulas, tanques de dilución, bombas, muestreos, manómetros, termómetros, etc.).

Si en el domo hay partes que puedan dañarse o afectar el trabajo se deberán desmontar.

Es muy conveniente instalar testigos de corrosión y muestrear tubos de pared de agua antes y después de la limpieza química, para comprobar la efectividad de la misma.

Deben comprobarse las instalaciones de:

- . nitrógeno
- . llenado y retrolavado
- . instalaciones provisionales
- . hermeticidad
- . Aislamientos (válvulas de seguridad, otras válvulas e instrumentos de proceso).
- . En caso de que la caldera tenga sobre calentador debemos protegerlo.
- . Llenar la caldera con agua tratada.
- . Recircular el agua y encender la caldera hasta tener 70°C en el agua.
- . Apagar fuego y drenar un volumen igual al de la solución que se va a introducir.
- . Inyectar el inhibidor de corrosión, luego el bifluoruro de amonio.
- . Adicionar el ácido clorhídrico
- . Recircular, muestreando cada 30 minutos para analizar:

PROCESO.

- . En caso de que la caldera tenga sobre calentador, debemos protegerla.
- . Llenar la caldera con agua tratada.
- . Recircular el agua y encender la caldera hasta tener 70°C en el agua.
- . Apagar fuego y drenar en volumen igual al de la solución que se va a introducir.
- . Inyectar el inhibidor de corrosión, luego el bifluoruro de amonio.
- . Adicionar el ácido clorhídrico
- . Recircular, muestreando cada 30 minutos para analizar:
 - % HCl
 - pH
 - Fe⁺⁺
 - Fe⁺⁺⁺
 - Sílicecuando los valores sean constantes hasta en tres ocasiones se da por terminada la etapa ácida.
- . Drenar la caldera hacia la fosa de neutralización, bajo presión positiva de nitrógeno.
- . Llenar nuevamente la caldera con agua tratada, recircular y adicionar ácido cítrico (solución), durante 60 minutos y drenar con nitrógeno.
- . Llenar el generador de vapor nuevamente, con agua tratada y calentar (60 - 65°C) Adicionar ácido cítrico hasta 1 a 1.5% de concentración, ajustar el pH a 3.5 con amoníaco y recircular (60 minutos).

- . Adicionar amoniaco hasta lograr un pH de 9.5 - inyectar nitrato de sodio y recircular 2 horas (remoción del cobre)
- . Inyectar después, aire seco y limpio (15 minutos a cada cabezal y dejar reposar esta solución pasivadora (30 minutos)
- . Drenar a presión atmosférica (fosa de neutralización a la laguna de evaporación).
- . Enjuagar las veces que sean necesarias con agua tratada.
- . Finalmente se abre el domo y cabezales para revisión.
- . Se retiran los testigos de corrosión y se cortan 2 tubos de pared de agua para su análisis.
- . Se retira la instalación temporal para dejar el generador de vapor en condiciones de operación.

En caso de no utilizarla en 5 días después de terminar la limpieza química, deberá almacenarse con agua tratada (eliminador de oxígeno y regulador de pH).

Este trabajo, genera un informe que se toma de:

- Bitácora de actividades
- Programa (Diagrama de barras)
- Diagrama de flujo
- Costos.- (mano de obra, productos químicos, etc.)



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

PRUEBA DE FUGA

**EXPOSITOR:
ING. GUILLERMO ZARAGOZA GARCÍA
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**



PRUEBA DE FUGA

Prueba de Fuga

Son aquéllas pruebas que permiten comprobar la hermeticidad de un componente o de un recipiente que contenga un líquido o un gas a una presión inferior, igual o superior a la presión atmosférica, sin que existan pérdidas apreciables de presión o volumen del fluido de prueba.

La aplicación de esta prueba se realiza comúnmente en recipientes herméticamente sellados y con volúmenes menores a 1 cm³, p. ej. circuitos integrados y en sistemas grandes, tales como recipientes sujetos a presión, reactores nucleares, tanques grandes de almacenamiento de petróleo o líneas de tubería.

Propósitos:

1. Evitar la pérdida de material debido a fugas, las cuales pueden interferir con la operación del proceso o del sistema.
2. Evitar contaminaciones peligrosas en el medio ambiental.
3. Detectar componentes de dudosa calidad, respecto a aquellos cuyas velocidades de pérdida excedan los estándares de aceptación.

Principio físico:

La pérdida del fluido (líquido o gas) puede penetrar desde adentro hacia afuera de un componente, o viceversa, debido a que la filtración será el producto de la permeación del fluido a lo largo de una barrera extendida y del diferencial de presiones de las dos regiones.

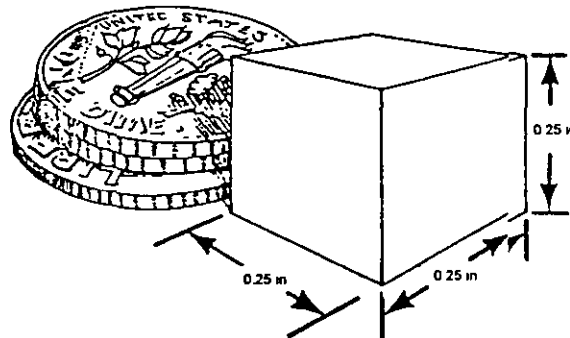
Una fuga se mide con respecto a la filtración del fluido, que pasará con ciertas condiciones de presión, temperatura y flujo

Unidad:

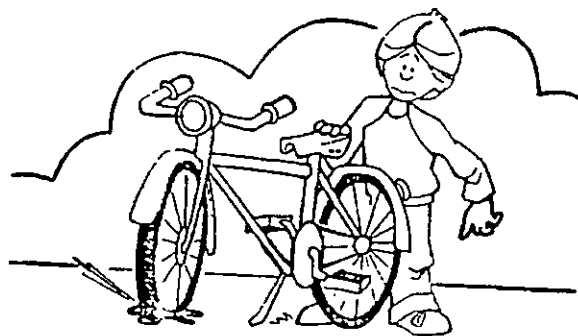
En la prueba de fuga, las presiones son medidas con respecto a la presión atmosférica, por lo que el valor de fuga se expresa como producto de las unidades de presión y volumen por unidad de tiempo, siendo sus unidades más comunes:

$$\text{atm} \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \left(\text{std} \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right) \text{ o } \text{torr} \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Es el equivalente, al paso de un gas a través de una fuga a presión atmosférica en un centímetro cúbico por segundo



Por ejemplo, la prueba de burbujas se emplea para localizar las fugas de una cámara "punchada" de bicicleta, la cual desplazará aproximadamente, un centímetro cúbico de aire atmosférico en 10 segundos, por lo que el valor de la fuga corresponde o equivale a 10⁻¹ atm cm³/s.



Rangos de fugas:

1.157x10 ⁻⁵ atm cm ³ /s	1 cm ³ por día
1.165x10 ⁻⁶ atm cm ³ /s	1 cm ³ por semana
3.171x10 ⁻⁸ atm cm ³ /s	1 cm ³ por año
1.057x10 ⁻⁹ atm cm ³ /s	1 cm ³ por 30 años

Terminología:

Presión atmosférica: Es la presión ejercida por una columna de 760 mmHg a 0°C, bajo una aceleración estándar de la gravedad de 9.80665 m/s².

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 14.6959 \text{ psi}$$

Flujo: Se le conoce al movimiento de un fluido.

Fuga: Discontinuidad que atraviesa la pared del material y no la cantidad del fluido que pasa por ella, p. ej. poros, grietas, fisuras, agujeros, pasajes, etc.

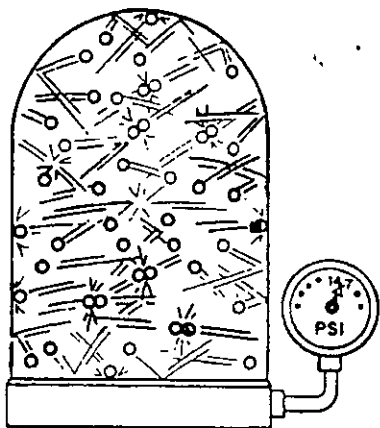
Pérdida: El flujo del fluido que pasa a través de una fuga, sin considerar el tamaño físico de la discontinuidad.

Velocidad de fuga: La cantidad de fluido que pasa a través de una fuga por unidad de tiempo, bajo una serie de condiciones de presión, temperatura y volumen.

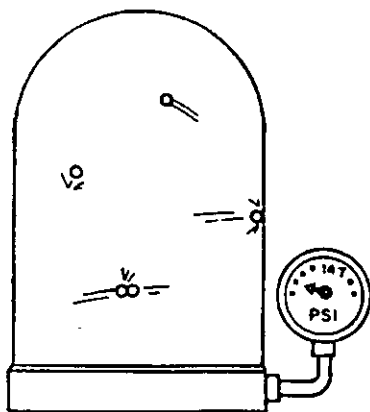
Velocidad mínima de pérdida detectable: Es la velocidad más pequeña del flujo del fluido que puede ser detectada.

Fuga mínima detectable: Es el agujero o pasaje discreto más pequeño que puede ser detectado.

Trayectoria libre media (Mean Free Path o MFP): Es igual a la distancia promedio que una molécula viajará antes de chocar con otra molécula y es una función lineal inversa de la presión.



La MFP es MUY CORTA en las moléculas de un gas en condiciones de presión atmosférica.



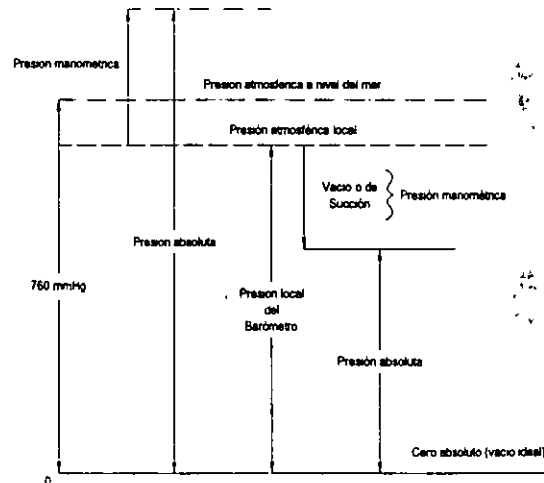
La MFP es MUY GRANDE en las moléculas de un gas en condiciones de una presión inferior a la atmosférica.

GAS	1 μ Pa	1 mPa	1 Pa	1 kPa	100 kPa
	km	M	mm	μ m	nm
Aire	6.8	6.8	6.8	6.8	68
Argón	7.2	7.2	7.2	7.2	72
CO2	4.5	4.5	4.5	4.5	45
Hidrógeno	12.5	12.5	12.5	12.5	125
Agua	4.2	4.2	4.2	4.2	42
Helio	19.6	19.6	19.6	19.6	196
Nitrógeno	6.7	6.7	6.7	6.7	67
Neón	14.0	14.0	14.0	14.0	140
Oxígeno	7.2	7.2	7.2	7.2	72

Tabla 1: Longitudes de la MFP para varios gases atmosféricos a 20° C y diversas presiones de vacío

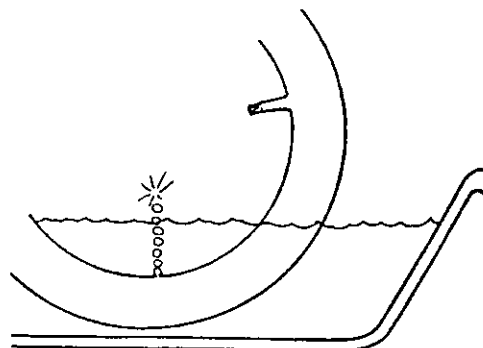
Vapor: Un gas que está en una condición cercana a la curva de saturación a la fase líquida.

Escalas para la medida de presión:

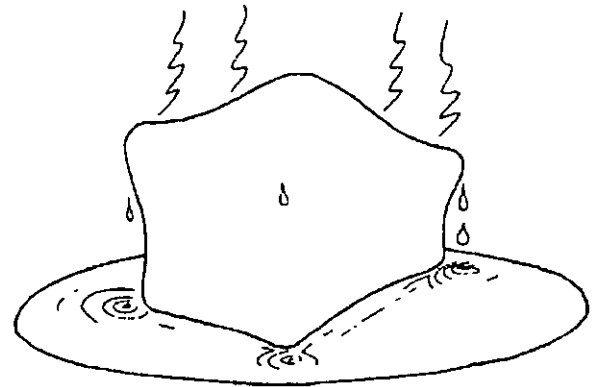
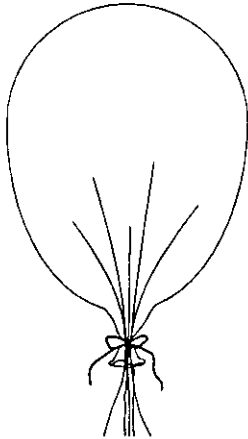


Tipos de fugas:

Fugas reales. Son aquellas fugas que permiten el paso continuo de un fluido a través de poros, grietas u orificios y que son visibles o audibles al ser humano, p. ej. una cámara "ponchada de bicicleta" sumergida en una tina de agua.



Fuga virtual: Son aquellas fugas que permiten la salida de pequeños volúmenes de gas atrapados en el interior de un sistema y que no son perceptibles al ser humano, p. ej la salida del gas helio de un globo de feria. Este tipo de fugas involucra la desorción de los gases desde la superficie o componentes dentro de un sistema de vacío.



ESTADO FÍSICO DE LA MATERIA

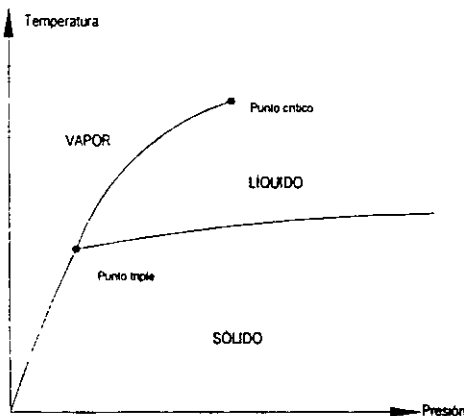
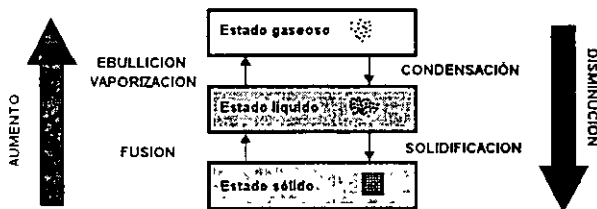


DIAGRAMA DE FASE PARA LOS GASES DEL AIRE

FENÓMENOS DE SUPERFICIE

Adsorción:

Es el proceso por el que átomos o moléculas de un líquido, vapor o gas se atrapan sobre una superficie.

- a) Adsorción física (Fuerzas de Van de Waals): La molécula no cambia su naturaleza (Se adhiere)
- b) Adsorción química (Quimisorción): La molécula se retiene indefinidamente al combinarse con otros materiales superficiales o bien cambia su naturaleza, p. ej silica gel.

Absorción:

Proceso por el que átomos o moléculas de un gas o vapor se quedan atrapados en un sólido o líquido.

Difusión:

Movilidad de átomos, moléculas o iones en un sólido o líquido.

Difusión superficial:

Movimiento de los átomos o moléculas en las capas más superficiales del sólido o líquido

Desorción:

El fenómeno por el que los átomos o las moléculas se separan de un gas con un sólido (o un líquido) por adsorción, absorción, quimisorción o una combinación de estos procesos.

Permeación:

El paso de un líquido, gas o vapor a través de un sólido.

Vaporización:

El proceso por el que un material condensado sobre una superficie se transforma en gas.

TIPOS DE FLUJO

El tipo de flujo corresponde a una pérdida específica y es una función del diferencial de presión, del tipo de gas, y del tamaño y forma de la fuga.

Filtración:

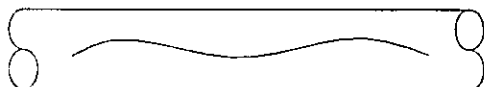
Es el paso de un fluido dentro, a través y hacia fuera de una barrera sólida que no tenga agujeros lo suficientemente grandes para permitir más que una pequeña fracción de la pérdida total que pasará a través, de cualquier agujero.

Flujo molecular:

Este flujo ocurre cuando la MFP del gas es mayor que la dimensión más grande de la sección transversal de la fuga. Este flujo ocurre frecuentemente en los sistemas de vacío.

Flujo de transición:

Ocurre cuando la MFP es aproximadamente igual a la dimensión más grande de la sección transversal de la fuga. Sus condiciones deben estar entre los flujos laminar y molecular.

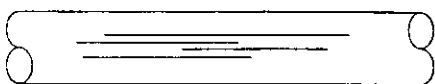


Flujo de transición en una tubería.

Flujo viscoso.

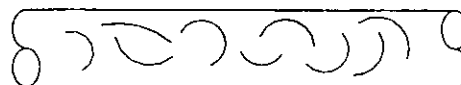
Ocurre cuando la MFP del gas es menor que la dimensión más grande de la sección transversal de la fuga. Para este flujo, la pérdida es proporcional a la diferencia de los cuadrados de las presiones. Arriba de un valor crítico del número de Reynolds a 2100 para un flujo circular de tubería.

- **Flujo laminar:** Las partículas del fluido (pequeñas masas moleculares) se mueven a lo largo de trayectorias lisas en capas o láminas, deslizándose una capa sobre la adyacente.



Flujo laminar en una tubería.

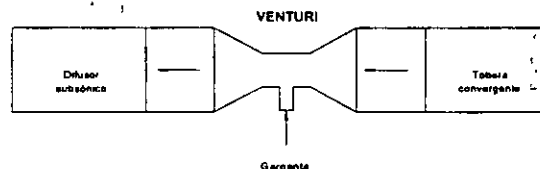
- **Flujo turbulento:** Las partículas del fluido se mueven siguiendo trayectorias irregulares, originando un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra.



Ocurre cuando la velocidad de distribución del fluido, en la sección transversal del pasaje u orificio, se comporta en forma parabólica.

Flujo estrangulado:

A este flujo se le conoce también como flujo sónico y ocurre bajo ciertas condiciones de configuración y presión, por lo que asumiendo que existe un pasaje u orificio en forma de venturi, la velocidad del fluido a través del orificio se incrementará hasta que alcance la velocidad del sonido, si la presión en dirección a la corriente se reduce gradualmente a través de la garganta u orificio y la presión contracorriente se mantiene constante.



PRINCIPIOS DE LA DINÁMICA DE LOS FLUIDOS

La pérdida de fluido cae dentro de la disciplina de la dinámica de los fluidos.

Ecuación General de los Gases Ideales:

Debido a que las partículas de un gas tienen un comportamiento elástico, puntual:

$$PV = nRT \tag{1}$$

Donde:

- P Presión absoluta del gas.
- V Volumen del recipiente que contiene el gas.
- T Temperatura absoluta del gas.
- R Constante general de los gases.

$$R = 0.08207 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 62.37 \frac{\text{torr} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

n Número de moles del gas

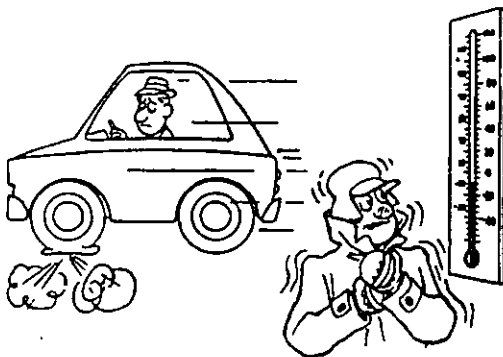
$$n = \frac{\text{Masa (g)}}{\text{Peso molecular (g/mol)}}$$

Un mol de gas contiene 6.023×10^{23} moléculas (Número de Avogrado)

Para determinar la cantidad de un gas en un sistema cerrado, es necesario utilizar las ecuaciones de estado, debido a que se incluyen cantidades de presión, volumen y temperatura.

A esta cantidad se le puede expresar desde el punto de vista de:

- a) Número total de moléculas.
- b) Masa total del gas, o
- c) Cualquier cantidad proporcional a éstos.



PRESION — VOLUMEN — TEMPERATURA

Por ejemplo, suponga que un recipiente a presión con un volumen V_1 , es presurizado a una presión P_1 (mayor a la presión atmosférica) y a una temperatura T_1 , durante un cierto un periodo de tiempo. Al final de este periodo, se observa que la presión ha disminuido a P_2 . Si la temperatura del sistema y el volumen del gas en el recipiente, se han mantenido constantes, la disminución de la presión puede ser el resultado de una pérdida de gas, debido a la presunta existencia de una "fuga".

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2)$$

Si $V_1 = V_2$, resulta entonces la siguiente relación:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (3)$$

De esta manera, si P_2 ha disminuido en proporción con la temperatura, tal vez se presume que el sistema no tiene fuga, debido a que existe un valor discernible en el manómetro y en el termómetro que monitorea el sistema.

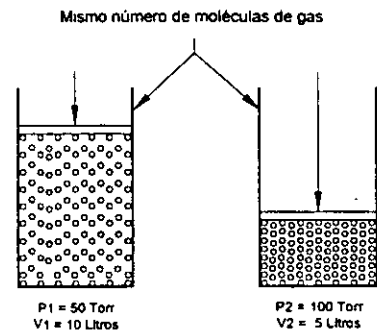
En el caso de que no se conociera la precisión de los instrumentos de medición, se debe establecer un coeficiente máximo de fuga para no computarlo en las lecturas en el desarrollo de la prueba de fuga.

Si la reducción de la presión no puede ser explicada debido al cambio de temperatura, significa que la ecuación (3) no se satisface y por lo tanto se debe presumir la existencia de una "fuga".

Ley de Boyle:

El volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión a temperatura constante.

$$V_1 P_1 = V_2 P_2$$



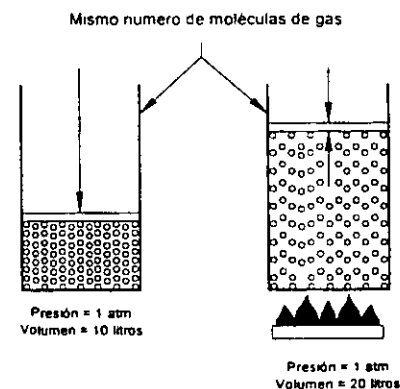
Donde:

La temperatura se mantiene constante.

Ley de Charles:

El volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta a presión constante.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



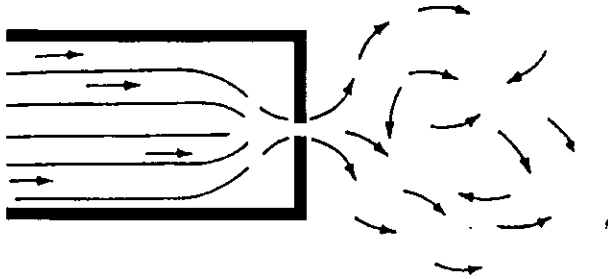
Donde:

La presión se mantiene constante.

Una cierta fuga puede exhibir varios tipos de flujo, dependiendo del gradiente de presión, de la temperatura y de la composición del fluido.

Nota:

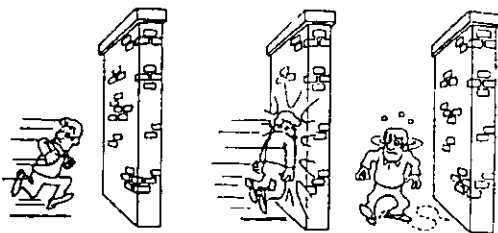
La configuración de la fuga determina el tipo de flujo. Sin embargo, es imposible determinar la configuración geométrica de las grietas, poros, pasajes, agujeros o una combinación de éstas



Se puede establecer el flujo para los gases, siguiendo las reglas empíricas siguientes:

- Menor a 10^6 atm cm³/s, el flujo es usualmente molecular.
- De 10^4 a 10^6 atm cm³/s, es usualmente transicional.
- De 10^2 a 10^6 atm cm³/s, es usualmente laminar.
- Mayor de 10^2 atm cm³/s, es usualmente turbulento.

Para sistemas al vacío, la MFP variará a partir de una cuantas pulgadas a unos pies, y cuando la MFP es muy grande, las colisiones con la superficie de la cámara ocurren más frecuentemente que entre las moléculas.



Ésto es, en parte, la razón por la que ningún gas o pérdida se difunde eventualmente a través de un sistema al vacío, a una velocidad rápida.

El nivel del vacío es virtualmente descrito en términos de la presión absoluta. Sin embargo, la trayectoria libre media y la concentración de moléculas, controlan las propiedades del vacío, tales como la viscosidad, conductividad térmica y fuerza dieléctrica. Además, existen actualmente muy pocos medidores de vacío que midan la presión, debido a que miden la concentración de moléculas

Por lo tanto, en el contexto de sistemas al vacío, el término presión es grandemente inexacto aunque aún permanezca en uso.

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD TOTAL DE LA PÉRDIDA A TRAVÉS DE LÍMITES DE PRESIÓN

Las pruebas de fuga en recipientes o en sistemas grandes, se basan en la determinación de la velocidad a la cual un líquido, gas o vapor penetrará a través de sus límites de presión. La fuga puede ocurrir en cualquier localización dentro de un componente, montaje, o sistema hacia puntos fuera del límite; o desde regiones externas hacia puntos dentro de un volumen encerrado por un límite de presión.

Cuando un fluido pasa a través de una fuga pequeña, la velocidad de pérdida de fluido depende de:

- La geometría de la fuga,
- La naturaleza de los fluidos, y
- Las condiciones prevalecientes del fluido: presión, temperatura y tipo de flujo.

Para propósitos de la prueba de fuga, puede ser usado un fluido trazador (gas o líquido) fácilmente detectable, que es mejor que el aire o el fluido de operación del sistema.

Normalmente, una pérdida ocurre como resultado de un diferencial de presión entre las dos regiones separadas por el límite de presión. (Sin embargo, efectos tales como capilaridad u osmosis, también pueden actuar para ocasionar un flujo de fluido a través de fugas).

En el caso de pérdida de gas, si su temperatura es constante, la velocidad de pérdida describe el número de moléculas fugadas por unidad de tiempo, sin importar la naturaleza del gas trazador empleado en la prueba de fuga. Cuando se conocen la naturaleza y la temperatura del gas perdido, es posible utilizar las leyes del gas ideal para determinar la masa actual de la pérdida.

MEDICIÓN DE VELOCIDADES DE PÉRDIDA PARA CARACTERIZAR FUGAS INDIVIDUALES.

En sistemas presurizados o al vacío, una fuga individual es definida como un agujero o porosidad en la pared de un recipiente, capaz de pasar un fluido desde un lado de la pared hacia el otro lado. El flujo de fluido a través de la fuga, generalmente resulta de un diferencial de presión o de concentración (de un constituyente gaseoso), que actúa a través del límite de presión. Las características del flujo de una fuga, a menudo son descritas en términos

de la condición de la fuga; que como se ha comentado anteriormente, representa un agujero físico con un cierto largo y un área de sección transversal interna o diámetro. Sin embargo, puesto que una fuga no está fabricada intencionalmente en un producto o sistema, las dimensiones del agujero de la fuga generalmente no son conocidas y no pueden ser determinadas por medio de pruebas no destructivas. Por lo tanto, en la prueba de fuga, la cantidad empleada para describir la fuga es "la velocidad de pérdida medida".

La velocidad de pérdida depende de la diferencia de presión que impulsa al fluido a través del pasadizo de la fuga; entre más grande sea la diferencia, más grande será la velocidad de pérdida a través de una fuga dada. Por lo tanto, mediciones de pérdida de la misma fuga bajo diferentes condiciones de presión, pueden resultar en diferentes valores de velocidad del flujo másico. La conducción de una fuga es definida, tanto por la velocidad de pérdida, como por el diferencial de presión a través de la fuga. Así, la conducción o velocidad de pérdida a una presión dada para un fluido trazador particular, puede ser siempre especificada en el reporte y en la interpretación de resultados de una prueba de fuga.

UNIDADES DE LAS VELOCIDADES DE PÉRDIDA EN SISTEMAS AL VACÍO

La pérdida de flujo, no es simplemente el volumen de aire que entra a la cámara de vacío. Preferiblemente, el factor crítico es el número de moléculas de gas que entran al sistema al vacío, el cual depende de la presión externa, la temperatura y del volumen del gas (a esta presión) que se fuga dentro del sistema al vacío. La velocidad de pérdida es expresada en términos del producto de esta diferencia de presión, multiplicada por el volumen de gas que pasa a través de la fuga, por unidad de tiempo; siendo así, directamente proporcional al número de moléculas que se fugan dentro del sistema al vacío, por unidad de tiempo.

LA PRUEBA DE FUGA PARA DETECTAR FALLAS EN LOS MATERIALES

Muchas fugas son causadas por fallas en el material, tales como grietas y fisuras; algunas de ellas pueden ser detectadas midiendo las velocidades de pérdida. Otras fugas pueden ser detectadas por técnicas de detección de defectos, que identifican su localización. Sin embargo, ninguna técnica de prueba de fuga detectará todas las fallas. Por lo tanto, esta prueba es complementaria a otras técnicas de pruebas no destructivas, que son

usadas para encontrar y evaluar defectos básicos en el material.

Sensibilidad de un Detector de Fuga: Es una medida de la concentración o velocidad de flujo de un gas trazador, que proporciona una señal mínima medible de una fuga.

Esta sensibilidad depende del número mínimo detectable de moléculas del gas trazador que entran al detector, y es independiente de la presión del sistema que está siendo inspeccionado.

Sensibilidad de la Prueba de Fuga: Es la más pequeña fuga que físicamente puede ser detectada, dicho de otra forma, es el tamaño mínimo detectable de una fuga.

Para evitar la dificultad usar dimensiones que usualmente no pueden ser medidas, una fuga se mide basándose en la pérdida que ocurrirá en un periodo de tiempo específico y bajo ciertas condiciones de la prueba de fuga.

Condiciones Estándares para la Prueba de Fuga: El ajuste de las condiciones estándares más comúnmente aceptado es que el aire seco debe estar a 25°C, para un diferencial de presión entre una atmósfera estándar (igual a 101.325 kPa) y un vacío. Para propósitos prácticos, el vacío no necesita ser mayor que 1/100 de una atmósfera ó 1 kPa.

Cuando una fuga se está describiendo y sólo se proporciona la velocidad de pérdida, debe asumirse a la pérdida en condiciones estándares.

Cuando se utiliza un instrumento en la realización de la prueba, la sensibilidad dependerá de las condiciones existentes del diferencial de presión, de la temperatura, del tipo de fluido y de la sensibilidad misma del instrumento. Para asegurar confiabilidad y reproducibilidad en las mediciones, el instrumento debe ser más sensible (por al menos un factor de 2) que la pérdida mínima a ser detectada.

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN EMPLEANDO LA PRUEBA DE FUGA CONFORME AMERICAN SOCIETY METALS

SISTEMAS DE GAS A PRESIÓN

Sensibilidad directa:

- Métodos acústicos.
- Prueba de burbuja.
- Detección de flujo.

Detección de gases:

- Olfateo
- Reacción química.
- Gas halógeno.
- Hexafluoruro de azufre.
- Gas combustible.
- Medidores de conductividad térmica.
- Analizadores de gas infrarrojo.
- Espectrometría de masas.
- Contadores de radioisótopos.
- Medidores de ionización.
- Cromatografía de gases.

Determinación de Cantidad Perdida:

- Por peso.
- Medidores de diferencial de presión.

SISTEMAS DE LÍQUIDOS A PRESIÓN:

- Métodos visuales sin aditamentos.
- Métodos visuales con aditamentos
- Superficie mojada.
- Pérdida de peso.
- Papel soluble en agua con lámina de aluminio.

SISTEMAS AL VACÍO:

- Manómetros.
- Gas halógeno.
- Espectrometría de masas.
- Medidores de ionización.
- Medidores de conductividad térmica
- Cromatografía de gases.

Método	Rango de sensibilidad, cm ³ /s	
	Presión	Vacío
Espectrómetro de masas	10 ⁻³ a 10 ⁻⁵	10 ⁻³ a 10 ⁻¹⁰
Captura de electrones	10 ⁻⁶ a 10 ⁻¹¹	-----
Revelador colorimétrico	1 a 10 ⁸	-----
Prueba de la burbuja con película líquida	10 ⁻¹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻¹ a 10 ⁻⁵
Prueba de la burbuja por inmersión	1 a 10 ⁻⁶	-----
Prueba hidrostática	1 a 10 ⁻²	-----
Aumento de Presión	1 a 10 ⁻⁴	1 a 10 ⁻⁴
Reducción de presión/flujo	1 a 10 ⁻³	-----
Trazador líquido	1 a 10 ⁻⁴	1 a 10 ⁻⁴
Alto voltaje	-----	1 a 10 ⁻⁴
Halógeno (ánodo caliente)	10 ⁻¹ a 10 ⁻⁶	10 ⁻¹ a 10 ⁻⁵
Conductividad térmica (He)	1 a 10 ⁻⁵	-----
Medidor	-----	10 ⁻¹ a 10 ⁻⁷
Trazador radioactivo	10 ⁻¹³	-----
Infrarrojo	1 a 10 ⁻⁵	-----
Acústico	1 a 10 ⁻²	1 a 10 ⁻²
Trazador de humo	1 a 10 ⁻²	-----

RANGOS DE SENSIBILIDAD DE LOS MÉTODOS DE LA PRUEBA DE FUGA (SEGÚN ASM)

CLASIFICACIÓN DEL MÉTODO DE PRUEBA DE FUGA CONFORME LA AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING

Según la Práctica Recomendada SNT-TC-1A y la Norma Americana ANSI/ASNT CP-189 Edición 1991... No obstante, la Sección V del Código ASME "Nondestructive Testing" adopta la misma clasificación".

- 1) Burbuja (BT)
- 2) Cambio de Presión (PCT)
- 3) Diodo de Halógeno (HDLT)
- 4) Espectrómetro de masas (MSLT)

CLASIFICACIÓN DE LA TÉCNICA DE INSPECCIÓN DE LA INTEGRIDAD O DE HERMETICIDAD CONFORME LA NORMA MEXICANA NMX-B-482-1997

Medición de cambios de presión:

- a) Hidrostática.
- b) Neumática.

Medición de pérdida de fluido:

- a) Detector de halógenos.
- b) Espectrómetro de masas.
- c) Cámara de burbujas.

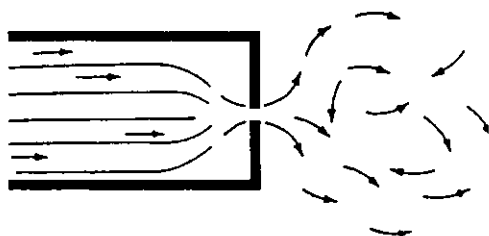
LISTADO DE ESTÁNDARES PARA REALIZAR LA PRUEBA DE FUGA CONFORME LA AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS

E 427-90	Standard Practice for Testing for Leaks Using the Halogen Leak Detector (Alkali-Ion-Diode)
E 432-91	Standard Guide for Selection of a Leak Testing Method.
E 479-91	Standard Guide for Preparation of a Leak Testing Specification
E-493-89	Standard Test Methods for Leak Using the Mass Spectrometer Leak Detector in the Inside-Out Testing Mode
E-498-90	Standard Test Methods for Leaks Using the Mass Spectrometer Leak Detector or Residual Gas Analyzer in the Tracer Probe Mode.
E 499-90	Standard Test Methods for Leaks Using the Mass Spectrometer Leak Detector in the Detector Probe Mode
E 515-90	Standard Test Method for Leaks Using Bubble Emission Techniques.
E 908-91	Standard Practice for Calibrating Gaseous Reference Leaks.
E 1002-86	Standard Method of Testing for Leaks Using Ultrasonics.
E 1003-84	Standard Method of Hydrostatic Leak Testing
E 1066-85	Standard Test Method for Ammonia Colorimetric Leak Testing.

PRUEBA DE FUGA EN SISTEMAS A PRESIÓN

Métodos acústicos:

El flujo turbulento de un gas presurizado a través de una fuga, produce sonido tanto en la frecuencia sónica como en la ultrasónica. Si la fuga es grande, puede ser probablemente detectada por el oído. Este es un método económico y rápido para encontrar fugas grandes. También pueden ser detectadas emisiones sónicas con instrumentos tales como estetoscopios y micrófonos, los cuales tienen una habilidad limitada para localizar y estimar el tamaño aproximado de una fuga. Los transductores electrónicos aumentan la sensibilidad de la detección.



¿Cómo se produce el ruido ultrasónico?

Simplemente, cuando pasa un gas por un orificio pequeño o restringido bajo presión, es como ir de una forma presurizada laminar a un torrente turbulento de baja presión al exterior.

La agudeza y sensibilidad del oído humano son limitadas, debido a que el rango de audición del humano se encuentra en un rango de 20 a 20,000 Hz.

¿Qué es un detector ultrasónico?

Es un instrumento electrónico que permite convertir un sonido inaudible de alta frecuencia (ultrasonido) en un sonido audible para el ser humano con una fidelidad cualitativa y cuantitativa al ruido original.

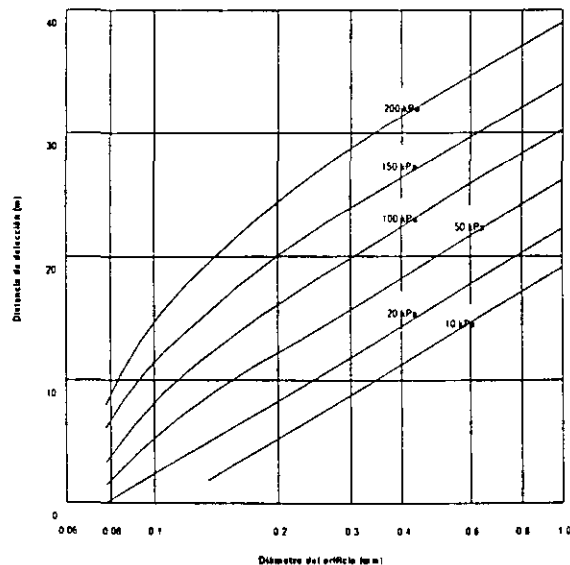
El rango de un detector ultrasónico se encuentra en un rango de aproximadamente 40,000 Hz.

Los ruidos ultrasónicos se producen por:

- Las fricciones entre partes móviles (rodamientos, engranajes, etc.)
- Turbulencia de gas (fugas bajo presión o vacío)
- Arcos eléctricos (relevadores)

El detector ultrasónico debe emplearse utilizando los audífonos integrados, debido a que se encuentran diseñados para bloquear el ruido ambiental de las áreas de trabajo.

Esta prueba se complementa con una prueba de burbujas.



Prueba de la Burbuja.

Para pequeños recipientes presurizados con cualquier gas, un método de prueba de fuga simple es sumergirlos en un líquido y observar la formación de burbujas. Si el recipiente está sellado a la presión atmosférica, se puede obtener un diferencial de presión bombeando un vacío parcial sobre el líquido o calentando éste último. La sensibilidad de ésta prueba se incrementa al reducir cualquiera de los siguientes factores del líquido la presión arriba de él, su densidad, la profundidad de inmersión en él, o su tensión superficial.

Prueba de Inmersión.

Las pruebas de inmersión pueden ser empleadas en cualquier objeto o recipiente presurizado internamente, el cual no debe ser dañado por el líquido de prueba. Aunque este método puede ser relativamente sensible, como se ha establecido previamente, es usado comúnmente como una prueba preliminar para detectar fugas grandes. Este método es barato, requiere menor habilidad del operador para una prueba de baja sensibilidad y le permite localizar exactamente una fuga.

El recipiente a probar debe limpiarse a fondo para incrementar la humectabilidad de la superficie, evitando la adhesión de las burbujas y la contaminación del fluido. Si se emplea agua, debe ser destilada o desionizada. Normalmente, al agua se le adiciona una pequeña cantidad de agente humectante para reducir la tensión superficial; cuando éste agente es el apropiado, el agua puede ser aún más sensible que los aceites. Las soluciones surfactantes base agua pueden ser utilizadas exitosamente para detectar fugas tan pequeñas de 10^{-6} atm cm^3/s

Soluciones Formadoras de Burbujas.

Este tipo de pruebas se aplica a la superficie de un recipiente presurizado, el cual no puede ser sumergido. No es recomendable rociar la solución, ya que puede fluir sobre la superficie. Si este método es llevado a cabo en forma adecuada, es posible obtener una sensibilidad de 10^{-5} atm cm^3/s ; si se emplea un operador no entrenado, puede disminuir a 10^{-3} atm cm^3/s o hasta 10^{-2} atm cm^3/s , cuando se usa jabón y agua.

Al igual que la prueba de inmersión, el costo es barato de las soluciones formadoras de burbujas y no requiere de un extensivo entrenamiento del inspector. Una desventaja es que la prueba normalmente no permite al operador determinar exactamente el tamaño de una fuga.

Detección de flujo.

El método de detección de flujo, basado en escuchar el flujo, se divide en tres partes:

- a) Aumento de Presión.
- b) Reducción de Presión.
- c) Flujo.

La sensibilidad para cada uno de estos métodos no es la misma. Si un recipiente o sistema presurizado internamente es encerrado dentro de un recipiente grande que después es sellado, excepto por un pequeño conducto, la pérdida del recipiente que está siendo inspeccionado dará como resultado un incremento en la presión dentro del recipiente más grande, y el gas fluirá a través del conducto.

Si en el conducto se instala un accesorio sensible al movimiento o al flujo de gas, éste puede servir como un indicador de velocidad de pérdida. Para este propósito han sido desarrollados flujómetros de desplazamiento positivo extremadamente sensibles.

Alternativamente, puede usarse un medidor de desplazamiento volumétrico, el cual consiste esencialmente de un cilindro con un pistón que se mueve cuando se eleva la presión del recipiente encerrado, aumentando efectivamente el volumen de dicho recipiente y regresando la presión interna a la del ambiente atmosférico. El pistón puede estar libre de arrastre friccional y su movimiento puede ser horizontalmente exacto.

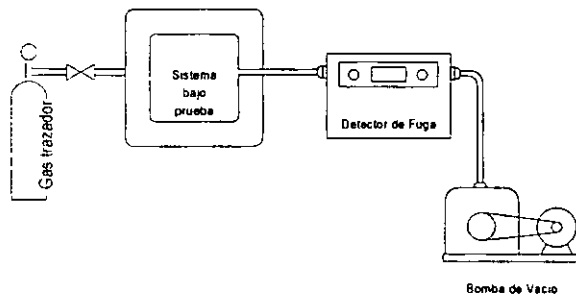
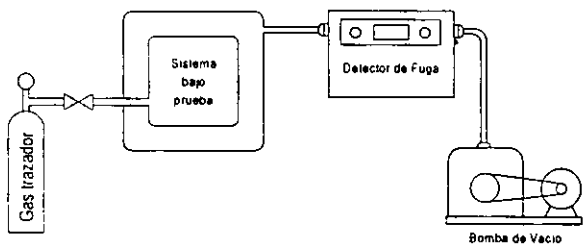
Los medidores de desplazamiento volumétrico están equipados con catatómetros micrométricos que pueden medir con exactitud los desplazamientos extremadamente pequeños del pistón. Algunos de estos medidores detectan fugas de 10^{-4} atm cm^3/s .

Este es un método muy fácil de usar cuando no se puede medir directamente el cambio de presión del contenedor que está siendo probado. Aunque para la detección y medición de una fuga, el método más simple es el del tubo de burbujas. Cuando el extremo del conducto del recipiente externo se coloca en un baño líquido, se generarán burbujas debido a una pérdida apreciable existente. Muy pequeñas velocidades de pérdida pueden ser detectadas, simplemente por el movimiento de la curvatura del líquido en el tubo.

SISTEMAS A PRESIÓN EMPLEANDO DETECTORES DE GAS ESPECÍFICOS

Muchos tipos disponibles de detectores de fugas reaccionarán a un gas específico, o a un grupo de gases que tengan alguna propiedad física o química en común. Las técnicas de medición de velocidad de pérdida involucran el uso de gases trazadores que caen dentro de 2 clasificaciones:

- **Prueba de Fuga Estática:** La cámara dentro de la cual el gas trazador se fuga y acumula, se encuentra sellada y no está sujeta a bombeo para remover los gases acumulados.
- **Prueba de Fuga Dinámica:** La cámara es bombeada continua o intermitentemente para dibujar el gas trazador perdido a través del detector de fuga.



Detección de Olor por Olfateo.

En este caso, el sentido del olfato se utiliza para detectar olores de fugas grandes. Los nervios de este sentido son bastante sensibles a ciertas sustancias, aunque no son especialmente útiles para la localización de una fuga, pueden determinar la presencia de olores fuertes.

Sin embargo, estos nervios se fatigan rápidamente y si la pérdida no es notada de inmediato, probablemente no será detectada.

Cambio de Color.

La prueba por reacción química está basada en la detección del escape de un gas desde el interior de un recipiente, por medio de soluciones o gases sensibles.

El método de cambio de color del amoníaco, es probablemente el mejor conocido. En este método, primero se limpia la superficie del recipiente para la posterior aplicación de un revelador colorimétrico, formándose así una película elástica que se remueve fácilmente después de la prueba. El revelador es bastante fluido y cuando se aplica con una pistola de aire se fija rápidamente, formando una capa continua ya que se adhiere bastante bien a las superficies de metal.

Después se introduce en una mezcla de aire-amoniaco (que usualmente varía de 1 a 5% de NH_3) dentro del recipiente seco. La pérdida de gas a través de la discontinuidad, causa que el indicador cambie de color. La sensibilidad de este método puede ser controlada variando la concentración de amoniaco, la presión aplicada a la mezcla y el tiempo permitido para el revelado.

Para la prueba de fuga en uniones soldadas son útiles las cintas indicadoras, el método usado para esta aplicación es el siguiente. Después de que la superficie de la junta a ser inspeccionada se limpia con un solvente, la cinta indicadora se fija en la soldadura, ya sea con una solución de goma aplicada en el extremo de la cinta o por una película plástica. A continuación, el gas de inspección consistente de una mezcla de amoniaco-aire con 1 a 10% de NH_3 , se introduce en el recipiente con un exceso de presión. Si existen microdiscontinuidades el gas se fuga y reacciona químicamente con el indicador, formando manchas coloreadas que son claramente visibles en el fondo de la cinta. Este método tiene las siguientes ventajas:

- Puede utilizarse un control remoto para seguridad de los operadores.
- Pueden detectarse fugas de aproximadamente 10^{-7} atm cm^3/s
- El color de la cinta no es afectado por el contacto con las manos, por la alta humedad o por el paso del tiempo.
- En algunas ocasiones, las cintas pueden ser usadas más de una vez; en caso de existir manchas causadas por la acción del amoniaco, éstas pueden ser removidas soplando la cinta con aire seco comprimido.

Reacción de Amoníaco y Ácido Clorhídrico.

Este es otro método que involucra la presurización del recipiente con gas amoníaco, para buscar después la fuga con un frasco abierto de ácido clorhídrico. Una fuga producirá una neblina blanca del precipitado de cloruro de amonio, cuando el amoníaco haga contacto con el vapor del ácido clorhídrico. Se requiere de una buena ventilación debido a las características nocivas de ambos compuestos.

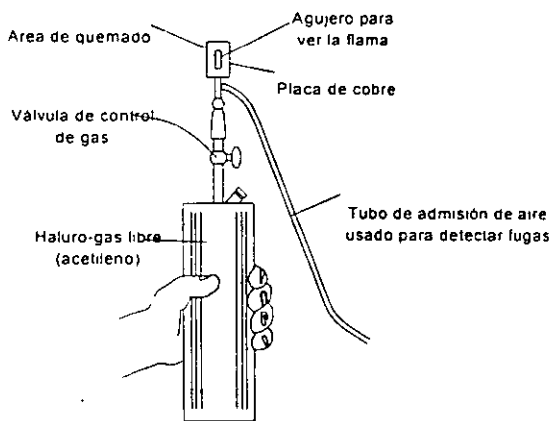
Reacción del Amoníaco y del Dióxido de Azufre.

Otra modificación de la prueba del indicador químico de amoníaco, involucra el uso de amoníaco y del dióxido de azufre gaseoso para producir una neblina blanca de sulfato de amonio. El dióxido de azufre no es irritante o corrosivo como el ácido clorhídrico, sin embargo si es un gas nocivo y sólo debe ser usado en áreas bien ventiladas.

Lámpara para Halogenuros.

Este es otro tipo de prueba de reacción química, la cual emplea una lámpara comercial de halogenuro, y básicamente consiste de un tanque de gas y de una placa de latón.

Quemando el gas se calienta la placa de latón; en la presencia del gas halógeno, el color de la flama cambia debido a la formación del halogenuro de cobre. (La flama también es usada para inducir el gas a través de la sonda, la cual es del largo de un tubo de laboratorio). La lámpara de para halogenuros localiza fugas tan pequeñas como de 1×10^{-3} atm cm^3/s .



Prueba del Diodo de Halógeno.

En esta prueba se utiliza un detector de fuga que responde a la mayoría de los gases que contienen cloro, flúor, bromo o yodo. Por lo tanto, uno de estos gases del compuesto de halógeno es usado como un gas trazador.

Cuando se presuriza un recipiente con el gas trazador, o con una mezcla del compuesto de halógeno y aire o nitrógeno, se emplea la sonda olfateadora del detector para localizar la fuga.

Detectores de Hexafluoruro de Azufre.

Operan bajo el principio de los detectores de captura de electrones, los cuales son usados ampliamente en el campo de la cromatografía de gases. A través del detector se hace pasar nitrógeno puro (libre de oxígeno) y la corriente permanente es ajustada por un control cero a una posición dada en la escala del medidor. Cuando entra a la celda un compuesto capturador de electrones, como el hexafluoruro de azufre, los electrones que forman la corriente son capturados por las moléculas del compuesto, dando como resultado una reducción en la corriente permanente, la cual es indicada por un medidor de reflexión. Esta lectura medida es proporcional a la cantidad de hexafluoruro de azufre que entra a la celda y es, por lo tanto, una indicación aproximada del tamaño de la fuga. La molécula de oxígeno también posee las características del "electrón capturado", aunque en menor extensión, de aquí la necesidad de purgar el instrumento con oxígeno libre de nitrógeno durante la prueba.

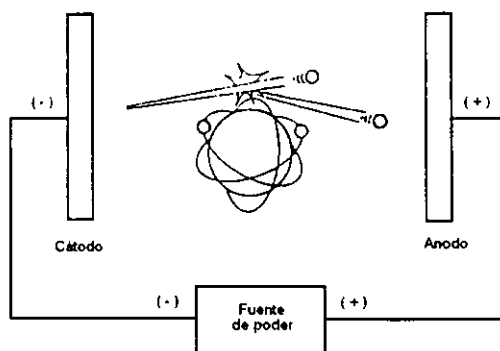
Detectores de Gas combustible.

A menudo son usados como monitores o localizadores de fuga, donde los humos de los combustibles son igualmente acumulables como en los sótanos. Estos instrumentos advierten de condiciones potencialmente peligrosas, por su habilidad para medir bien las mezclas de gas combustible abajo de un nivel de concentración riesgoso.

Los instrumentos de gas combustible catalítico miden la concentración del gas como un porcentaje de su límite explosivo más bajo. La temperatura de un elemento catalítico calentado se elevará con la presencia de un gas combustible. La sensibilidad mínima de una cama catalítica es de aproximadamente 500 ppm, que equivale a una velocidad de pérdida de 10^{-3} atm cm^3/s . Al igual que los localizadores de fuga, los elementos catalíticos no son lo suficientemente sensibles. Para localizar un gas combustible, debe utilizarse un sensor de estado sólido o un detector de flama ionizante, los cuales pueden detectar una fuga de aproximadamente 10^{-5} atm cm^3/s .

Medidores de Conductividad Térmica.

La conductividad de un gas puede ser medida empleando el método del puente de alambre caliente. Un elemento resistivo, usualmente un alambre delgado o un filamento, se calienta eléctricamente y se expone al gas. La temperatura y la resistencia del alambre, dependen de la conductividad térmica del gas que lo rodea, considerando que la corriente de entrada se mantiene constante.



Analizadores de Gas Infrarrojo.

Pueden detectar una mezcla de gas que tenga una banda de absorción clara en el espectro infrarrojo.

La característica conocida es convertida en una respuesta mensurable, ya que permite una fuente caliente para radiar a través de dos tubos de absorción que contienen a los gases bajo comparación. Estos tubos están separados por un diafragma delgado, de metal que, en combinación con una placa de metal aislante que se encuentra adyacente, forman un condensador eléctrico.

La absorción infrarroja una forma muy sensible para medir pequeñas concentraciones de hidrocarburos, como el metano. Los láseres infrarrojos se están volviendo más comunes para monitorear una gran variedad de gases tóxicos y combustibles. Para algunos componentes, la espectroscopia infrarroja de láser puede detectar gases a niveles de partes por billón.

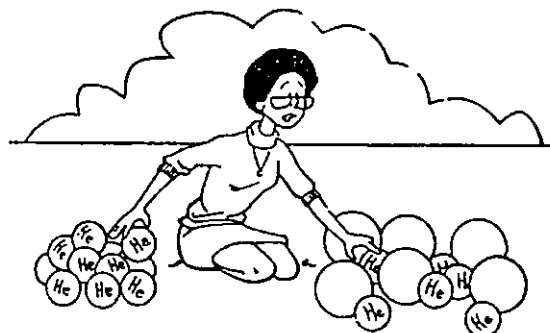
Espectrómetro de masas.

Es básicamente un accesorio para sortear partículas cargadas. La muestra de gas entra al analizador, donde sus moléculas son bombardeadas por un flujo de electrones emitidos por un filamento.

Las moléculas bombardeadas pierden un electrón y se vuelven iones cargados positivamente, los cuales son electrostáticamente acelerados a una velocidad alta. Debido a que el analizador se halla en un campo magnético perpendicular a la trayectoria del ion, éste viaja en trayectorias curvas distintas, de acuerdo a su masa. Los radios de estas trayectorias están determinados por la masa del ion, la magnitud de la aceleración inicial y la fuerza del campo magnético.

Con un campo magnético constante, cualquier grupo de iones teniendo la misma masa, puede ser orientado para viajar el radio específico necesario para golpear el ion colector. La carga positiva de los iones es dada a conocer al blanco, o colector, y el flujo de corriente resultante es proporcional a la cantidad de iones de esa masa en particular.

Actualmente existen espectrómetros de masa especializados, como son los analizadores de gas residual, analizadores de presión parcial y los espectrómetros de masa de helio. Estos últimos han sido afinados para responder sólo a ciertos rangos de unidades de masa atómica, y sólo detecta helio, todas las otras moléculas que pasan a través del tubo detector perderán el blanco o detector debido a su diferencia de masa o momentum, con respecto al helio.



Debido a que los espectrómetros deben operar en un vacío, están idealmente adaptados tanto a la prueba de fuga de sistemas al vacío, como en sistemas presurizados con un gas trazador empleando una sonda detectora o un recinto para acumular la pérdida mientras se está monitoreando con el espectrómetro de masa.

PRUEBA DE FUGA POR CANTIDAD PERDIDA EN SISTEMAS A PRESIÓN

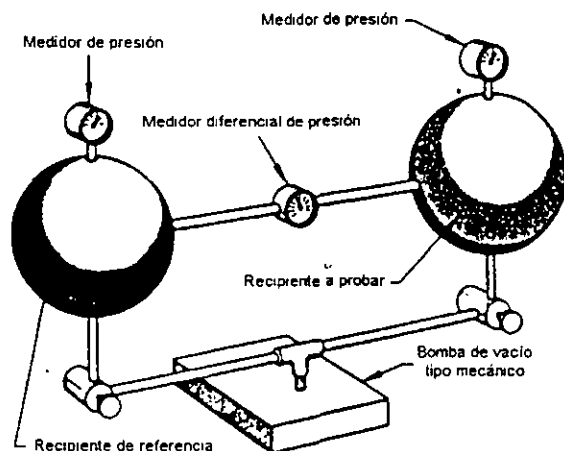
La determinación de la cantidad de fluido perdido en un recipiente, es uno de los medios para establecer que existe una fuga. Pesado un recipiente para determinar la pérdida de fluido es práctico sólo si éste tiene un tamaño razonable y puede ser pesado en una escala razonable.

La sensibilidad y exactitud de este método están limitadas por aquello de la escala; En general, este método no es

muy satisfactorio, a menos que el peso del recipiente sea comparable o menor que el peso de su contenido.

Método por Diferencia de Presión.

La cantidad de gas perdido puede ser determinada empleando este método. Esto es hecho conectando juntos dos contenedores idénticos, con un manómetro entre ambos. Los manómetros son sensibles a pequeñas diferencias de presión; por lo tanto, si los dos contenedores se mantienen en condiciones ambientales iguales, pueden detectarse fugas pequeñas (de 10^{-4} atm cm^3/s) en sistemas que operan a presiones hasta de 40 mPa (6 psi). La principal ventaja de este método es que los efectos de la temperatura se cancelan, por lo que el fluido de trabajo contenido puede ser utilizado para la prueba.



La observación visual es el método más simple para verificar las fugas de un recipiente lleno de líquido. Igual que escuchar y oler, este es un método de prueba rápida y simple para buscar fugas grandes en contenedores llenos.

La visión es una característica variable cuando se considera desde el punto de vista de un sólo individuo, y más aún con varios individuos. Esto es debido a que las variaciones en el ojo, cerebro y sistema nervioso, afectan la resolución óptica y la percepción del color.

Ayudas Ópticas.

Tales como espejos, lentes, microscopios, boroscopios, fibras ópticas y lupas, compensan en algo las limitaciones del ojo humano, aumentando las discontinuidades pequeñas. Por ejemplo, el boroscopio permite una inspección visual directa del interior de los tubos, cámaras y otras superficies internas.

Prueba Hidrostática.

Requiere que el componente sea llenado completamente con un líquido como el agua. La sensibilidad normal para la inspección visual usando agua desionizada como fluido de prueba es de 10^{-2} atm cm^3/s ; es por ello, que con este método sólo pueden ser reveladas discontinuidades grandes.

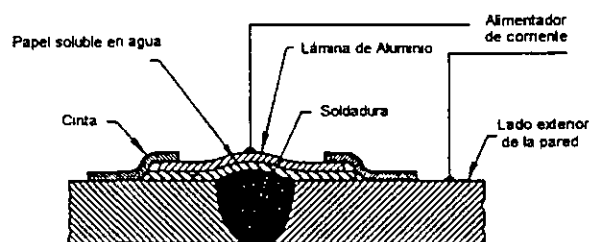
La sensibilidad de esta prueba puede ser mejorada adicionando:

- Un revelador acuoso aplicado al exterior, que cambie de color cuando esté en contacto con una fuga pequeña. Este método ha reemplazado el viejo método de lavado con cal, el cual requería una gran cantidad de agua infiltrada para ser visible.
- Un concentrado que baje la tensión superficial del agua y proporcione un trazador visible o fluorescente.

Cuando se lleva a cabo adecuadamente, la prueba hidrostática puede tener la misma sensibilidad que una prueba de fuga de líquidos penetrantes en objetos de gran volumen.

Detección por Papel Soluble en Agua con Lámina de Aluminio.

Este método para la detección de pérdida de agua, emplea una tira de lámina de aluminio puesta sobre una tira ancha de papel soluble en agua; ambas, son colocadas sobre las costuras soldadas de un recipiente lleno de agua.



Si existe una fuga, la tira soluble en agua se disolverá, indicando la localización de la fuga, y la tira de lámina de aluminio estará en contacto eléctrico con el recipiente. Un cambio en la resistencia, indicará la presencia de una fuga.

Bombas y Candelas de humo.

Se utilizan para detectar fugas. Para esta prueba se requiere una cantidad suficiente de humo como para llenar un volumen cinco o seis veces más grande que el área a ser probada. Volúmenes medianos, tales como

calderas y recipientes a presión, pueden ser probados cerrando todas las salidas, encendiendo una candela o bomba de humo y colocándola dentro del recipiente. Posteriormente, deben cerrarse todas las aberturas y casi inmediatamente, el humo que escapa señalará con precisión la presencia de cualquier fuga, dentro de los niveles de sensibilidad de este método. Cuando se están probando calderas y equipos similares con volúmenes de 2800m³ (100 000 ft³) y más, a menudo es deseable aplicar aire a presión.

Las candelas pueden proporcionar desde 110 m³ (4000 ft³) de humo en 30 segundos, a 3700 m³ (130000 ft³) en 2 a 3 minutos. El humo variará en color, de blanco a gris, dependiendo de la densidad e iluminación. Esto es generado por una reacción química, no contiene materiales explosivos y no es tóxico.

Gas	% Volumen	Presión parcial (mmHg)
Nitrógeno	78.08	593.4
Oxígeno	20.95	159.2
Argón	0.93	7.1
Bióxido de carbono	0.03	0.25
Neón	0.0018	1.38x10 ⁻²
Helio	0.0005	4.0x10 ⁻³
Kriptón	0.0001	8.66x10 ⁻⁴
Hidrógeno	0.00005	3.8x10 ⁻⁴
Xenón	0.0000087	6.6x10 ⁻⁵

El aire seco atmosférico es una mezcla de gases.

La palabra "vacío" se deriva de la palabra griega que significa vaciando. El vacío se obtiene a partir de la remoción del aire por algunos medios de bombeo.

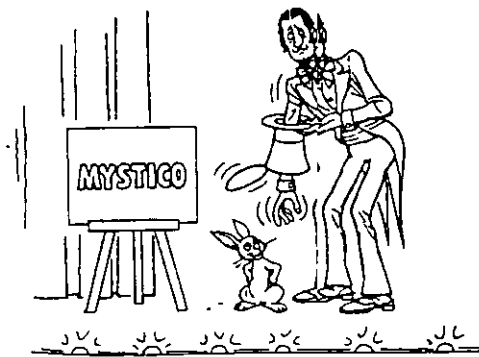
Puede obtenerse diversos grados de vacío, dependiendo de la cantidad de aire que fue removida de la cámara anular. Los términos comunes, se le conoce como "vacío parcial", "vacío burdo", "alto vacío" o "ultra alto vacío" y se refieren a los grados de vacío.

Prácticamente, un recipiente a vacío significa que está vacío y que esta libre de todo material (moléculas), lo cual nunca se obtiene. En el caso de ser posible, se llamaría "vacío perfecto" o "vacío absoluto".

VACÍO

Definición ideal:

Es un espacio que no contiene nada.



¿ Por qué se necesita el vacío?



En las reacciones químicas, nosotros necesitamos impedir cualquier contaminación química indeseable, así como la interferencia física.

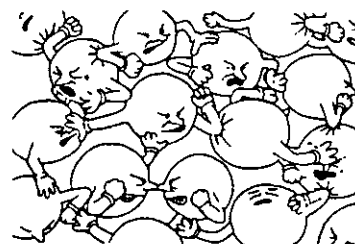
Definición real:

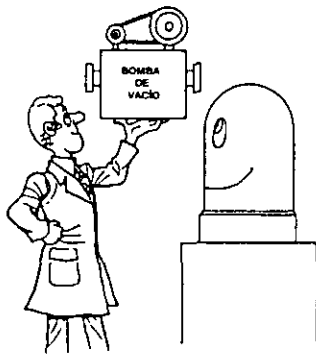
Es un espacio a una presión inferior a la presión atmosférica



Aplicaciones del vacío:

El vacío se utiliza para reducir la interacción de los gases, por ejemplo el aire con sólidos. Además de que permite efectuar un control sobre los iones y electrones para reducir la probabilidad de colisión con las moléculas del aire.





Las bombas de vacío utilizadas por la industria y los laboratorios permiten crear un ambiente de vacío para estas operaciones. La mayoría de los gases reaccionan con los sólidos provocando diversos efectos, por ejemplo la oxidación, que en muchos casos es necesaria evitarla. Para poder aislar el vacío es necesario crear un ambiente donde no existan efectos indeseables o eliminarlos completamente

Recordemos que las bombillas eléctricas (focos) cuentan con un vacío, en el remoto caso de permitir el paso del oxígeno al interior de la bombilla, se provocará la ignición del filamento de tungsteno.

Unidades equivalentes:

Un micrón =

1/1000	Torr
1/1000	mmHg
10 ⁻³	Torr
0.001	Torr
1	Militorr

Un torr =

1/760	Atmósferas
1	mmHg
1000	Micrones o Militorr
10 ³	Micrones o Militorr

Intervalos de vacío:

Vacío bajo	760 a 1 mmHg
Vacío medio	1 a 1x10 ⁻⁴ mmHg
Alto vacío	1x10 ⁻⁴ a 1x10 ⁻⁷ mmHg
Ultra alto vacío	1x10 ⁻⁷ a 1x10 ⁻¹⁰ mmHg

PRUEBA DE FUGA EN SISTEMAS AL VACÍO.

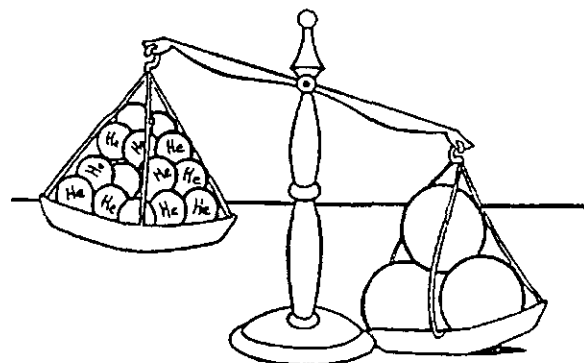
Introducción de un Gas Trazador en el Sistema.

Existen dos formas por las cuales puede ser usado un gas trazador. Una es para una sonda trazadora, para detectar y localizar una fuga rociando un gas trazador sobre la superficie externa del recipiente. La otra es para envolver el recipiente completo de prueba (o una porción en particular) en un baño de gas trazador, empleando un embalaje rígido o flexible para detectar y medir la velocidad de la pérdida. La calibración es complementada inyectando una cantidad conocida de un gas trazador dentro del sistema al vacío o conectando una fuga calibrada a ese sistema.

El helio es uno de los gases trazadores más comúnmente empleado por las siguientes razones:



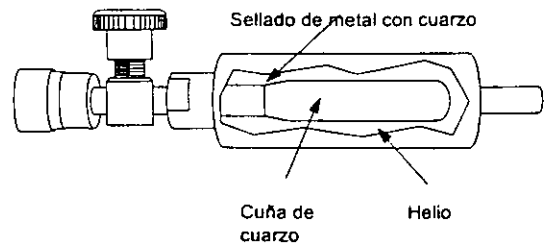
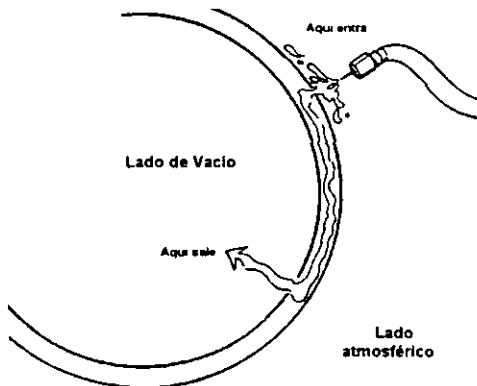
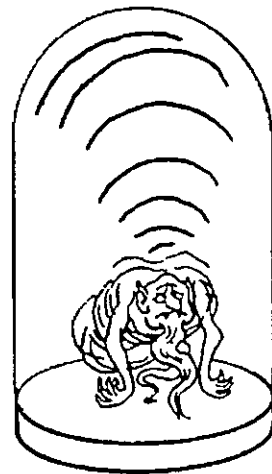
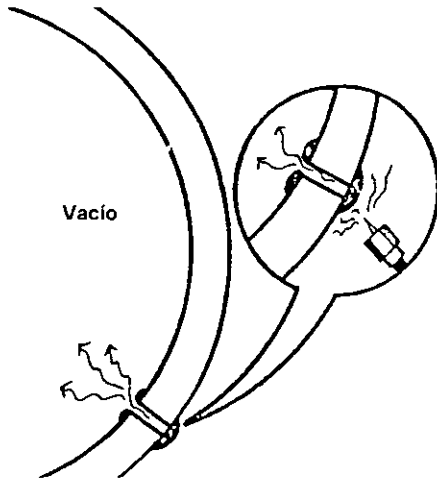
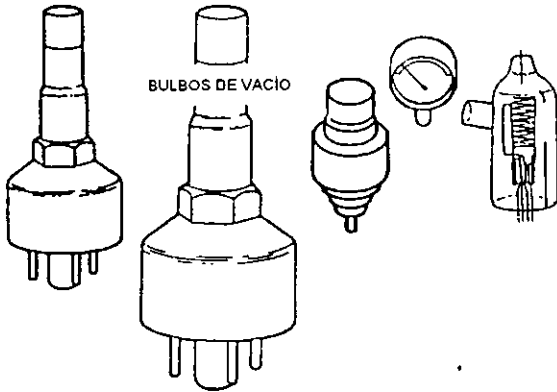
- Es básicamente inerte y seguro.
- Tiene un tamaño molecular pequeño y así puede fluir a través de fugas muy pequeñas.
- Su velocidad de difusión es alta.
- Es fácilmente detectado por un espectrómetro de masas.

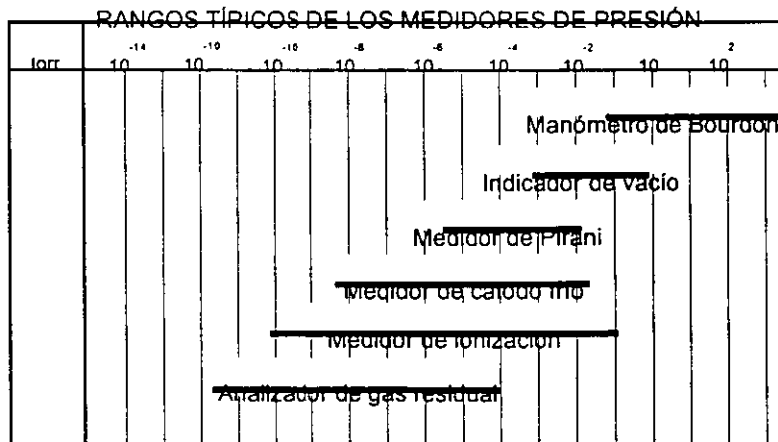
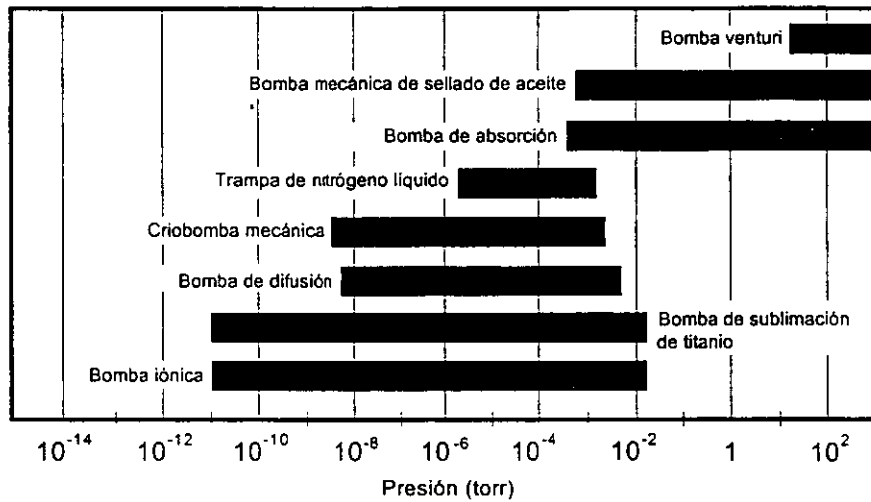
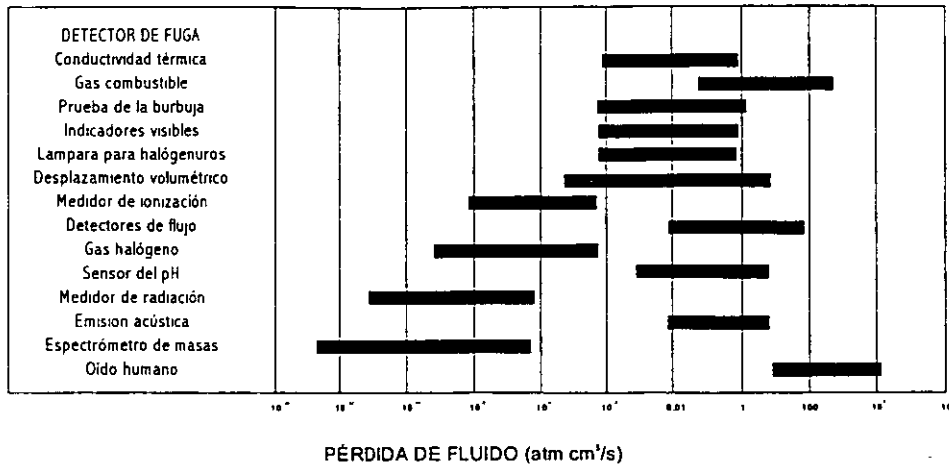


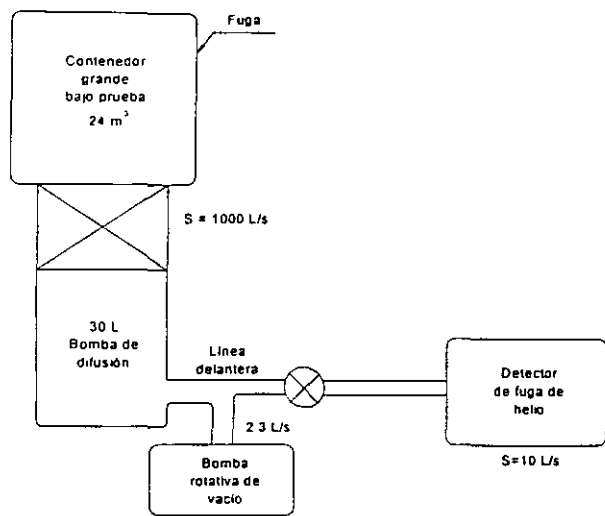
En la inspección de un sistema al vacío, aún las fugas más pequeñas son importantes debido a que tienen una

gran influencia en el último vacío que el sistema puede alcanzar. Por lo tanto, el método de prueba normalmente usado y el más sensible, es el helio como gas trazador en combinación con el espectrómetro de masas de helio.

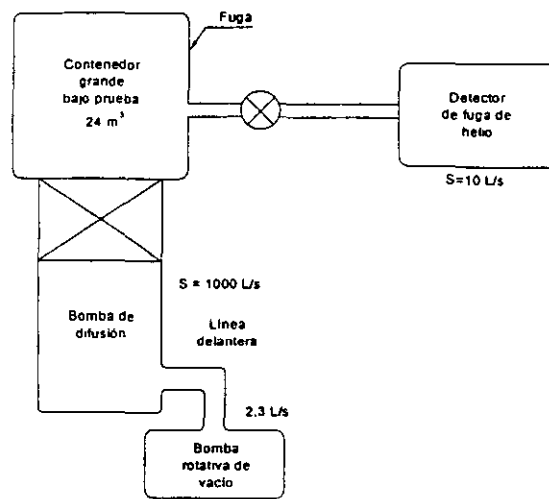
Antes de realizar inspecciones en la búsqueda de fugas, deben ser reconocidas y entendidas ciertas características de altos vacíos y sistemas al vacío. Estas características son discutidas brevemente a continuación.







Sistema correcto



Sistema incorrecto

UG-97 INSPECCIÓN DURANTE FABRICACIÓN.

- (a) Cuando las condiciones permiten acceso hacia el interior del recipiente, se hará una inspección tan completa como sea posible antes del cierre final.
- (b) El inspector hará una inspección externa del recipiente terminado el momento de la prueba hidrostática o prueba neumática final.
- (c) Todas las soldaduras, incluyendo las soldaduras de boquillas, de recipientes forrados de plomo en forma homogénea, se inspeccionarán visualmente en el interior antes de la aplicación del forro. Una inspección visual del forro se hará después de la terminación para asegurarse que no haya imperfecciones las cuales podrían empeorar la integridad del forro y sujetar el recipiente a efectos de corrosión.

UG-98 PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO PERMISIBLE.

- (a) La presión máxima de trabajo permisible para un recipiente, es la presión máxima que se puede permitir en la parte más alta del recipiente en su posición normal de operación a la temperatura de operación especificada para esa presión. Es el más bajo de los valores encontrados para la presión máxima de trabajo permisible para cualquiera de las partes esenciales del recipiente por los principios dados en (b) de abajo, y ajustado para cualquier diferencia en carga estática que pueda existir entre la parte considerada y la parte más alta del recipiente. (Vea 3-2).
- (b) La presión máxima de trabajo permisible para una parte de recipiente es la máxima presión interna o externa, incluyendo la carga estática sobre la misma, como se determina por las reglas y fórmulas de esta División, junto con el efecto de cualquier combinación de cargas puestas en lista en UG-22 que son probables que ocurran, para la temperatura designada de operación coincidente, excluyendo cualquier espesor de metal especificado como margen de corrosión. Vea UG-25.
- (c) La presión máxima de trabajo permisible puede ser determinada para más de una temperatura designada de operación, utilizando para cada temperatura el valor aplicable de esfuerzo permisible.

UG-99 PRUEBA HIDROSTÁTICA NORMAL.

- (a) Una prueba hidrostática será efectuada en todos los recipientes después de que:
 - (1) Toda fabricación que haya sido terminada, excepto para operaciones que no se pueden ejecutar antes de la prueba, tales como preparación de extremo de soldadura [vea U-1(e)(1)(a)], esmerilado para mejorar apariencias en el material base que no afecten el espesor requerido; y

- (2) Todas las inspecciones que hayan sido efectuadas excepto aquellas requeridas después de la prueba.

Los recipientes terminados, excepto aquellos probados de acuerdo con los requerimientos de UG-100 y UG-101, habrán pasado satisfactoriamente la prueba hidrostática prescrita en este párrafo.

- (b) Excepto como es permitido de otro modo en (a) de arriba y (k) de abajo, los recipientes proyectados para presión interna serán sujetos a una presión de prueba hidrostática la cual, en cada punto del recipiente sea al menos igual a $1 \frac{1}{2}$ veces la presión máxima de trabajo permisible³² que se va a marcar en el recipiente multiplicada por la relación más baja (para los materiales de los cuales está construido el recipiente) del valor de esfuerzo S para la temperatura de prueba en el recipiente respecto al valor de esfuerzo S para la temperatura de diseño (vea UG-21). Todas las cargas que puedan existir durante esta prueba deberán ser tomadas en consideración.
- (c) Una prueba hidrostática basada en una presión calculada puede ser empleada por acuerdo entre el usuario y el fabricante. La presión de prueba hidrostática en la parte más alta del recipiente será la mínima de las presiones de prueba calculadas por la multiplicación de la presión de prueba calculada como se define en 3-2 para cada elemento a presión por $1 \frac{1}{2}$ y reduciendo este valor por la carga hidrostática sobre de ese elemento. Cuando se usa esta presión, el inspector se reservará el derecho de requerir al fabricante o al proyectista que proporcione los cálculos utilizados para determinar la presión de prueba hidrostática para cualquier parte del recipiente.
- (d) Los requerimientos de (b) de arriba representan la presión de prueba hidrostática estándar mínima requerida por esta División. Los requerimientos de (c) de arriba representan una prueba especial basada en los cálculos. Cualquier valor intermedio de presión puede ser utilizado. Esta División no especifica un límite superior para presión de prueba hidrostática. Sin embargo, si se permite que la presión hidrostática exceda, ya sea intencionalmente o accidentalmente, del valor determinado como está prescrito en (c) de arriba hasta el grado de que el recipiente sea sujeto a deformación permanente visible, el inspector se reservará el derecho para rechazar el recipiente.
- (e) Las unidades de combinación [vea UG-19(a) y UG-21] serán probadas por uno de los métodos siguientes:
 - (1) Las cámaras a presión de unidades de combinación que han sido proyectadas para operar independientemente serán probadas hidrostáticamente como recipientes separados, éstos es, cada cámara se deberá probar sin presión en la cámara adyacente. Si los elementos comunes de una

³² La presión máxima de trabajo permisible puede asumirse igual a la presión de diseño cuando no se hacen los cálculos para determinar la presión máxima de trabajo permisible.

unidad de combinación son proyectados para una presión diferencial más grande que la presión máxima de trabajo permisible más alta que se va a marcar sobre de las cámaras adyacentes, la prueba hidrostática sujetará los elementos comunes hasta al menos su presión diferencial de diseño, corregida por temperatura como en (b) arriba, así como reunir los requerimientos de (b) o (c) de arriba para cada cámara independiente.

- (2) Cuando las cámaras a presión de unidades de combinación tienen sus elementos comunes proyectados para presión diferencial máxima que puede ocurrir posiblemente durante la puesta en marcha, la operación y el paro, y la presión diferencial es menor que la presión más alta en las cámaras adyacentes, los elementos comunes serán sujetos a una presión de al menos $1 \frac{1}{2}$ veces la presión diferencial que se va a marcar en la unidad, corregida por temperatura como en UG-99(b).

Enseguida de la prueba de los elementos comunes y de su inspección como se requiere en (g) de abajo, las cámaras adyacentes serán probadas hidrostáticamente en forma simultánea [vea (b) o (c) de arriba]. Se debe tener cuidado de limitar la presión diferencial entre las cámaras a la presión utilizada al probar los elementos comunes.

El estampado del recipiente y el Informe de Datos del recipiente debe describir los elementos comunes y su presión diferencial [vea UG-116 (j) y UG-120 (b)].

- (f) Los recipientes de pared sencilla proyectados para un vacío o un vacío parcial solamente, y las cámaras de los recipientes de cámaras múltiples proyectadas para un vacío o un vacío parcial solamente, serán sujetos a una prueba hidrostática interna o, cuando una prueba hidrostática no es practicable, a una prueba neumática de acuerdo con las provisiones de UG-100. Cualquier tipo de prueba debe ser realizada a una presión no menor que $1 \frac{1}{2}$ veces la diferencia entre la presión atmosférica normal y la presión absoluta interna de diseño mínima.
- (g) Enseguida de la aplicación de la presión de prueba hidrostática se realizará una inspección de todas las juntas y conexiones. Esta inspección se hará a una presión no menor que dos tercios de la presión de prueba hidrostática.

La inspección visual de juntas y conexiones para las fugas a dos tercios de la presión de prueba hidrostática requerida puede ser pasada por alto, siempre y cuando:

- (1) Se aplique adecuadamente una prueba de fuga de gas.
- (2) La sustitución de la prueba de fuga de gas será por el acuerdo alcanzado entre fabricante e inspector.

- (3) Todas las costuras y soldaduras que estén ocultas por el montaje, recibirán una inspección visual en la mano de obra antes del montaje.

- (4) El recipiente no contendrá una sustancia "letal".

- (h) Cualquier líquido no peligroso a cualquier temperatura puede ser utilizado para la prueba hidrostática, si su punto de ebullición es bajo. Los líquidos combustibles que tienen una temperatura de inflamación de menos de 110 °F, tales como destilados de petróleo, pueden ser utilizados sólo para prueba a temperatura cercana a la atmosférica. Se recomienda que la temperatura del metal durante la prueba hidrostática se mantenga al menos 30 °F arriba de la temperatura mínima de diseño del metal (vea UG-20) para minimizar el riesgo de fractura o agrietamiento. La presión de prueba no será aplicada hasta que el recipiente y su contenido estén aproximadamente a la misma temperatura. Si la temperatura de prueba excede de 120 °F, se recomienda que la inspección del recipiente requerida por (g) de arriba sea retrasada hasta que la temperatura es reducida hasta 120 °F ó menos.

ADVERTENCIA: Una pequeña válvula de alivio de líquido calibrada a $1 \frac{1}{3}$ veces de la presión de prueba es recomendada para el sistema de prueba de presión, mientras esté sujeto a prueba, o en el caso, de que un recipiente se caliente bien materialmente en ausencia de personal.

- (i) Se proveerán respiraderos en todos los puntos altos del recipiente en la posición por la cual se va a probar para purgar las posibles bolsas de aire, mientras que el recipiente se encuentra llenándose.
- (j) Antes de aplicar presión, el equipo de prueba será examinado para ver que es hermético y que todas las líneas de llenado de baja presión y otros accesorios que no deben ser sujetos a la presión de prueba han sido desconectadas.
- (k) La presión de prueba para recipientes con esmalte debe ser igual a, pero no necesita exceder de, la presión máxima de trabajo permisible que se va a marcar en el recipiente.
- (l) Los recipientes que van a ser galvanizados pueden ser probados a presión ya sea antes o después de la galvanización.
- (m) Los recipientes forrados de plomo homogéneamente pueden ser probados con presión antes o después de la terminación de todo el forrado con plomo, incluyendo la boquilla.

UG-100 PRUEBA NEUMÁTICA³³

- (a) Sujeta a las provisiones de UG-99 (a)(1) y (a)(2), una prueba neumática prescrita en este párrafo puede ser efectuada en vez de la prueba hidrostática estándar prescrita en UG-99 para recipientes.
- (1) Que no sean diseñados y/o soportados para que sean llenados con agua en forma segura:
 - (2) No fácilmente secos, que se van a utilizar en servicios en donde los vestigios de líquido de prueba no pueden ser tolerados y las partes de los cuales, donde sea posible, han sido probadas previamente por presión hidrostática a la presión requerida en UG-99.
- (b) Excepto para recipientes con esmalte, para los cuales la presión de prueba neumática será al menos igual, pero no necesaria exceder a la presión máxima de trabajo permisible que se va a marcar en el recipiente, la presión de prueba neumática será al menos igual a 1.25 veces la presión máxima de trabajo permisible que se va a estampar sobre el recipiente multiplicada por la relación más baja (para los materiales de los cuales es construido el recipiente) del valor de esfuerzo S para la temperatura de prueba del recipiente con respecto al valor de esfuerzo S para la temperatura de diseño, (vea UG-21). En ningún caso la presión de prueba neumática deberá exceder de 1.25 veces de la presión de prueba calculada como se define en 3-2.
- (c) La temperatura del metal durante la prueba neumática se mantendrá al menos 30°F arriba de la temperatura mínima de diseño del metal (vea UG-20) para minimizar el riesgo de fractura quebradiza.
- (d) La presión en el recipiente se aumentará gradualmente hasta no más de un medio de la presión de prueba. De allí en adelante, la presión de prueba será aumentada en etapas de aproximadamente un décimo de la presión de prueba hasta que se haya alcanzado la presión de prueba requerida. Luego la presión será reducida hasta un valor igual a cuatro quintos de la presión de prueba y sostenida por un tiempo suficiente para permitir la inspección del recipiente.

³³ En algunos casos es deseable probar los recipientes cuando están parcialmente llenos con líquidos. Para tales recipientes una prueba combinada hidrostática y neumática puede ser utilizada como una opción respecto a la prueba neumática de este párrafo, siempre y cuando el nivel del líquido sea fijado de modo que el esfuerzo máximo incluyendo el esfuerzo producido por la presión neumática en cualquier punto del recipiente (generalmente cerca del fondo) o en las fijaciones del soporte, no exceda de 1.5 veces el valor del esfuerzo permisible del material multiplicado por la eficiencia aplicable de junta. Después de fijar el nivel del líquido para reunir esta condición, la prueba es efectuada como se prescribe en (b) y en (c) de arriba.

El aire o el gas es peligroso al ser usado como un medio de prueba. Se recomienda, por tanto, que se tomen precauciones especiales cuando el aire o gas se utilice para propósitos de prueba.

La inspección visual del recipiente a cuatro quintos de la presión de prueba requerida puede ser pasada por alto, siempre y cuando:

- (1) Se aplique adecuadamente una prueba de fuga de gas.
- (2) La sustitución de la prueba de fuga de gas será por el acuerdo alcanzado entre fabricante e inspector.
- (3) Todas las costuras y soldaduras que estén ocultas por el montaje, recibirán una inspección visual en la mano de obra antes del montaje.
- (4) El recipiente no contendrá una sustancia "letal".

UG-101 PRUEBAS PARA ESTABLECER LA PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO PERMISIBLE

- (a) General.
- (1) La presión máxima de trabajo permisible para recipientes o partes de recipientes para los cuales la resistencia no se puede calcular con exactitud con una seguridad satisfactoria (vea U-2), será establecida de acuerdo con los requerimientos de este párrafo, utilizando uno de los procedimientos de prueba aplicable para el tipo de carga y de material empleados en la construcción.
 - (2) Se hace provisión en estas reglas para dos tipos de prueba para determinar la presión interna de trabajo máxima permisible:
 - a) Pruebas basadas en la cedencia de la parte que se va a probar. Estas pruebas se limitan a materiales con una relación de la resistencia de cedencia mínima especificada respecto de la resistencia última mínima especificada de 0.625 ó menos.
 - b) Las pruebas se basan en el rompimiento de la parte.
 - (3) Se le deberá dar seria consideración a la seguridad del personal de pruebas al realizar las pruebas de demostración y se deberá tener cuidado particular durante las pruebas de rompimiento de (m) de abajo.
- (b) Las pruebas de estos párrafos pueden ser utilizadas sólo para el propósito de establecer la presión máxima de trabajo permisible de aquellos elementos o de partes componentes para los cuales el espesor no se puede determinar por las reglas de diseño dadas en esta División. La presión máxima de trabajo permisible de todos los otros elementos o de partes componentes no será mayor que la determinada por medio de las reglas de diseño aplicables.
- (c) El recipiente o parte de recipiente para el cual la presión máxima de trabajo permisible va a ser establecida no habrá previamente sido sujeta a una presión mayor de 1 ½ veces

la presión máxima de trabajo permisible deseada o anticipada, ajustada para la temperatura de operación como está provisto en (k) de abajo.

- (d) Cuando la presión máxima de trabajo permisible de un recipiente o parte de recipiente ha sido establecida por una prueba de demostración, las partes duplicadas de los mismos materiales, mismo diseño y misma construcción no serán sujetas a prueba de demostración pero se les hará una prueba hidrostática de acuerdo con UG-99 o una prueba neumática de acuerdo con UG-100, excepto como es provisto de otro modo en UCI-101, y en UCD-101. Las dimensiones y el espesor mínimo de la estructura que se va a probar no variará materialmente de aquella que se va a usar realmente. Una parte geoméricamente similar puede ser calificada por una serie de pruebas que cubra el orden de tamaño completo de la parte a presión.
- (e) Las pruebas para establecer la presión máxima de trabajo permisible del recipiente o de partes de recipientes, serán presenciadas por, y serán aceptables para el inspector, como sea indicado por su firma en el informe del Fabricante de la prueba. El informe incluirá suficiente detalle para describir la prueba, la instrumentación y los métodos de calibración utilizados los resultados obtenidos. El informe deberá estar disponible para el inspector para cada aplicación [vea U-2(b) y UG-90(b)(2)].
- (f) Se permitirá una nueva prueba en un recipiente o parte del recipiente duplicado, si hay errores o irregularidades que sean obvios en los resultados de la prueba.
- (g) En las pruebas para determinación de esfuerzos predominante, se investigarán suficientes ubicaciones en el recipiente. Para asegurar que las mediciones son tomadas en las áreas más críticas. Como una verificación de que las mediciones se están tomando en las áreas más críticas, el inspector puede requerir que se aplique un recubrimiento quebradizo sobre todas las áreas probables de altas concentraciones de esfuerzos dentro de los procedimientos dados en (n) y (o) de abajo. Las superficies se limpiarán adecuadamente antes de que se aplique el recubrimiento con objeto de obtener adhesión satisfactoria. La técnica será adaptada para el material de recubrimiento.
- NOTA Las deformaciones serán medidas conforme ellas se apliquen a esfuerzos de membrana y a esfuerzos de flexión dentro del orden cubierto por UG-23(c).
- (h) Aplicación de presión. En los procedimientos dados en (1), (n) y (o) de abajo, La prueba de Medición de Desplazamiento, la presión hidrostática en el recipiente o parte de recipiente será aumentada gradualmente hasta que aproximadamente se alcanza la mitad de la presión de trabajo anticipada. De allí en adelante, la presión de prueba será aumentada en etapas de aproximadamente un décimo o menos de la presión máxima de trabajo permisible anticipada hasta que la presión por el procedimiento de prueba sea alcanzada. La presión se deberá mantener al

fin de cada incremento por el tiempo suficiente para permitir que se realicen las observaciones requeridas por el procedimiento de prueba, y será relevada hasta cero para permitir la determinación de cualquier deformación permanente después de cualquier incremento de presión que indique un aumento en deformación o desplazamiento por el incremento previo de presión igual.

- (i) Margen de Corrosión. Los procedimientos de prueba de este párrafo arrojan la presión máxima de trabajo permisible para el espesor de material probado. El espesor del recipiente a presión al que se la va hacer prueba de demostración debe ser con respecto al espesor corroído. Cuando esto no es práctico y cuando el espesor que se prueba incluye espesor extraordinario como es; provisto en UG-25, la presión máxima de trabajo permisible a la cual se permitirá que opere el recipiente será determinada al multiplicar la presión máxima de trabajo permisible obtenida de la prueba por la relación:

$$\frac{(t - c)^n}{t^n}$$

En donde:

- t = espesor nominal del material en el punto más débil (in).
 c = margen agregado para corrosión, erosión y abrasión (in).
 n = 1 para superficies curvas tales como partes de cilindros, esferas, conos con ángulo $\alpha \leq 60^\circ$; para superficies con tirantes similares a aquellas descritas en UW-19 (b) y (c); y para partes cuyo esfuerzo por causa de flexión es $\leq 67\%$ del esfuerzo total.
 n = 2 para superficies planas o casi planas, tales como costados planos, bridas, o conos con ángulo $\alpha > 60^\circ$ (excepto para superficies con tirantes señaladas arriba) a menos que se pueda demostrar que el esfuerzo por causa de flexión en la ubicación limitante es $< 67\%$ del esfuerzo total.
- (j) Determinación de la resistencia de cedencia y de la resistencia de tensión.

- (1) Para pruebas de demostración basadas en la cedencia, (1), (n) u (o) de bajo, la resistencia de cedencia (o el punto de cedencia p aquellos materiales que exhiben ese tipo de comportamiento para ceder indicado por una porción de "arredillado agudo" del diagrama de esfuerzo-deformación) del material en la parte probada será determinada de acuerdo con el método prescrito en la especificación de material aplicable y como se describe en E-8 de ASTM, Ensayo de Tensión de Materiales Metálicos. Para pruebas de demostración basadas en la acción de romper, [véase (m) de abajo] se determinará similarmente la resistencia de tensión en vez de la resistencia de cedencia del material en la parte probada

- (2) La resistencia de cedencia o de tensión así determinada será el promedio a partir de tres o cuatro probetas cortadas de la parte probada después de que se termina la prueba. Las probetas serán cortadas de una ubicación en donde el esfuerzo durante la prueba se haya excedido a la resistencia de cedencia. Las probetas no deben ser cortadas a flama pues esto podría afectar la resistencia del material. Si la resistencia de cedencia o de tensión no es determinada mediante probetas que provienen de la parte a presión probada, se dan métodos alternos en (i), (m), (n) y (o) abajo, para evaluación de resultados de prueba de demostración para establecer la presión máxima de trabajo permisible.
- (3) Cuando hay un exceso de la misma pieza de material trabajado mecánicamente después de la fundición esté disponible y se le ha dado el tratamiento térmico de relevado de esfuerzo que a la parte a presión, las probetas pueden ser cortadas mediante corte de flama o de algún otro método que comprenda calor suficiente para afectar las propiedades de la probeta.
- (k) Presión máxima de trabajo permisible a temperaturas más elevadas. La presión máxima de trabajo permisible para recipientes y partes de recipientes que van a operar a temperaturas a las cuales el valor de esfuerzo permisible del material es menor que a la temperatura de prueba se determinará por la fórmula siguiente:

$$P_0 = P_1 \left(\frac{S}{S_2} \right)$$

En donde:

- P_0 = presión máxima de trabajo permisible a la temperatura de diseño (lb/in²).
- P_1 = presión máxima de trabajo permisible a la temperatura de prueba (lb/in²).
- S = valor del esfuerzo máximo permisible a la temperatura de diseño, como es dado en la Subsección C (lb/in²).
- S_2 = valor del esfuerzo máximo permisible a la temperatura de prueba como es dado en la Subsección C (lb/in²).

- (l) Procedimiento de prueba de recubrimiento quebradizo.
- (1) Sujeto a las limitaciones de (a)(2)(a) de arriba, este procedimiento puede ser utilizado sólo para recipientes y partes de recipientes sometidos a presión interna, construidos de materiales que tienen un punto de cedencia definitivamente determinable. Las partes componentes que requieren pruebas de demostración deberán ser recubiertas con un recubrimiento quebradizo de acuerdo con (g) de arriba. Las partes a las que se está haciendo prueba de demostración serán examinadas entre

incrementos de presión para señales de cedencia evidenciado por la formación de escamas del recubrimiento quebradizo o por la aparición de líneas de deformación. La aplicación de presión será detenida a la primera señal de cedencia, o si se desea, a alguna presión inferior.

- (2) La presión máxima de trabajo permisible P en libras por pulgada cuadrada a la temperatura de prueba para partes probadas según este párrafo se calculará por una de las fórmulas siguientes.
- (a) Si la resistencia de cedencia promedio se determina con (j) de arriba.

$$P = 0.5 H \left(\frac{S_y}{S_{y,avg}} \right)$$

- (b) Para eliminar la necesidad de cortar probetas de tensión y determinar la resistencia real de cedencia del material sometido a prueba, se puede emplear una de las fórmulas siguientes para determinar la presión máxima de trabajo permisible.

- (1) Para acero al carbono que satisfice una especificación aceptable de Código, con una resistencia de tensión mínima especificada no mayor de 70,000 lb/in².

$$P = 0.5 H \left(\frac{S_u}{S_u + 5000} \right)$$

- (2) Para cualquier material aceptable listado en esta División.

$$P = 0.4 H$$

En donde:

- H = presión de prueba hidrostática a la cual la prueba fue detenida (lb/in²).
- S_y = resistencia de cedencia mínima especificada a la temperatura del local (lb/in²).
- $S_{y,avg}$ = resistencia de cedencia real promedio de probetas a la temperatura del local (lb/in²).
- S_u = resistencia de tensión mínima especificada a la temperatura del local (lb/in²).

Cuando se usa la fórmula de (1)(2)(b)(1) ó (1)(2)(b)(2) de arriba, el material de la parte a presión no deberá haber tenido trabajo en frío apreciable o de otro tratamiento que tienda a elevar la resistencia de cedencia arriba de la normal.

La presión máxima de trabajo permisible a otras temperaturas se determinará como es provisto en (k) de arriba.

(m) Procedimiento de prueba de rompimiento.

(1) Este procedimiento se puede usar para recipientes o partes de recipientes sujetos a presión interna contruidos de cualquier material permitido para ser utilizado según las reglas de esta División. La presión máxima de trabajo permisible de cualquier parte componente a la que se hace prueba de demostración por este método será establecida por una prueba hidrostática para falla por ruptura de una muestra de tamaño completo de esa parte a presión. La presión hidrostática a la cual ocurra la ruptura será determinada.

(2) La presión máxima de trabajo permisible P en libras por pulgada cuadrada a la temperatura de prueba para partes probadas según este párrafo será calculada por una de las fórmulas siguientes:

(a) Partes contruidas de materiales diferente de materiales fundidos:

$$P = \frac{B}{5} \times \frac{S_{\mu} E}{S_{\mu \text{ avg}}} \quad \text{o} \quad P = \frac{B}{5} \times \frac{S_{\mu} E}{S_{\mu r}}$$

(b) Partes contruidas de hierro fundido [vea UCI-101]; partes contruidas de hierro dúctil fundido. [Vea UCD-101];

(c) Partes contruidas de materiales fundidos, excepto hierro fundido y hierro dúctil:

$$P = \frac{B \cdot f}{5} \times \frac{S_{\mu} E}{S_{\mu \text{ avg}}} \quad \text{o} \quad P = \frac{B \cdot f}{5} \times \frac{S_{\mu} E}{S_{\mu r}}$$

En donde

- B = presión de prueba de rompimiento (lb/in²).
- E = eficiencia de junta soldada, si se usa (vea Tabla de UW-12).
- f = factor de calidad de fundición como se especifica en UG-24.
- S_{μ} = resistencia de tensión mínima especificada a la temperatura del local (lb/in²)
- $S_{\mu \text{ avg}}$ = resistencia de tensión real promedio de especimenes de prueba a la temperatura del local (lb/in²).
- $S_{\mu r}$ = resistencia de tensión máxima de orden de especificación a la temperatura del local (lb/in²).

La presión máxima de trabajo permisible a otras temperaturas se determinará como es provisto en (k) de arriba.

(n) Procedimiento de prueba de medición de deformación unitaria.

(1) Sujeto a las limitaciones de (a)(2)(a) de arriba, este procedimiento puede ser utilizado para recipientes o partes de recipientes sometidos a presión interna,

contruidos de cualquier material permitido para ser empleado según las reglas de esta División. Las deformaciones unitarias serán medidas en la dirección del esfuerzo máximo en las partes más altamente esforzadas [vea (g) de arriba] por medio de medidores de deformación unitaria de cualquier tipo capaz de indicar deformaciones unitarias con incrementos hasta de 0.00005 in/in (0.005 %). Se recomienda que la longitud del medidor sea tal que la deformación unitaria máxima esperada dentro de la longitud del medidor no exceda de la deformación promedio esperada dentro de la longitud de medidor por más que 10%. Los medidores de deformación unitaria y el método de fijación deberán demostrar por prueba ser seguros y que los resultados documentados para un orden de valores de deformación unitaria, que sea al menos 50% más alto que lo esperado, al ser utilizados con el acabado superficial del material y la configuración que se está considerando, [vea (e) de arriba].

(2) Se aplicará la presión como es provisto en (h) de arriba. Después de que cada incremento de presión ha sido aplicado, se tomarán y se registrarán lecturas de los medidores de deformación unitaria y de la presión hidrostática. La presión será liberada y la deformación unitaria permanente en cada medidor será determinada después de cada incremento de presión que indique un aumento en deformación unitaria para este incremento sobre del incremento previo de presión igual. Sólo se requiere una aplicación de cada incremento de presión.

(3) Se graficarán dos curvas de deformación unitaria contra presión de prueba por cada línea de medidor conforme progresa la prueba, una que muestre la deformación unitaria con respecto a la presión y una que muestre la deformación unitaria permanente cuando la presión es retirada. La prueba puede ser discontinuada cuando la presión de prueba alcanza el valor, el cual, por la fórmula, justificará la presión de trabajo deseada, pero no deberá exceder de la presión a la cual los puntos graficados para la línea de medidor más altamente deformado alcance el valor dado abajo, para el material empleado:

- (a) 0.2 % de deformación unitaria permanente para aleaciones con base de aluminio y aleaciones con base de níquel;
- (b) 0.2 % de la deformación unitaria permanente para aceros de aleación de bajo carbono y de aceros de alta aleación;
- (c) 0.5 % de deformación sometido a presión para aleaciones con base de cobre.

(4) La presión máxima de trabajo permisible en libras por pulgada cuadrada a la temperatura de prueba

para partes probadas según este párrafo será calculada por una de las fórmulas siguientes:

- (a) Si la resistencia de cedencia promedio es determinada de acuerdo con (j) de arriba,

$$P = 0.5H \left(\frac{S_y}{S_{y,avg}} \right)$$

- (b) Si la resistencia de cedencia real promedio no es determinada por probetas,

$$P = 0.4H$$

En donde:

H = presión de prueba hidrostática a la cual la prueba fue detenida de acuerdo con (n)(3) de arriba (lb/in²).

S_y = resistencia de cedencia mínima especificada a la temperatura del local (lb/in²).

S_{y,avg} = resistencia de cedencia promedio real de probetas a la temperatura del local (lb/in²).

La presión máxima de trabajo permisible a otras temperaturas será determinada como es provisto en (k) de arriba

- (o) Procedimiento de prueba de medición de desplazamiento.

(1) Sujeto a las limitaciones de (a)(2)(a) de arriba, este procedimiento puede ser utilizado sólo para recipientes y partes de recipientes sujetos a presión interna, contruidos de materiales que tienen un punto de cedencia definitivamente determinable. El desplazamiento se deberá medir en las partes más altamente esforzadas [vea (g) de arriba] por medio de dispositivos de medición de cualquier tipo, capaces de medir hasta 0.001 in. El desplazamiento puede ser medido entre dos puntos de referencia diametralmente opuestos en una estructura simétrica, o entre un punto de referencia y un punto fijo de base. La presión será aplicada como es provisto en (h) de arriba.

(2) Después de que se ha aplicado cada incremento de presión, se tomarán y se registrarán, lecturas del desplazamiento y de la presión de prueba hidrostática. La presión será retirada y determinado el desplazamiento permanente después de cualquier incremento de presión que indique un aumento de desplazamiento medio para este incremento sobre el incremento de presión igual. Sólo se requiere una aplicación en cada incremento. Se debe tener cuidado de asegurar que las lecturas representen sólo desplazamiento de las partes en las cuales se están haciendo mediciones y no incluyan algún resbalamiento de los dispositivos medidores o algún

movimiento de los puntos fijos de base o de la parte a presión como un todo.

- (3) Se graficarán dos curvas de desplazamiento contra presión de prueba para cada punto de referencia conforme la prueba progresa, una que muestre el desplazamiento con respecto a la presión y una que muestre el desplazamiento permanente cuando la presión es removida. La aplicación de presión será detenida cuando es evidente que la curva a través de los puntos que representan desplazamiento con respecto a la presión se ha desviado de una línea recta.

- (4) La presión coincidente con el límite de proporcionalidad del material será determinada con señalar la presión a la cual la curva, que representa desplazamiento con respecto a la presión, se desvía de una línea recta. La presión en el límite de proporcionalidad puede ser verificada por la curva de desplazamiento permanente comienza a aumentar normalmente con los aumentos adicionales en la presión. La deformación permanente al comienzo de la curva que resulta por la igualación de esfuerzos e irregularidades en el material puede ser despreciada.

- (5) La presión máxima de trabajo permisible P en libras por pulgada cuadrada a la temperatura de prueba para partes probadas según este párrafo será calculada por una de las fórmulas siguientes.

- (a) Si la resistencia de cedencia promedio es determinada de acuerdo con (j) de arriba;

$$P = 0.5H \left(\frac{S_y}{S_{y,avg}} \right)$$

- (b) Para eliminar la necesidad de cortar probetas de tensión y determinar la resistencia de cedencia real del material sometido a prueba, se puede emplear una de las siguientes formulas para determinar la presión máxima de trabajo permisible.

- (1) Para acero al carbono, que satisface una especificación aceptable de Código, con una resistencia de tensión mínima especificada no mayor de 70,000 lb/in²,

$$P = 0.5H \left(\frac{S_u}{S_u + 5000} \right)$$

- (2) Para cualquier material aceptable puesto en lista en esta División,

$$P = 0.4H$$

En donde:

- H = presión de prueba hidrostática coincidente con el límite de proporcionalidad del elemento más débil de la parte componente probada (lb/in²).
- S_y = resistencia de cedencia mínima especificada a la temperatura del local (lb/in²).
- $S_{y\text{ avg}}$ = resistencia de cedencia promedio real, de probetas de prueba a la temperatura del local (lb/in²).
- S_{yt} = resistencia de tensión mínima especificada a la temperatura del local (lb/in²).

Cuando se usa la fórmula de (o)(5)(b)(1) ó de (o)(5)(b)(2) de arriba el material de la parte a presión no deberá haber tenido trabajo apreciable en frío o de otro tratamiento que tendiera a elevar la resistencia de cedencia arriba de la normal. La presión máxima de trabajo permisible a otras temperaturas será determinada como es provisto en (k) de arriba.

- (p) Procedimiento para recipientes que tienen cámaras de forma especial sujeta a hundimiento.
- (1) Las cámaras a presión de recipientes, las porciones de las cuales tienen una forma diferente de aquella de un cilindro circular completo o de tapa formada, y también las chaquetas de recipientes cilíndricos que se extienden sobre sólo una porción de la circunferencia, que no están totalmente soportadas con tirantes como se requiere en UG-28(i), deberán resistir sin excesiva deformación una prueba hidrostática no menor que tres veces la presión máxima de trabajo permisible deseada.
- (2) La presión máxima de trabajo permisible a otras temperaturas será determinada como es provisto en (k) de arriba.

UG-102 MEDIDORES DE PRUEBAS.

- (a) Un medidor indicador se conectará directamente al recipiente. Si el medidor indicador no está fácilmente visible para el operario que regula la presión aplicada, un medidor indicador adicional será provisto en donde sea visible para el operario de principio a fin de la duración de la prueba. Para recipientes grandes, se recomienda que sea utilizado un medidor registrador además de los medidores indicadores.
- (b) Los medidores indicadores de presión de carátula empleados en las pruebas deberán estar graduados para un alcance del doble de la presión de prueba máxima destinada, pero en ningún caso el alcance será de menos de 1 ½ ni de más de 4 veces de esa presión. Los medidores de presión de lectura digital que tienen un alcance más amplio de presión pueden ser empleados, siempre y cuando las lecturas den el mismo o mayor grado

de exactitud que el obtenido con medidores de presión de carátula.

- (c) Todos los medidores serán calibrados contra un probador normal de pesos muertos o un medidor maestro calibrado. Los medidores se volverán a calibrar en cualquier ocasión que haya una razón para creer que ellos tengan un rango de error.



Designation: E 1003-84 (Reapproved 1990)

Standard Method for Hydrostatic Leak Testing¹

This standard is issued under the fixed designation E 1003; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This method covers the testing of components for leaks by pressurizing them inside with a liquid.

1.2 This method can be used on piping, valves, and containers with welded or fitted sections which can be sealed at their ends and which are designed for internal pressure.

1.3 Basic procedures are described based on the type of inspection used. These procedures should be limited to finding leakage indications of 0.01 mPa·m³/s (10⁻⁴ atm·cm³/s) or larger.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.5 *This standard does not purport to address the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Document

- 2.1 *ASTM Standard:*
E 425 Terminology Relating to Leak Testing²

3. Summary of Method

3.1 Hydrostatic testing requires that a component be completely filled with a liquid, such as water. Pressure is slowly applied to the liquid until the required pressure is reached. This pressure is held for the required time at which point the component is inspected visually to locate leaks or the pressure on the gage is recorded to determine the components total leakage.

3.2 The two basic procedures are described together with methods for improving their sensitivity.

3.2.1 *Pressure Drop Indication*—This procedure is used primarily to measure total system leakage.

3.2.2 *Visual Inspection for Leakage*—This procedure is intended primarily to locate leaks.

3.3 Ultrasonic pretesting for gross leaks is described.

4. Significance and Use

4.1 This method is useful for quality control testing and field inspection of piping systems, pipelines, valves, and containers that are expected to retain liquids. It is not sensitive enough for leak testing when toxic or explosive gas is expected to be retained under pressure.

5. Interferences

5.1 The interior and exterior welds and joints where leaks are often found must be free of oil, grease, flux, slag or other contaminants that might temporarily block or mask leakage. New systems should be tested prior to painting, where practical.

5.2 Hydrostatic testing should not be performed before a leak test using air or a tracer gas. The liquid test media may clog small leaks causing later tests to be inaccurate.

5.3 Test liquid must be equal or above atmosphere temperature or droplets will form on the outside. The minimum temperature of the liquid should be 16°C (61°F).

5.4 If the container to be tested has parts made of stainless steel, nickel, or chromium alloys, the liquid or any additives used must have a sulfur and halogen content of less than 50 ppm of each. If water is used as a test fluid it should be deionized.

5.5 To avoid brittle fracture, the test pressure must not be applied until the metal and the test fluid are approximately the same temperature. The metal should be a minimum of 16°C (61°F) prior to the application of pressure.

5.6 If a test liquid other than water is used, the liquid's flash point should be 93°C (200°F) or above.

5.7 If plastic parts are used in the test container, the fluid should not promote stress cracking or softening on the plastic.

5.8 When the test container has carbon steel components, a rust inhibitor should be used.

6. Apparatus

6.1 *Pressure Gage*—The gage must be able to withstand normal test pressures and be accurate enough to record small pressure drops. Pressure gages should be calibrated before each test. The gage must be accurate to within 1% of full scale. The gage must read at least 1.5× but not more than 4× the maximum test pressure to be used. (See Terminology E 425 for a description of terms.)

6.2 *Pressure Relief Valve.*

6.3 *Pressure Alarm.*

6.4 *Emergency Pressure Shut-Off Valve.*

6.5 *Trapped Air Vent.*

6.6 *Pressure Pump.*

6.7 *Liquid Test Media.*

6.8 *Pressure Hoses and Fittings.*

6.9 *Protection Chamber for High-Pressure Tests.*

7. General Procedures

7.1 *Openings:*

7.1.1 Seal all openings using plugs or covers that can withstand the test pressure and can be completely removed after the test.

¹ This method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.08 on Leak Testing.

Current edition approved May 25, 1994. Published August 1994.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

E 1003

7.1.2 The test fluid inlet should be located on the bottom of the test object with the trapped air vent at the highest point.

7.1.3 Components rated at pressures below the test pressure must be isolated.

7.2 *Gages*—One or more test gages must be connected to the system. If more than one gage is used, one may be a recording gage. At least one gage which is used for acceptance of the test shall be calibrated within 30 days prior to use. One indicating gage must be easily visible to the operator controlling the pressure throughout the pressurizing and testing cycle.

7.3 Pre-Test Inspection:

7.3.1 Before pressurizing is begun, inspect the outside of the test object to verify that it is dry and all welds and connectors are exposed if a visual inspection is to be conducted.

7.3.2 Securely brace critical areas that may not be able to withstand the weight.

7.4 *Pressurizing*—Gradually increase the pressure in the system to 50 % of test pressure and make an initial check for leakage. Thereafter slowly increase the pressure to the final test pressure. The test pressure usually is between 75 % and 150 % of the operating design pressure.

7.5 Leak Test:

7.5.1 At the completion of test pressure holding time, examine the system for leakage. Examination for leakage shall be made of all accessible joints and connections, attachment welds where practical, and weep holes for paddings and attachments. Also inspect the area around inaccessible leakage sites.

7.5.2 The inspector shall circle all accessible leaks found on the equipment using a nondeleterious marker. The magnitude of leak shall be described in terms of: damp or moist area, drops per minute or steady stream.

7.6 *Depressurizing*—After inspection release the pressure slowly. The air vents need to be opened during draining to admit air and prevent collapsing of the test system.

8. Pressure Drop Method

8.1 Pressurize the system in accordance with Section 6.

8.2 After reaching full pressure check the system to make sure all trapped air has been removed.

8.3 Disconnect the pressure pump and allow the pressure in the system to stabilize for a period of 10 min or 5 % of the test time whichever is longer.

8.4 After stabilization, record the exact pressure and monitor during the test period.

8.5 Sensitivity:

8.5.1 Sensitivity for this type of test using water as the test fluid is normally $1 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-2} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$).

8.5.2 By lengthening the test period, results can often be improved to $0.1 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-3} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$).

8.5.3 Sensitivity increases to $0.1 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-3} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$) can be achieved when the test fluid's resistance to flow is decreased by use of a water additive and an alternative test fluid, such as a penetrant.

9. Visual Inspection Method

9.1 Pressurize the system in accordance with the procedures in Section 6.

9.2 After reaching test pressure, inspect the outside surfaces for leakage.

9.2.1 Test pressure should be held for a minimum of 6 min/cm (1.5 min/in.) of wall thickness. As a minimum the test pressure should be held for 10 min and the maximum time should be limited to 2 h.

9.2.2 If the system is not intended to operate under steady pressure, pulse the pressure in the system one or more times after each complete inspection cycle by dropping the pressure to 50 % of final test pressure and bringing it back to test pressure.

9.2.3 If the outside of the system is covered by insulation which is not removed, increase the test time by a factor of 10, to a maximum of 4 h.

9.3 Sensitivity:

9.3.1 Normal sensitivity for visual inspection using deionized or distilled water as the test fluid is $1 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-2} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$).

9.3.2 Sensitivity can be improved to $0.1 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-3} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$) by using products to enhance leakage visibility as follows:

9.3.2.1 Water developer applied to outside which changes color in contact with moisture.

9.3.2.2 Visible dye tracer added to the test water.

9.3.2.3 Fluorescent dye tracer added to the test water.

9.3.3 Sensitivity can be improved to $0.1 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-3} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$) by lowering the resistance to test liquid flow at the interface between the fluid and the leak by using a water additive and an alternate test fluid, such as a penetrant.

9.3.4 By combining a visibility enhancer and low resistance to flow, sensitivity of the test can be improved to $0.01 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-4} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$).

10. Pretest to Locate Gross Leaks

10.1 This test can be applied to the system prior to hydrostatic testing to locate leaks as large as $1 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-2} \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$) and as a precautionary procedure to save time.

10.2 Ultrasonic Test:

10.2.1 Use air, nitrogen, or other nonflammable gas as a test medium.

10.2.2 Pressurize the system with the gas gradually to 50 % of design pressure. A minimum pressure is 170 kPa (25 psi) for this test.

10.2.3 Inspect all joints and connections and welds with an acoustic leak detector capable of hearing airborne audio frequencies in the range of 45 000 Hz.

11. Report

11.1 The following information should be recorded at the time of the measurements and included in the report:

11.1.1 Date tested.

11.1.2 Test conditions (temperature, pressure, test time).

11.1.3 Leak locations.


11.1.4 Leakage rate.

11.1.5 Test fluid.

11.1.6 Signature of tester.

12. Precision and Bias

12.1 This procedure is believed to represent the best available method. No round-robin tests have been made to

 E 1003

determine the precision and reliability of this method. The bias of the test is dependent on the operational procedure used and the training and qualification of the operators. No statement is made about the precision or bias of the

procedure since the result merely states whether there is conformance to the criteria for success specified in the method.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

NORMA ASTM E 1003
"PRUEBA DE FUGA APLICANDO
PRUEBA HIDROSTÁTICA"

1. Alcance.
 - 1.1. Este método cubre el ensayo de componentes por prueba de fugas presurizándolos desde el interior con un líquido.
 - 1.2. Este método se puede utilizar en tuberías, válvulas y contenedores con secciones soldadas o bridadas, las cuales se puedan sellar en sus extremos y las cuales estén diseñadas para operar bajo presión interna.
 - 1.3. Se describen procedimientos básicos basados en el tipo de inspección usado. Tales procedimientos deben ser limitados para encontrar indicaciones de fugas de 0.01 mPa m³/s (10⁻⁴ atm cm³/s) o mayores.
 - 1.4. En este estándar, los valores se establecen en unidades del SI
 - 1.5. Este estándar puede involucrar material, operaciones y equipo peligroso. Este estándar no soporta problemas asociados a todos los aspectos de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de cualquiera que utilice este estándar consultar y establecer prácticas apropiadas de seguridad, determinar la aplicación de regulaciones y limitaciones previas a su uso.
2. Referencias.
 - 2.1. ASTM Estándar E425 "Definiciones relacionados con la prueba de fuga" (ASTM Standard: E425 "Definitions of terms relating to leak testing").
3. Resumen del método.
 - 3.1. La prueba hidrostática requiere que un componente se llene completamente con un líquido, tal como agua. La presión es suavemente aplicada al líquido hasta que se alcanza una presión requerida. Esta presión es mantenida por un tiempo requerido durante el cual el componente es inspeccionado visualmente para localizar fugas o la presión en el medidor de presión se registra para determinar la fuga total del componente.
 - 3.2. Se describen dos procedimientos básicos junto con los métodos para mejorar su sensibilidad.
 - 3.2.1. Indicación de caída de presión. Este método se usa principalmente para medir la fuga total del sistema.
 - 3.2.2. Inspección visual de fugas. La intención de este procedimiento es principalmente localizar fugas.
 - 3.3. También se describe la pre-prueba ultrasónica para determinar fugas gruesas.
4. Significado y uso.
 - 4.1. Este método se usa para inspecciones de control de calidad y para inspecciones de campo de sistemas de tuberías, tuberías, válvulas y contenedores que se espera que contengan líquidos. No es suficientemente sensible para prueba de fugas cuando se espera retener bajo presión gases tóxicos o explosivos.
5. Interferencias.
 - 5.1. El interior y el exterior de las soldaduras y juntas, donde frecuentemente se encuentran fugas, debe estar libres de flujo, grasa, escoria, y otros contaminantes que taponen temporalmente enmascaren o bloqueen las fugas. Los sistemas nuevos se deben probar antes de ser pintados, siempre que sea práctico.
 - 5.2. La prueba hidrostática no se debe llevar a cabo antes que una prueba de fugas que utilice aire o un gas trazador. El líquido de prueba medio puede taponar fugas pequeñas lo que ocasiona que la prueba de fugas posterior sea inexacta.
 - 5.3. La temperatura del líquido de prueba debe ser igual o cercana a la temperatura ambiente. La temperatura mínima del líquido deberá ser de 16°C (61°F).
 - 5.4. Si el contenedor a ser probado tiene partes de acero inoxidable, níquel o aleaciones de cromo, el líquido y cualquier aditivo usado deben tener un contenido de sulfuros y halógenos menor a 50 ppm de cada uno*. Si se usa agua como fluido de prueba, esta deberá ser desionizada.
 - 5.5. Para prevenir fractura frágil, la presión de prueba no debe ser aplicada hasta que el metal y el fluido de prueba tengan aproximadamente la misma temperatura. El metal deberá tener una temperatura mínima de 16°C antes de aplicarse la presión.
 - 5.6. Si se usa un líquido de prueba que no sea agua, su punto de ignición debe ser de 93°C o mayor.
 - 5.7. Si se usan partes plásticas en el contenedor que se va a probar, el fluido no debe promover fractura por esfuerzo o ablandamiento del plástico.
 - 5.8. Cuando el contenedor bajo prueba tiene partes de acero al carbón, se debe usar un inhibidor de corrosión y oxidación.
6. Aparatos.
 - 6.1. Medidor de presión.
 - 6.2. Válvula relevadora de presión.
 - 6.3. Alarma de presión.
 - 6.4. Válvula de emergencia para cortar la presión.
 - 6.5. Sistema de purga (para aire atrapado)
 - 6.6. Bomba de presión.
 - 6.7. Medio líquido de prueba.

- 6.8. Mangueras para alta presión y conexiones.
- 6.9. Cámara de protección para pruebas a alta presión.
7. Procedimiento general.
- 7.1. Aberturas
- 7.1.1 Selle todas las aberturas usando tapones o cubiertas que soporten la presión de prueba y que se puedan remover completamente después de la prueba.
- 7.1.2 La entrada del fluido de prueba debe estar localizada en la parte baja del objeto de prueba con el aire atrapado en el punto mas alto
- 7.1.3 Los componentes que operen a presiones por debajo de la presión de prueba deben ser aislados.
- 7.2 Medidores Uno o más medidores de prueba se deben conectar al sistema. Si se usa más de un medidor, uno de ellos puede ser un medidor-registrador. Al menos un medidor, debe estar calibrado dentro de los 30 días previos a su uso para determinar la aceptación de la prueba. Un medidor indicador debe ser fácilmente visible por el operador que controle la presión de entrada durante el ciclo de prueba.
- 7.3. Inspección de la pre-prueba.
- 7.3.1 Antes de iniciar la presurización, inspeccione el lado exterior del objeto de prueba para verificar que está seco y que todas las soldaduras y conectores estén expuestos, si existe duda será necesario llevar a cabo una inspección visual
- 7.3.2 Asegure las áreas críticas que no sean capaces de soportar el peso.
- 7.4. Presurización. Gradualmente incremente la presión en el sistema al 50% de la presión y haga una revisión para detectar fugas. Posteriormente incremente suavemente la presión hasta alcanzar la presión final de prueba. La presión de prueba es usualmente entre 75% y 150% de la presión de operación para la que fue diseñado el objeto
- 7.5 Prueba de fugas.
- 7.5.1 Una vez que se ha mantenido la presión durante el tiempo establecido, examine el sistema para determinar la presencia de fugas. Este examen se debe hacer en todas las juntas accesibles y conexiones, uniones soldadas donde sea práctico. También inspeccione el área alrededor de sitios inaccesibles.
- 7.5.2 El inspector deberá encerrar en un círculo todas las fugas accesibles que sean encontradas utilizando un marcador indeleble. La magnitud de la fuga deberá describirse en términos de: área húmeda o mojada, gotas por minuto o chorro constante
- 7.6. Despresurización. Después de la inspección libere la presión suavemente. Es necesario que las válvulas de purga sean abiertas durante el drenado para admitir aire y prevenir que el sistema bajo prueba colapse.
8. Método de caída de presión.
- 8.1 Presurice el sistema de acuerdo con lo indicado en la sección 6.
- 8.2. Después de que se ha alcanzado la presión completa, revise el sistema para asegurarse que el aire atrapado ha sido removido.
- 8.3. Desconecte la bomba de presión y permita que la presión en el sistema se establezca por un periodo de 10 minutos o del 5% del periodo de prueba, lo que resulte mayor.
- 8.4. Después de la estabilización, registre la presión exacta y monitorea durante el periodo de prueba.
- 8.5. Sensibilidad.
- 8.5.1. La sensibilidad para este tipo de prueba utilizando agua como fluido de prueba es normalmente $1 \text{ mPa m}^3/\text{s}$ ($10^{-2} \text{ atm cm}^3/\text{s}$).
- 8.5.2. Alargando el periodo de prueba, el resultado frecuentemente puede mejorarse a $0.1 \text{ mPa m}^3/\text{s}$ ($10^{-3} \text{ atm cm}^3/\text{s}$).
- 8.5.3. El incremento en sensibilidad a $0.1 \text{ mPa m}^3/\text{s}$ ($10^{-3} \text{ atm cm}^3/\text{s}$) se puede alcanzar cuando la resistencia al flujo del fluido de prueba se disminuye usando un aditivo para el agua y un fluido de prueba alternativo, tal como un penetrante.
9. Método de inspección visual.
- 9.1 Presurice el sistema de acuerdo con el procedimiento descrito en la sección 6.
- 9.2. Después de haber alcanzado la presión de prueba, inspeccione la superficie exterior en busca de fugas.
- 9.2.1. La presión de prueba se debe mantener por un mínimo de 6 min/cm (1.5 min/in) del espesor de la pared. Como mínimo, la presión de prueba se debe mantener durante 10 minutos y el tiempo máximo debe estar limitado a 2 horas.
- 9.2.2. Si no se desea operar el sistema bajo presión constante, pulse la presión en el sistema una o más veces después de completar cada ciclo de inspección visual. Esto se hace bajando la presión al 50% de la presión final de prueba y regresándola a la presión de prueba.
- 9.2.3. Si el exterior del sistema está cubierto por una capa aislante el cuál no es removido,

incremente el tiempo de prueba por un factor de 10, hasta un máximo de 4 horas.

9.3. Sensibilidad.

9.3.1. La sensibilidad normal para inspección visual usando agua desionizada o destilada como fluido de prueba es de 1 mPa m³/s (10⁻² atm cm³/s).

9.3.2. La sensibilidad puede ser mejorada hasta a 0.1 mPa m³/s (10⁻³ atm cm³/s) utilizando productos para resaltar la visibilidad de las fugas como se indica a continuación:

9.3.2.1. Revelador acuoso aplicado al exterior, el cuál cambia de color al contacto con la humedad.

9.3.2.2. Tintas visibles trazadoras agregadas al agua de prueba.

9.3.3. La sensibilidad puede ser mejorada a 0.1 mPa m³/s (10⁻³ atm cm³/s) disminuyendo la resistencia del líquido de prueba en la interfase entre el fluido y la fuga utilizando un aditivo para el agua y un fluido de prueba alternativo, tal como un penetrante.

9.3.4. Al combinar un medio que resalte la visibilidad y un medio que disminuya la resistencia al flujo del medio de prueba, se puede mejorar la sensibilidad del método a 0.01 mPa m³/s (10⁻⁴ atm cm³/s).

10. Pre-prueba para localizar fugas gruesas.

10.1 Esta prueba puede ser aplicada al sistema previamente a la prueba hidrostática para localizar fugas gruesas tan grandes como 1 mPa m³/s (10⁻² atm cm³/s) y como un procedimiento preventivo para ahorrar tiempo.

10.2. Prueba ultrasónica

10.2.1. Use aire, nitrógeno u otro gas no inflamable como medio de prueba.

10.2.2. Presurice gradualmente el sistema hasta el 50% de la presión de diseño La presión mínima para esta prueba es de 170 kPa (25 psi).

10.2.3. Inspeccione todas las juntas, conexiones y soldaduras con un detector acústico de fugas capaz de detectar frecuencias en el rango de 45000 Hz

11. Reporte.

11.1. La siguiente información se debe registrar al tiempo que se hacen las mediciones y se debe incluir en el reporte:

11.1.1. Fecha de prueba.

11.1.2. Condiciones de prueba (temperatura, presión, periodo de prueba).

11.1.3. Localización de las fugas.

11.1.4. Magnitud de las fugas.

11.1.5. Fluido de prueba.

11.1.6. Firma de quien llevó a cabo la prueba.

12. Precisión y desviación.

12.1. Se cree que este procedimiento representa el mejor método disponible. No se han hecho correlaciones para determinar la precisión y veracidad de este método. La desviación de la prueba depende del procedimiento operacional usado y del entrenamiento y calificación de los operadores. No se hace ninguna declaración acerca de la precisión y desviación del procedimiento.

Nota:

- El no cumplir con este requisito, traería como consecuencia provocar en el acero inoxidable, fisuras mediante corrosión por esfuerzo y entonces sería la causa principal de que fallen los aceros austeníticos inoxidables de la serie 300 en procesos en los que interviene un ambiente con cloro.
- Las corrosiones intergranular y por esfuerzo tienen un efecto muy poderoso sobre las propiedades mecánicas del metal. La reducción en resistencia se debe no a la cantidad del metal eliminado, sino a la concentración de esfuerzos producida por las fisuras finas.

SELECCIÓN DEL MÉTODO DE PRUEBA DE FUGA

Alcance.

Esta guía tiene como objetivo orientar al usuario para la correcta selección del método de prueba de fuga, de acuerdo con la sensibilidad requerida y reduciendo al mínimo el costo de la prueba. Se recomienda entender la figura "Guía Árbol para la Selección del Método de Prueba de Fuga".

El tipo de artículo o sistema de prueba se relacionan con el orden creciente de la sensibilidad de la prueba, incluyendo el método para ubicar o medir la fuga.

Selección del sistema.

La selección correcta del método de prueba de fuga optimiza la sensibilidad, el costo y la confiabilidad.

Es necesario tener un acceso para colocar los diferentes accesorios de los instrumentos, de acuerdo con la sensibilidad del sistema de prueba.

Los diversos métodos de prueba deben examinarse individualmente y con ello, determinar la conveniencia de su uso, en ciertos sistemas particulares. Solamente entonces se puede elegir el método apropiado. Por ejemplo, los gases radioactivos no son empleados como gases trazadores para la ubicación de fugas, debido a los peligros de seguridad que asocian su uso. Sin embargo, tales gases son empleados en el equipo de detección de fugas, cuando éstos pueden agregarse o quitarse sin riesgo desde una cámara de prueba de la industria nuclear.

Es importante distinguir entre la sensibilidad asociada con el instrumento utilizado y la sensibilidad seguida del sistema de prueba para la utilización de dicho instrumento. Esta sensibilidad influye en la sensibilidad que puede ser obtenida en una prueba específica. El rango de temperaturas o presiones, así como los tipos de fluidos involucran e influyen ambos en la elección del instrumento del sistema de prueba.

La sensibilidad de varios sistemas de prueba difiere. Por ejemplo, una prueba de fuga utilizando un detector con espectrometro de masas normalmente tiene una sensibilidad de 10^{-10} atm cm^3/s , aún cuando el procedimiento involucra la medición de un valor constante del gas de fuga. La sensibilidad de la prueba puede incrementarse bajo condiciones especiales en aproximadamente 10^{-14} atm cm^3/s y con ello permitir la

integración de la fuga, la cual puede ocurrir en un volumen conocido antes de su medición. En el primer caso, la sensibilidad de la prueba es igual a la sensibilidad del instrumento; considerando en el segundo caso, la sensibilidad de la prueba es 10^4 veces mayor que la del instrumento. Si el sistema de prueba utiliza un espectrómetro masas que opera en el modo detector de sonda, la sensibilidad de la prueba puede ser 10^2 a 10^4 menor que la del espectrómetro de masas.

Medición de la fuga.

En general, los procedimientos para la medición de fuga implican la cobertura de la totalidad de la región sospechada con el gas trazador, mientras que se debe de establecerse un diferencial de presión a través del sistema o por la presurización de este gas o por la evacuación del lado opuesto. La presencia y concentración del gas trazador se determina o se mide sobre el lado de menor presión del sistema.

Un método dinámico de prueba puede ejecutarse en el tiempo más corto. Mientras que los métodos estáticos aumentan la sensibilidad de la prueba y por ende se incrementa el tiempo de respuesta.

Los equipos o dispositivos que son objeto para la medición de su filtración y caen en dos categorías:

- 1) *Unidades abiertas:* Accesible por ambos lados, y
- 2) *Unidades que se sellan:* Esta categoría se aplica comúnmente a los artículos fabricados en series, tales como tubos de gas y vacío, transistores, circuitos integrados, teléfonos celulares, unidades de artillería e instrumentos herméticamente sellados.

Unidades de simple sellado o abiertas.

Es factible utilizar cualquier evacuación o presurización de un lado de la unidad o por ambos lados de la unidad en el desarrollo de la prueba de fuga.

- a) *Sistemas que fugan al vacío:* En un sistema evacuado, el incremento de la sensibilidad de la prueba seguirá este orden: métodos de medición de flujo, medición de presión absoluta, diodo detector de halógeno (ion alcalino) y espectrómetro masas.

El primer acceso en las unidades de prueba, reside en que puedan evacuarse, para determinar si es posible introducir un trazador inherente al sistema. En el caso de ser posible, se puede utilizar un gas.

Cuando un lado es evacuado, la fuga del trazador alcanzará rápidamente al detector, en el caso de no

existir ninguna estratificación. Sin embargo, la evacuación no siempre permite la más alta sensibilidad y con ello obtener una medición confiable. Si la región ha evacuar es extremadamente grande, se requerirá de una bomba de alta velocidad y la fuga del gas tenderá a propiciar trayectorias de partículas que fluyan constantemente, sin la turbulencia del paso por el puerto de la bomba y con la cantidad del trazador para alcanzar al detector. En el caso de que se reduzca considerablemente el gas trazador, dependerá de la ubicación del detector en la región evacuada.

Cuando no hay rastros inherentes es ventajoso, el próximo enfoque puede determinar si hay un valor en el sistema que puede utilizarse en la medición de fuga. Este valor podría ser un valor de ionización en algunas circunstancias afortunadas, por ejemplo en el sistema de un espectrómetro de masas como parte de una instrumentación analítica. La consideración puede darse no solamente a los medidores que normalmente se usan para la detección de fugas, y no solamente a cualquier equipo de detección de concentración de gas, que puede ser usado en la medición de fugas, en el caso de que se encontrare disponible.

Cuando no hay rastros inherentes en un sistema, un método estándar de prueba puede elegirse, por lo que se tomará como referencia la sensibilidad deseada.

- b) *Sistemas que fugan hacia la atmósfera:* En la selección de un método de prueba en un sistema que se filtra hacia la presión atmosférica, puede hacerse de la misma forma en que se sugiere para los sistemas evacuados.

En la ausencia de un trazador inherente o de un medidor, uno de los métodos normales para medir las fugas debe ser contrario a la presión atmosférica y con ello estar en posibilidad de elegir el mejor método de prueba. Este se encuentra en el orden creciente de sensibilidad: medición de flujo, medición de presión, prueba de burbuja (inmersión), espectrómetro de masas, analizador infrarrojo, diodo detector de halógeno (ion alcalino) y trazador radiactivo

Nota:

El método de espectrómetro de masas no puede ser el método más sensible bajo esta situación, donde la medición se encuentra con respecto a la presión atmosférica

- 1) *Unidades de múltiple sellado:* Los métodos aplicables de esta prueba en orden creciente de sensibilidad son: prueba de burbuja, medición de flujo, medición de presión, analizador infrarrojo, diodo detector de halógeno (ion alcalino), espectrómetro de masas y trazador radiactivo. Los últimos cuatro métodos son aplicables en el desarrollo de la prueba de contrapresión.
- 2) *Contrapresión o bombeo:* Es el procedimiento usual para aplicar un gas trazador. Si la fuga en la unidad es excepcionalmente grande, cualquier gas trazador en la unidad escapará rápidamente cuando se somete a la reducción de presión. Consecuentemente, pruebas de alta sensibilidad serán inefectivas cuando el gas trazador haya escapado del sistema. Es por ello, que se recomienda que todas las partes a ser probadas después de este tipo de prueba (alta sensibilidad), tienen que ser conducidas por medio de un procedimiento escrito.

Pruebas para fugas grandes involucran procedimientos relativamente insensibles. Si se emplean líquidos, las fugas pequeñas pueden ser fácilmente tapadas y por ello, se requiere utilizar de otro método de prueba que cuente con una sensibilidad más alta.

- 3) *Unidad de prueba evacuada.* Con unidades evacuadas, la elección de un procedimiento de prueba es relativamente simple. Si el sistema incluye un medidor, éste puede utilizarse para demostrar la presencia de la contaminación hecha por el gas trazador. El procedimiento de contrapresión puede ser usado en la ausencia de un medidor interno. Las unidades pueden pasarse a través de una prueba de burbujas y posteriormente por una prueba de contrapresión, para que de esta forma se localicen las fugas excepcionalmente grandes. Si la unidad puede abrirse a la atmósfera, es conveniente el uso de un procedimiento de medición de flujo.

Unidades selladas con aire: El procedimiento de prueba para unidades selladas con aire puede dividirse en dos categorías. La prueba de baja sensibilidad o prueba de burbujas, medición de flujo o medición de presión. La prueba de alta sensibilidad a través de la técnica de contrapresión.

Unidades selladas con gas trazador. Éstas pueden ser probadas mediante la fuga de un gas del lado exterior de la unidad y utilizando para ello, procedimientos estáticos y dinámicos. Generalmente, la presión parcial del gas trazador en el interior de la unidad es más alta que si el gas trazador se fuerza en una unidad evacuada por una fuga pequeña, tal como se hace en procedimiento de contrapresión. Así, el pre-sellado con un gas trazador conduce a un procedimiento más sensible y por ende, se involucran menos pasos. Como en el caso de los otros métodos, una inspección final debe ser conducida utilizando un procedimiento de prueba de burbujas que nos permita ubicar fugas excepcionalmente grandes.

Localización de la fuga.

La localización de la fuga puede ser subdividida en el modo de sonda trazador y en el modo de sonda detector. El procedimiento de la sonda trazador es cuando el sistema es evacuado y el gas trazador viene desde una sonda ubicada desde el exterior del sistema. El modo de sonda detector es utilizado cuando el sistema se presuriza con un gas trazador y la prueba es llevada a cabo a presión atmosférica.

Comúnmente, el modo de sonda trazador es más rápido, debido a que el gas trazador alcanza al detector en una concentración más alta, a pesar de cualquier fenómeno que pueda influir en el detector de sonda y el gas trazador sea diluido altamente por los gases atmosféricos. En el modo de sonda detector, puede usarse una alta presión diferencial que debe pasar a través del sistema, y por lo tanto fugas de una conductancia menor son encontradas.

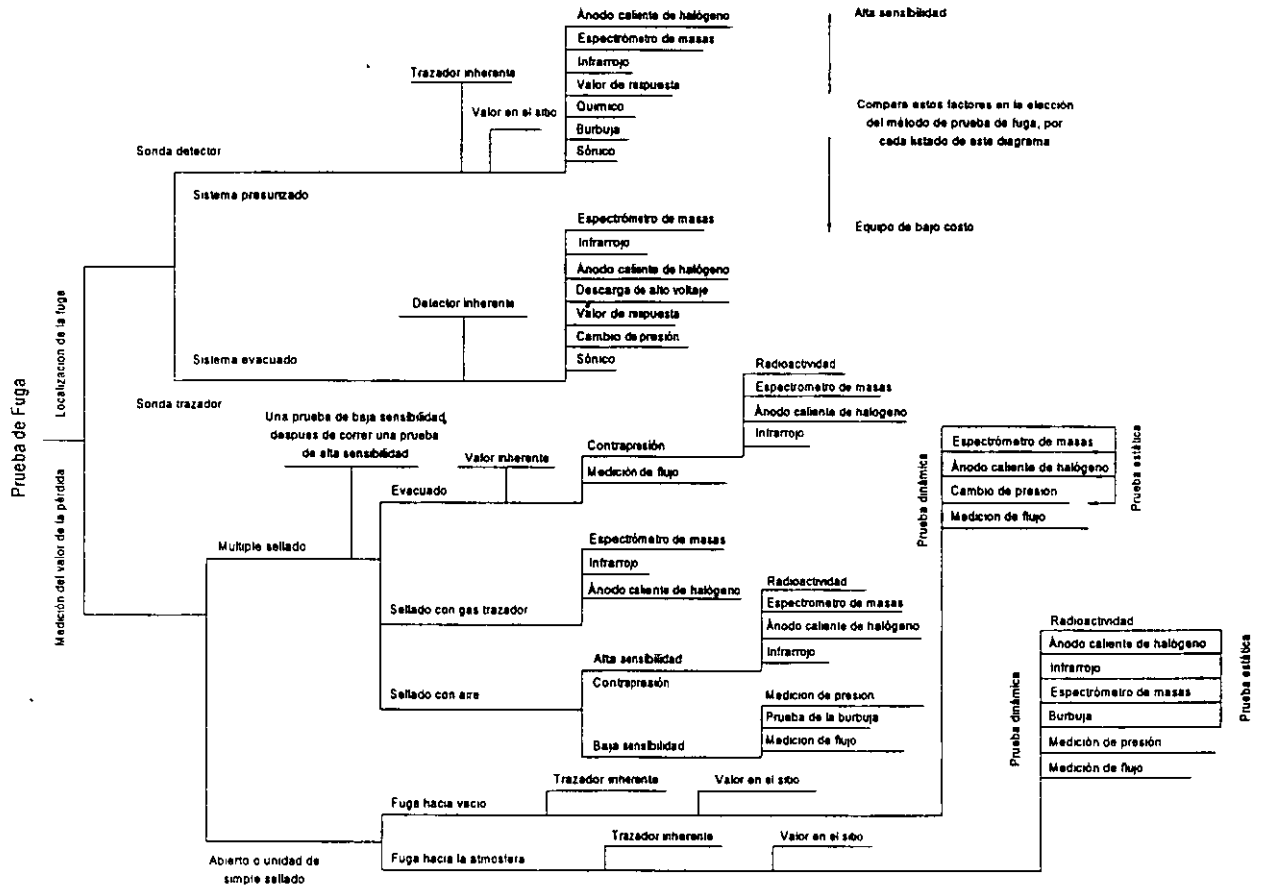
El uso de cualquier modo, es importante para localizar las fugas ya probadas y con ello, comprobar la presencia de dichas fugas

- a) **La prueba de sistemas evacuados (Modo de Sonda Trazador)** En la localización de fugas en estos sistemas, primero se debe determinar si hay un detector inherente al sistema. Este puede ser un medidor de presión; preferentemente un medidor que sea específico para algún tipo de gas trazador, el cual pueda utilizarse. Si tal medidor no existe, los métodos a usar en el orden creciente de la sensibilidad son sonido, medidor de respuesta al cambio de presión, descarga de alto voltaje, diodo detector de halogeno (ion alcalino), detector infrarrojo y espectrómetro de masas

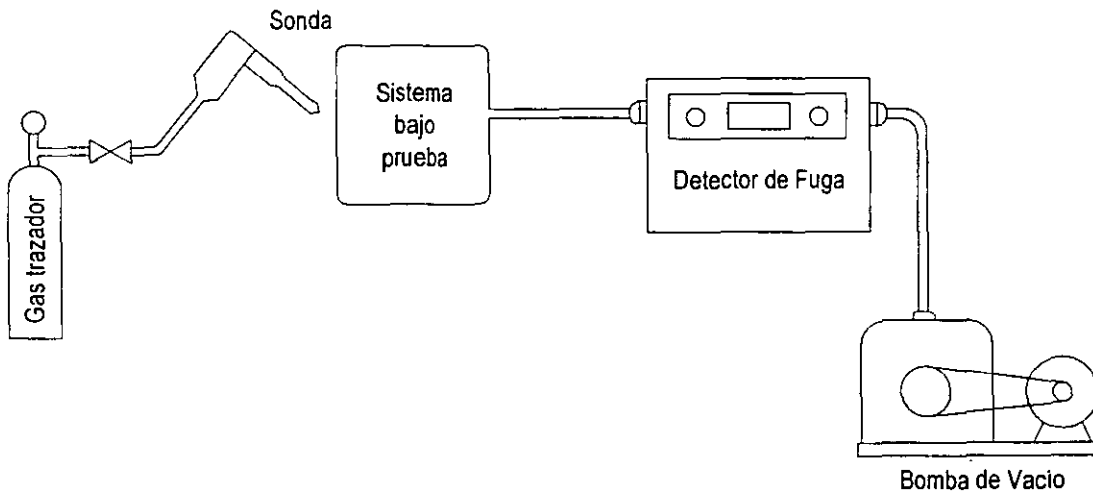
- b) **Prueba a presión atmosférica.** (Modo de Sonda Detector) En la prueba de un sistema que fuga hacia la atmósfera, la primera consideración es que si el fluido de prueba puede ser utilizado como trazador y por ello es imprescindible que no sea diluido por los gases atmosféricos. No obstante que el método sónico o la prueba de burbujas son los más comunes. Sin embargo, el trazador puede ser de una cierta composición y que también probará satisfactoriamente su uso con otros métodos de prueba.

El incremento la sensibilidad u orden de estos métodos para ubicar fugas son: Prueba química, medidor de respuesta, analizador de gas infrarrojo, espectrómetro de masas y diodo detector de halógeno (ion alcalino).

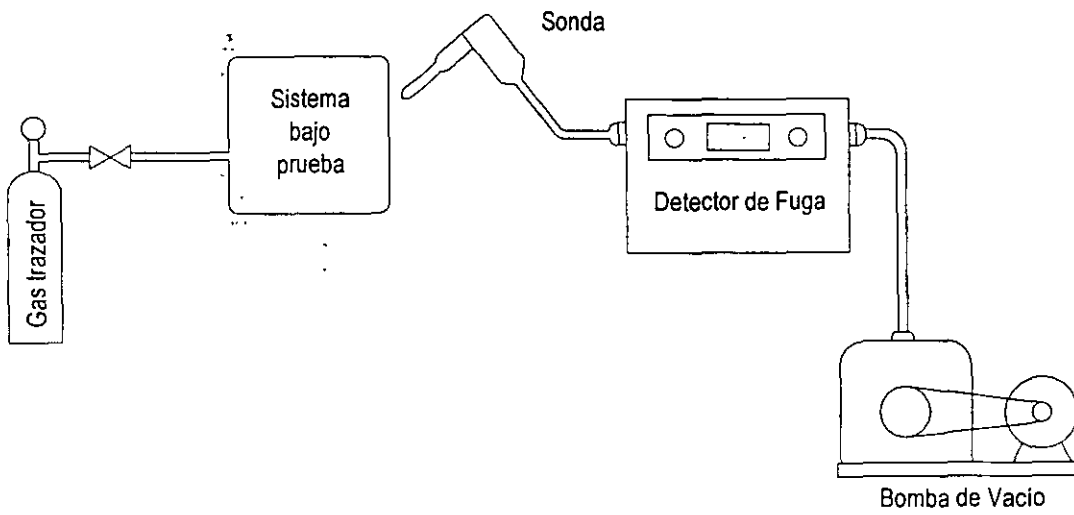
Cuando se usan líquidos penetrantes, la presión de prueba debe ser atmosférica por dentro y fuera. Ambas superficies tienen que ser accesibles. Las fugas se detectan visualmente por la coloración o por la fluorescencia del penetrante.



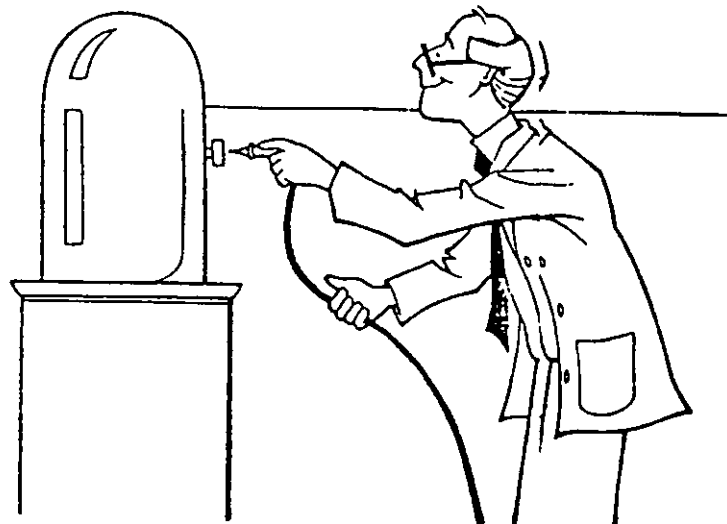
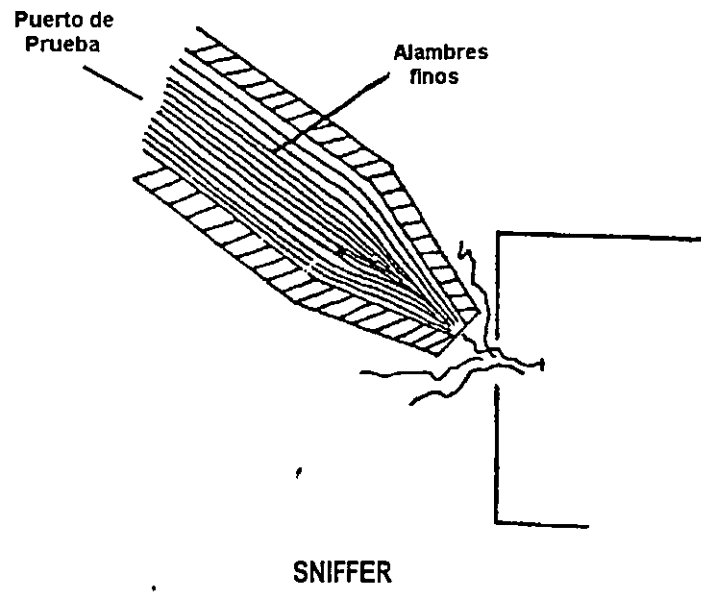
Guía árbol para la selección del método de prueba de fuga

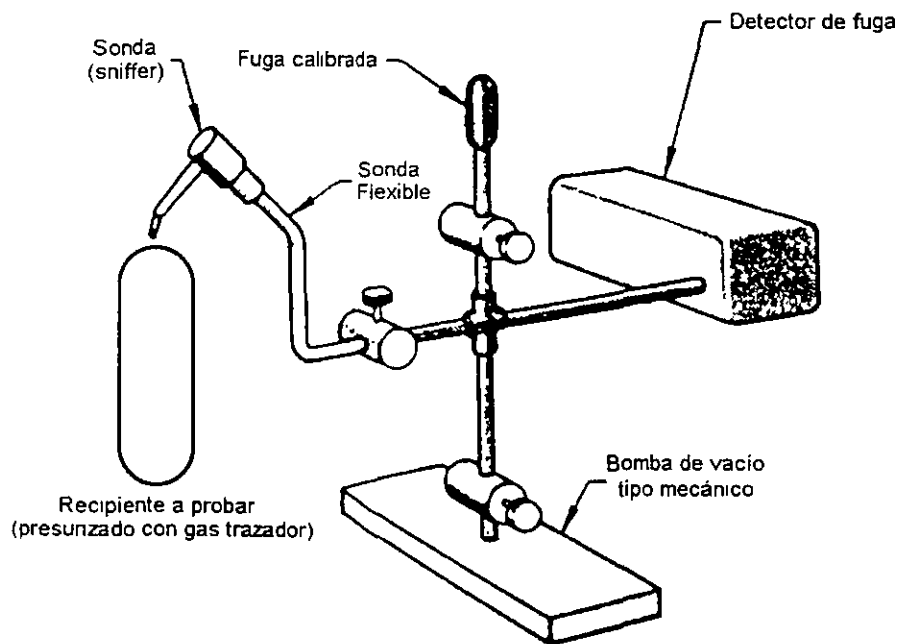
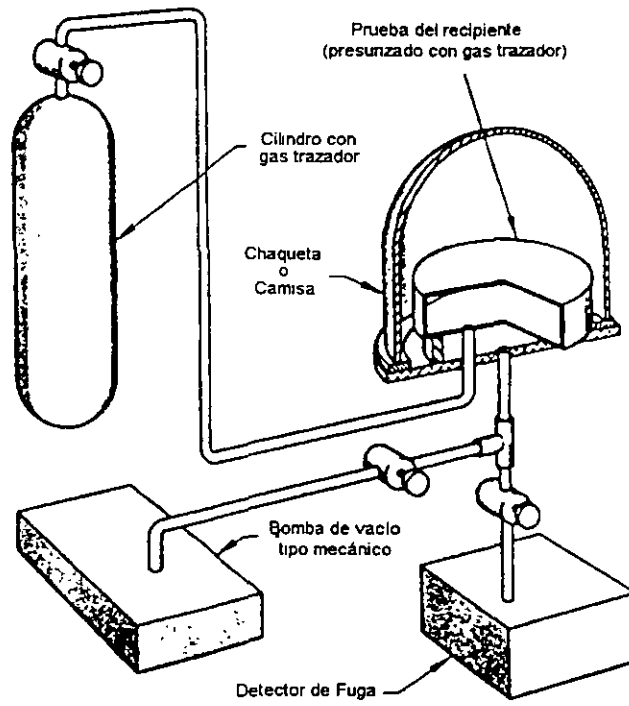


TRAZADOR INHERENTE



DETECTOR INHERENTE





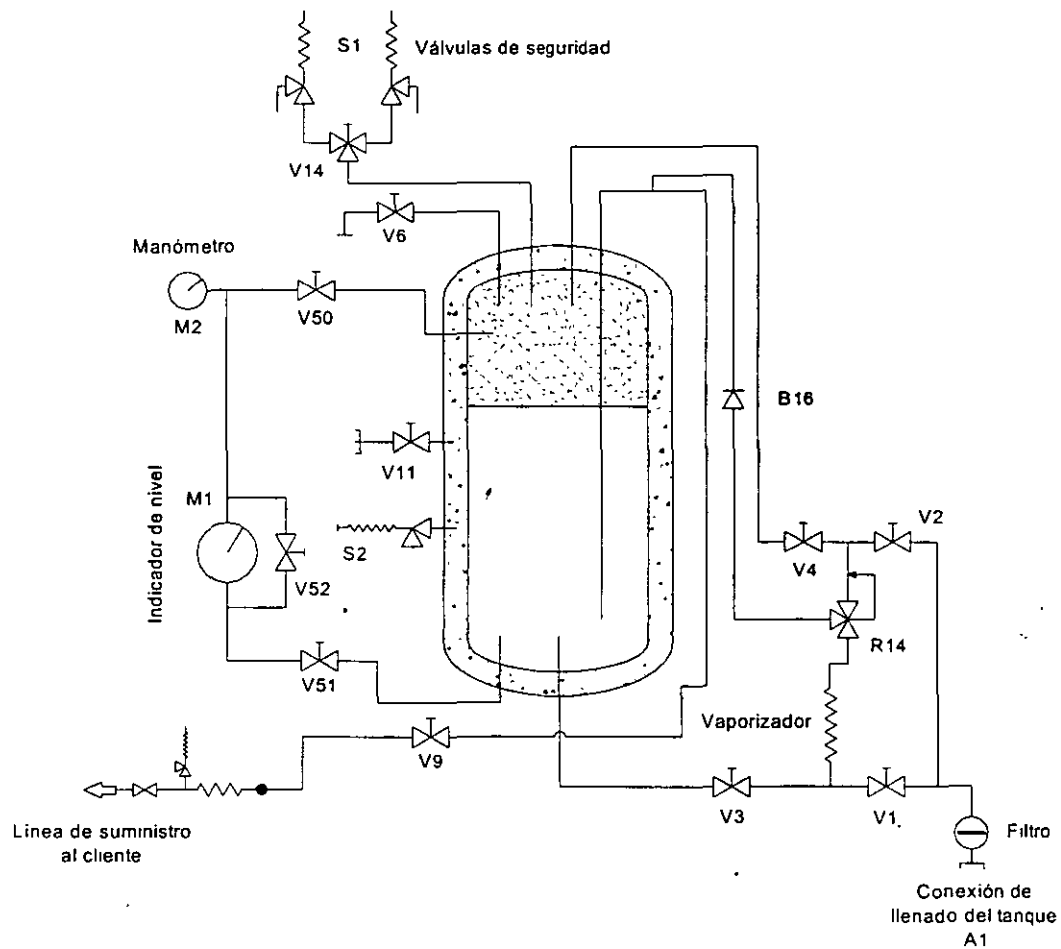


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN TANQUE CRIOGÉNICO AGA CRYO

Notaciones:

A1	Conexión de llenado de tanque.	V6	Válvula de nivel máximo.
M1	Indicador del contenido del tanque.	V9	Válvula de consumo de gas (línea de suministro al cliente).
M2	Manómetro del tanque.	V11	Válvula de control de vacío.
F1	Filtro	V14	Válvula de tres vías.
S1	Dos válvulas de seguridad.	R14	Regulador.
V1	Válvula de llenado inferior.	B16	Válvula check.
V2	Válvula de llenado superior.	V50	Válvula de indicación de nivel presión gas (-).
V3	Válvula de cierre de líquido.	V51	Válvula de indicación de nivel presión fondo (+).
V4	Válvula de cierre de gas.	V52	Válvula igualadora de presión (indicación de nivel).

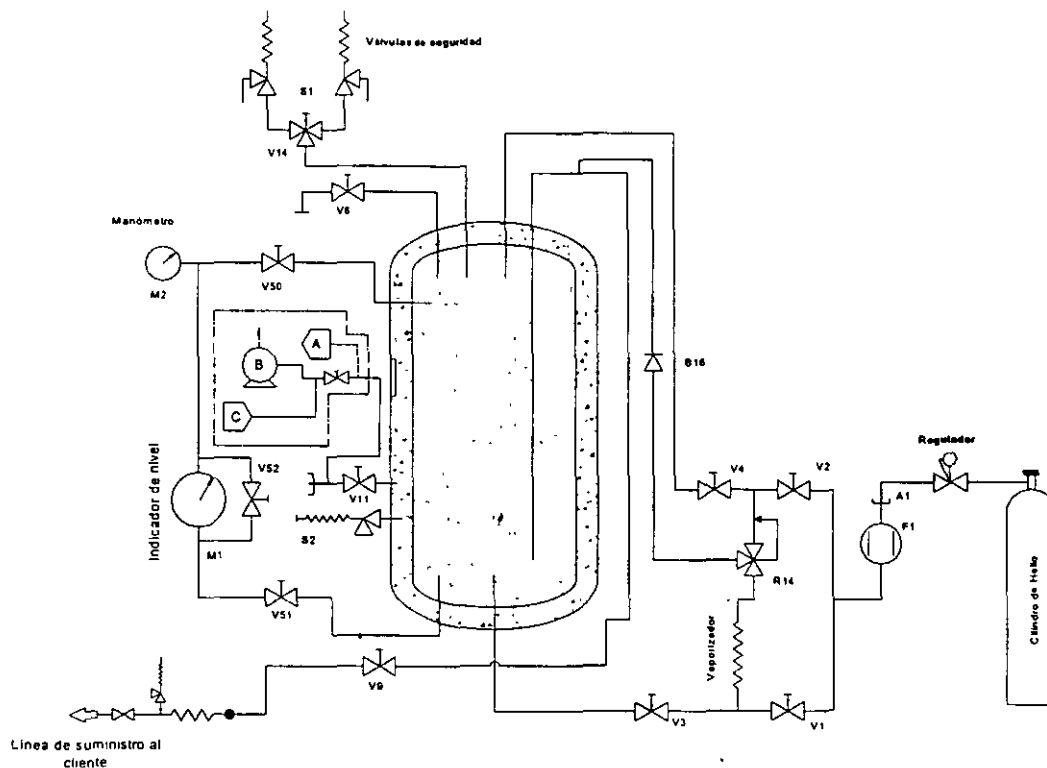


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN TANQUE CRIOGÉNICO PARA LA PRUEBA DE FUGA A TRAVÉS DE LA TÉCNICA DE ESPECTRÓMETRO DE MASAS CON DETECTOR DE HELIO

Notaciones:

A1	Conexión de llenado de tanque.	V3	Válvula de cierre de líquido.
M1	Indicador del contenido del tanque.	V4	Válvula de cierre de gas.
M2	Manómetro del tanque.	V6	Válvula de nivel máximo.
F1	Filtro.	V9	Válvula de consumo de gas (línea de suministro al cliente).
S1	Dos válvulas de seguridad.	V11	Válvula de control de vacío.
A	Medidor de vacío.	V14	Válvula de tres vías
B	Bomba de vacío.	R14	Regulador.
C	Espectrometro de masas	B16	Válvula check.
V1	Válvula de llenado inferior.	V50	Válvula de indicación de nivel presión gas (-).
V2	Válvula de llenado superior.	V51	Válvula de indicación de nivel presión fondo (+).
		V52	Válvula igualadora de presión (indicación de nivel)

ALTITUDES Y PRESIONES ATMOSFERICAS DE DIVERSOS LUGARES DE MÉXICO MEXICANA

Lugar	Altitud	Presión atmosférica			
		atm	kg/cm ²	bar	mmHg
Acapulco, Gro.	3	1.000	1.0327	1.0134	760
Aguascalientes, Ags.	1,888	0.806	0.8324	0.8169	613
Apatzingan, Mich.	682	0.930	0.9606	0.9426	707
Atlixco, Pue.	1,881	0.807	0.8332	0.8176	613
Campeche, Camp.	5	1.000	1.0325	1.0132	760
Cancún, Q. Roo.	20	0.996	1.0309	1.0116	759
Cd. Cuauhtémoc, Chis.	1,200	0.877	0.9055	0.8886	666
Cd. del Carmen, Camp.	1	1.000	1.0329	1.0136	760
Cd. Delicias, Chih.	1,170	0.880	0.9087	0.8918	669
Cd. Guzmán, Jal.	1,507	0.845	0.8729	0.8566	642
Cd. Juárez, Chih.	1,144	0.883	0.9115	0.8945	671
Cd. Madero, Tamp.	104	0.990	1.0220	1.0029	752
Cd. Obregón, Son.	100	0.990	1.0224	1.0033	752
Cd. Valles, S.L.P.	95	0.991	1.0229	1.0038	753
Cd. Victoria, Tamp.	321	0.967	0.9989	0.9803	735
Celaya, Gto.	1,808	0.814	0.8409	0.8252	619
Coatzacoalcos, Ver.	2	1.000	1.0328	1.0135	760
Colima, Col.	508	0.948	0.9790	0.9608	721
Córdoba, Ver.	924	0.905	0.9348	0.9174	688
Cuauhtémoc, Chih.	2,101	0.784	0.8098	0.7947	596
Cuautla, Mor.	1,300	0.867	0.8949	0.8782	659
Cuernavaca, Mor.	1,542	0.842	0.8692	0.8530	640
Culiacán, Sin.	84	0.992	1.0241	1.0050	754
Chetumal, Q. Roo	6	1.000	1.0324	1.0131	760
Chilpancingo, Gro.	1,360	0.860	0.8885	0.8719	654
Chihuahua, Chih.	1,430	0.853	0.8811	0.8647	648
Durango, Dgo	1,889	0.806	0.8323	0.8168	613
Ensenada, B C	3	1.000	1.0327	1.0134	760
Fresnillo, Zac	2,250	0.769	0.7940	0.7792	584
Gómez Palacio, Dgo.	1,140	0.883	0.9119	0.8849	671
Guadalajara, Jal.	1,567	0.839	0.8665	0.8504	638
Guanajuato, Gto	2,050	0.789	0.8152	0.8000	600
Guaymas, Son.	6	1.000	1.0324	1.0131	760
Hermosillo, Son.	237	0.976	1.0078	0.9890	742
Hidalgo del Parral, Chih.	1,661	0.830	0.8566	0.8406	630
Iguala, Gro.	731	0.925	0.9554	0.9375	703
Irapuato, Gto	1,795	0.816	0.8423	0.8266	620
Jalapa, Ver.	1,427	0.854	0.8814	0.8650	649
Juárez, Chih.	1,144	0.883	0.9115	0.8945	671
La Paz, B.C.S	10	0.999	1.0319	1.0127	760
Los Mochis, Sin.	17	0.999	1.0312	1.0119	759
Lázaro Cárdenas, Mich.	3	1.000	1.0327	1.0134	760
León, Gto.	1,885	0.806	0.8328	0.8172	613
Manzanillo, Col	3	1.000	1.0327	1.0134	760

(Parte II)

Lugar	Altitud	Presión atmosférica			
		atm	kg/cm ²	bar	mmHg
Matamoros, Tamp.	12	0.999	1.0317	1.0125	759
Mazatlán, Sin.	3	1.000	1.0327	1.0134	760
Mérida, Yuc	9	0.999	1.0320	1.0128	760
Mexicali, B.C	0	1.000	1.0330	1.0137	760
México, D.F.	2,240	0.770	0.7951	0.7802	585
Minatitlán, Ver	64	0.994	1.0262	1.0070	755
Monclova, Coah.	586	0.940	0.9708	0.9526	714
Morelia, Mich	1,941	0.801	0.8268	0.8114	609
Monterrey, N L	538	0.945	0.9759	0.9576	718
Navajoa, Son.	40	0.996	1.0288	1.0095	757
Nogales, Son.	1,120	0.885	0.9140	0.8970	673
Nuevo Laredo, Tam.	171	0.983	1.0148	0.9959	747
Oaxaca, Oax	1,550	0.841	0.8684	0.8521	639
Orizaba, Ver	1,284	0.868	0.8966	0.8799	660
Pachuca, Hgo	2,426	0.751	0.7753	0.7608	571
Piedras Negras, Coah.	220	0.978	1.0096	0.9908	743
Poza Rica, Ver	55	0.995	1.0272	1.0080	756
Puebla, Pue.	2,162	0.778	0.8033	0.7883	591
Puerto Juárez, Oax.	0	1.000	1.0330	1.0137	760
Puerto Vallarta, Jal.	5	1.000	1.0325	1.0132	760
Querétaro, Qro	1,853	0.810	0.8362	0.8206	615
Reynosa, Tam	38	0.996	1.0290	1.0098	757
Salamanca, Gto	1,721	0.823	0.8502	0.8343	626
Salina Cruz, Oax.	70	0.933	1.0256	1.0064	755
Saltillo, Coah	1,599	0.836	0.8631	0.8470	635
San Cristóbal de las Casas, Chis.	2,100	0.784	0.8099	0.7948	596
San Luis Potosí, S.L.P	1,877	0.807	0.8336	0.8181	614
San Luis Rio Colorado, Son.	8	1.000	1.0322	1.0129	760
Tampico, Tam.	12	0.999	1.0317	1.0125	759
Tapachula, Chis	182	0.982	1.0137	0.9947	746
Tehuacan, Pue	1,676	0.828	0.8550	0.8390	629
Tepic, Nay	915	0.906	0.9358	0.9183	689
Tijuana, B C	778	0.920	0.9504	0.9326	699
Tlaxcala, Tlax	2,252	0.769	0.7938	0.7790	584
Toluca, Edo de Méx.	2,680	0.725	0.7483	0.7344	551
Torreón, Coah	1,140	0.883	0.9119	0.8949	671
Tulancingo, Hgo.	2,160	0.778	0.8036	0.7886	591
Tula de Allende, Hgo.	2,036	0.791	0.8167	0.8015	601
Tuxpan, Ver	14	0.999	1.0315	1.0123	759
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	528	0.946	0.9769	0.9587	719
Uruapan, Chis.	1,634	0.832	0.8594	0.8434	633
Veracruz, Ver.	14	0.999	1.0315	1.0123	759
Villahermosa, Tab	10	0.999	1.0319	1.0127	760
Xalapa, Ver.	1,460	0.850	0.8779	0.8615	646
Zacatecas, Zac	2,496	0.744	0.7679	0.7535	565
Zamora, Mich.	1,880	0.807	0.8333	0.8177	613



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

CUIDADO DE CALDERAS

**EXPOSITOR:
ING. ANTONIO GARCÍA MORENO
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN

MODULO IV INGENIERÍA DE SOPORTES A CALDERAS

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/cm² (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.

b b l

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-069-SCFI-1994)

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/cm².
- 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/cm²).
- 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 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° C en el tanque de almacenamiento general y 60° 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° 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^2

Presión de entrada al quemador: 2.5 a 3.5 Kg/cm^2

Presión de retorno: Aprox. 1.0 Kg/cm^2 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^2

Con combustible en fuego bajo sube a 0.80 Kg/cm^2

Con combustible en fuego alto no debe sobrepasar los 2.0 Kg/cm^2

Presión de atomización con vapor: Dentro del rango de 0.8 a 1.4 Kg/cm²

La presión de combustible líquido utilizando atomización mecánica es de 7 Kg/cm².

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/ pulg² o en gr./cm²

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^2 , 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 tapparla, 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).

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/cm², 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-SEDG-1996

SISTEMA DE DETECCION DE FLAMA

SISTEMA	TIPO	COMBUSTIBLE	CAPACIDAD MAXIMA Ms/hr (Kcal/hr) (C.C.)	MARCA Y MODELO
AL	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE CADMIO	DIESEL	1675 (400,000) (47.34)	HONEYWELL
BL	TUBO ELECTRONICO VACIO (FOTODIODO)	DIESEL	8375 (2'000,000) (236.70)	HONEYWELL
BG	VARILLA DETECTORA DE IONIZACION DE FLAMA	GAS	16750 (4'000,000) (473.37)	HONEYWELL
CDN	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE PLOMO SIN AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	16750 (4'000,000) (473.37)	HONEYWELL
DDN	FOTOTUBO SENSIBLE A RADIACION ULTRAVIOLETA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	16750 (4'000,000) (473.37)	HONEYWELL

	SIN AUTOVERIFICACION DINAMICA			
CDD	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE PLOMO CON AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	SIN LIMITE	HONEYWELL
DDD	FOTOTUBO SENSIBLE A RADIACION ULTRAVIOLETA CON AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	SIN LIMITE	HONEYWELL

NOTA: A PARTIR DE INSTALACIONES CUYA CAPACIDAD DE LIBERACION DE CALOR SOBREPASE 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 FLAMA CON DETECCIÓN DE FLAMA POR MEDIOS ELECTRONICOS (NO TERMICO)

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/cm², 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 CO₂ (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	PARTICULAS (PST) mg/m ³ (kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			BIÓXIDO DE AZUFRE ppm V (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			ÓXIDOS DE NITRÓGENO ppm V (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION % volumen (5)
		Número de Mancha u opacidad	ZMCM	ZC(3)	RP	ZMCM	ZC(3)	RP	ZMCM	ZC(4)	RP	
Hasta 5,250 (147 C.C.)	Combustoleo O Gasoleo	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros Líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.497)	450 (0.639)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190	190	375	

(147 a 1204 C.C.)									(0.507)	(0.507)	(1.0)	
De 43,000 a 110,000 (1204 a 3080 C.C.)	Líquidos	NA	60 (0.085)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
Mayor de 110,000 (3080 C.C.)	Sólidos	NA	60 (0.085)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	25
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	

**TABLA 6
MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN**

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN	PARÁMETRO	FRECUENCIA MÍNIMA DE MEDICIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	TIPO DE COMBUSTIBLE
------------------------------------	-----------	-------------------------------	--------------------	---------------------

MJ/h				
Hasta 5,250 (147 C.C.)	Densidad de humo	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); mancha de hollín	líquido y gas
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); ver anexo 3	líquido y gas
	SO ₂	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 _x	una vez por año	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	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 _x	una vez cada 6 meses	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	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 _x	permanente (3)	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	sólido, líquido y gas
	O ₂	permanente	continua; campo magnético o equivalente, con registrador como mínimo o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	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_x 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

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 exenta 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.

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 DEL HUMO Número de mancha u opacidad	PARTICULAS (PST) mg/m ³ (kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			BIÓXIDO DE AZUFRE ppm V (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			ÓXIDOS DE NITRÓGENO ppm V (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION % volumen (4)
			ZMCM	ZC	RP	ZMCM	ZC(5)	RP	ZMCM	ZC(3)	RP	
Hasta 5,250 (147 C.C.)	Combustoleo o gasoleo	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000 (147 a 1204 C.C.)	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.497)	450 (0.639)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	
De 43,000 a 110,000 (1204 a 3080 C.C.)	Líquidos	NA	60 (0.085)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
Mayor de 110,000 (3080 C.C.)	Sólidos	NA	60 (0.085)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	25
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	

CA-145



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV: INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

INSPECCIÓN DE SOLDADURAS

**EXPOSITOR: TEC. JAIME MARQUES SILVA
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DE 2001**

SOLDADURA

MODULO II DEL
DIPLOMADO EN INGENIERIA DE
CALDERAS Y RECIPIENTES A
PRESION

Ing. Manuel Cabrera Moreno

LOS PROCESOS DE
SOLDADURA

La necesidad de productos confiables aunado a la necesidad de conservar los recursos y preservar la seguridad de los trabajadores ha hecho que la calidad de las soldaduras sea cada vez de mayor importancia.

La fabricación de productos metálicos confiables debe comprender:

- Diseños documentados
- Buenas Prácticas de Manufactura
- Un Sistema de Control de Calidad
- Calificación de los Procedimientos de Soldadura
- Calificación de los

Diseños documentados

- La documentación de los diseños se consigna, básicamente, en la Memoria de Diseño y Cálculo de cada Equipo, en los dibujos de fabricación y en el control de los materiales.

**Buenas Prácticas de
Manufactura**

Las Buenas Prácticas de Manufactura se obtienen:

- Apegándose a los ordenamientos del Código que se esté aplicando
- Respetando las Especificaciones emanadas de los Cálculos
- Usando maquinaria en buen estado
- Empleando solo personal capacitado

**Sistema de Control de
Calidad**

Un Sistema de Fabricación confiable requiere del establecimiento de Sistemas de Calidad que contemplan

- El establecimiento de un Manual del Sistema de Calidad
- El establecimiento de un Manual de Procedimientos de Operación

**Sistema de Control de
Calidad**

- 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 el documento donde se consignarán las variables reales empleadas, las pruebas efectuadas y los resultados obtenidos, en un establecimiento en particular.

**Calificación de los
soldadores**

- Este proceso sirve para calificar la habilidad de un soldador, o de un operador de máquina de soldar, para demostrar que es capaz de efectuar depósitos de soldadura con la calidad establecida en el 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 las herramientas capaces de demostrar que la construcción soldada propuesta 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.

S O L D A B I L I D A D

- 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 S O L D A D U R A M A S U S U A L E S

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.

Procesos de Soldadura más usuales

☛ S A W (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.

Procesos de Soldadura más usuales

☛ G T A W (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.

Procesos de Soldadura más usuales

☛ G M A W (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 fundente

Procesos de Soldadura más usuales

☛ **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 fundente contenido dentro del electrodo tubular y, opcionalmente, mediante la aplicación externa de un gas o mezcla de gases.

Especificación de Procedimiento de Soldadura

**WPS
EPS**

PREPARACION DE UN PROCEDIMIENTO CONFORME A LA SECCION IX DEL CODIGO ASME.

**Identificación de la
Compañía y del
Procedimiento**

 E.I.A. S.A. de C.V.	Manual de Procedimientos	Número	Página 1 de 20
	Nombre ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	OPE-020	Revisión 1

**Identificación de
Responsables del
Procedimiento**

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 EIA, S.A. de C.V. y está prohibida su reproducción por cualquier medio.

Q W - 4 8 2 E P S (W P S)

**W - 4 8 2 F O R M A T O
S U G E R I D O P A R A
E S P E C I F I C A C I O N D E
P R O C E D I M I E N T O D E
S O L D A D U R A (E P S)
(V e r Q W - 2 0 0 . 1 , S e c c i ó n I X ,
C ó d i g o A S M E , B o i l e r a n d
P r e s s u r e V e s s e l)
R e g i s t r o d e C o n d i c i o n e s
U s a d a s p a r a l a P r o b e t a .**

Versión en Inglés

QW-482 SUGGESTED
FORMAT FOR WELDING
PROCEDURE
SPECIFICATION (WPS)

(See QW-200.1, Section IX,
ASME Boiler and Pressure
Vessel Code)

Identificación del
documento

Nombre de la compañía (Company name)	Preparado por (By)
Registro de Calificación Soporte No (Supporting Procedure Qualification Record No)	Fecha (Date)
Especificación de Procedimiento de Soldadura No (Welding Procedure Specification No)	
Proceso (s) de soldadura (Welding Process(es))	
Tipo (Manual, Automático, Semi-Automático) (Type, Manual, Automatic or Semi-automatic)	

JUNTAS (JOINTS)
QW-402

Diseño de la Unión Joint Design	Ver los Dibujos de fabricación para detalles de la Unión (See Fabrication Drawings for Actual Joint Design)	
Respaldo Backing	SI Yes	NO No
Material de Respaldo (Tipo) Backing Material (Type)		
Metálico Metal	No Metálico Non Metallic	
Metal NO Fundible NonFusing Metal		

**Notas a QW -402 JUNTAS
(JOINTS)**

Los croquis, Dibujos de Fabricación, Símbolos de Soldadura o Descripciones escritas deben mostrar el arreglo general de las partes a unirse. Cuando sea aplicable, debe especificarse el espaciado en la raíz y los detalles de la ranura. (*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*)

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 tenacidad 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.*)

**METALES BASE (BASE
METALS) QW -403**

No. P P No	Grupo No. No Group	A No. P to P No	Grupo No. No Group
Especificación del Material tipo y grado (<i>Material Specification, Type and grade</i>)			
A Especificación del Material tipo y grado To (<i>Material Specification, Type and grade</i>)			
Análisis Químico y Propiedades Mecánicas (<i>Chem Analysis and Mech Properties</i>)			
A Análisis Químico y Propiedades Mecánicas To (<i>Chem Analysis and Mech Properties</i>)			
Rango de Espesores (<i>Thickness Range</i>)			
Metal Base (<i>Base Metal</i>)		Rango Diámetro de Tubería (<i>Pipe Diameter Range</i>)	
Ranura (<i>Groove</i>)		Filete (<i>Fillet</i>)	
Otros (<i>Other</i>)			

**METALES DE APORTE
(FILLER METALS) QW -
404**

Especificación SFA (<i>SFA Specification</i>)		
Clasificación AWS (<i>AWS Classification</i>)		
Número F del Metal Aporte (<i>Filler Metal F No</i>)		
Número A del Metal de Aporte (<i>Weld Metal Analysis A-No</i>)		
Electrodo-Fundente (Clase) (<i>Electrode-Flux Class</i>)		
Nombre Comercial del Fundente (<i>Flux Trade Name</i>)		
Inserto Consumible (<i>Consumable Insert</i>)		
Diámetro del Metal de Aporte (<i>Size of Filler Metal</i>)		
Metal de Soldadura Depositado (<i>Deposited Weld Metal</i>)		
Rango de Espesores <i>Thickness Range</i>	Ranura (<i>Groove</i>)	Filete (<i>Fillet</i>)
Otros (<i>Other</i>)		

P O S I C I O N (P O S I T I O N)
Q W - 4 0 5

<i>Posición de la Ranura (Position of Groove):</i>	
<i>Progresión Soldadura (Ascendente o Descendente)</i> <i>(Weld Progressión (Uphill, Downhill):</i>	
<i>Otros (Other):</i>	

P R E C A L E N T A M I E N T O
(P R E H E A T) Q W - 4 0 6

<i>Temperatura de Pre calentamiento</i> <i>(Preheat Temp):</i>	
<i>Temperatura Interpasos</i> <i>(Interpass Temp):</i>	
<i>Otros (Other):</i>	

T R A T A M I E N T O T E R M I C O
P O S T E R I O R
(P O S T W E L D H E A T
T R E A T M E N T)
Q W - 4 0 7

<i>Temperatura</i> <i>(Temperature):</i>	
<i>Tiempo (Time):</i>	
<i>Otros (Other):</i>	

G A S (G A S) Q W - 4 0 8

	Composición en Por ciento (Percent Composition)		
	Gas(es) (Gas(es))	Mezcla (Mixture)	Rango de Flujo (Flow Rate)
Cubierta (Shielding):			
Arrastre (Trailing):			
Respaldo (Backing):			

**C A R A C T E R I S T I C A S
E L E C T R I C A S
(E L E C T R I C A L
C H A R A C T E R I S T I C) Q W -
4 0 9**

Corriente (Current):			
Polaridad (Polarity):			
Amperes:	Volts:	(Amps):	(Volts):
Diámetro del Electrodo de Tungsteno (Tungsten Electrode Size):			
Otros (Other):			

N o t a s a Q W - 4 0 9

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	tungsteno puro, 2% forjado, pure tungsten, 2% thoriated, etc.
Modo de transferencia para GMAW Mode of metal transfer for GMAW	Arco spray, arco corto circuito, Spray arc, short circuiting arc,
Velocidad de alimentación del alambre Electrode wire feed speed range	

T E C N I C A (T E C H N I Q U E)
Q W - 4 1 0

Progresión Soldadura (Recta u Oscilante) (String or Weave Bead)	
Orificio o tamaño de la boquilla de gas (Orifice or cup size)	
Limpieza inicial e interpasos (Initial and interpass cleaning)	Cepillado, esmerilado, (Brushing, grinding)
Método de vaciado (Method of back gouging)	
Oscilación (Oscillation)	

T E C N I C A (T E C H N I Q U E)
Q W - 4 1 0 (c o n t i n u a c i ó n)

Distancia de la boquilla a la pieza (Contact tube to work distance)	
Paso múltiples 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)	

R E S U M E N D E
P A R A M E T R O S D E L
P R O C E D I M I E N T O

Proceso	Capas de Soldadura	Metal de Aporte	Corriente		Rango Voltaje	Velocidad avance
Process	Weld layer	Filler Metal	Current		Voltage Range	Travel speed
		Clase Diam	Polandad Rango Amp.			
		Class Diam	Polanty Amp range			
Otros (Other)						
(P. e.) Observaciones, comentarios, adición de alambre caliente, técnica, ángulo de la antorcha, etc.) (e.g. Remarks, comments, hot wire addition, technique, torch angle, etc.)						

**REGISTRO DE
CALIFICACIÓN
DE PROCEDIMIENTO
DE SOLDADURA**

FORMATO SUGERIDO

**CALIFICACION DE
UN
PROCEDIMIENTO
CONFORME A LA
SECCION IX DEL
CODIGO ASME**

**Identificación de la
Compañía y del
Procedimiento**

 E.I.A. S.A. de C.V.	Manual de Procedimientos	Número	Página 1 de 1
	Nombre REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	OPE-021	Revisión 1

Identificación de
Responsables del
Procedimiento

Preparado por Manuel Cabrera Moreno	Revisado por Fidel Barrón Tea	Aprobado por Enrique Espinola Velázquez
Director de Operaciones	Director de Calidad	Director General
Fecha:	Fecha:	Fecha:

Este procedimiento es propiedad intelectual de EIA, S.A. de C.V.
y está prohibida su reproducción por cualquier medio.

Q W - 4 8 3 R C P (W P Q)

W - 483 FORMATO
SUGERIDO PARA
REGISTRO DE
CALIFICACION DE
PROCEDIMIENTO (RCP)
(Ver QW - 200.2, Sección IX,
Código ASME, Boiler and
Pressure Vessel)
Registro de Condiciones
Usadas para la Probeta.

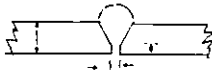
Versión en Inglés

**QW-483 SUGGESTED FORMAT FOR
PROCEDURE QUALIFICATION
RECORD (PQR)**
(See QW-2002.2, Section IX, ASME
Boiler and Pressure Vessel Code)
Record Actual Conditions Used to
Weld Test Coupon.

I d e n t i f i c a c i ó n d e l
d o c u m e n t o

Nombre de la compañía <i>(Company name):</i>	
Registro de Calificación Nº <i>(Procedure Qualification Record No.):</i>	
Especificación del Procedimiento de Soldadura No. <i>(WPS No):</i>	
Proceso (s) de soldadura <i>(Welding Process(es)):</i>	
Tipo (Manual, Automático, Semi-Automático) <i>(Type; Manual, Automatic or Semi-automatic)</i>	

J U N T A S (J O I N T S)
Q W - 4 0 2



Diseño de la Ranura de la Probeta *(Groove Design of Test Coupon)*

Para calificación de combinaciones, debe ser registrado el espesor del metal de soldadura depositado 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.)

M E T A L E S B A S E (B A S E
M E T A L S) Q W - 4 0 3

Especificación del Material <i>(Material Specification)</i>	
Tipo o Grado <i>(Type or Grade)</i>	
No. P	a No. P
P. No. to P. No.	
Espesor de la Probeta <i>(Thickness of test Coupon):</i>	
Diámetro de la Probeta <i>(Diameter of Test Coupon):</i>	
Otros <i>(Other):</i>	

**METALES DE APORTE
(FILLER METALS) QW -
404**

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):	

**POSICION (POSITION)
QW -405**

Posición de la Ranura (Position of Groove):	
Progresión Soldadura (Ascendente o Descendente) (Weld Progressión (Uphill, Downhill):	
Otros (Other):	

**PRECALENTAMIENTO
(PREHEAT) QW -406**

Temperatura de Pre calentamiento (Preheat Temp):	
Temperatura Interpasos (Interpass Temp):	
Otros (Other):	

TRATAMIENTO TERMICO
POSTERIOR
(POSTWELD HEAT
TREATMENT)
Q W - 4 0 7

Temperatura (Temperature):	
Tiempo (Time):	
Otros (Other):	

G A S (G A S) Q W - 4 0 8

	Composición en Por ciento (Percent Composition)		
	Gas(es) (Gas(es))	Mezcla (Mixture)	Rango de Flujo (Flow Rate)
Cubierta (Shielding):			
Arrastre (Trailing):			
Respaldo (Backing):			

C A R A C T E R I S T I C A S
E L E C T R I C A S
(E L E C T R I C A L
C H A R A C T E R I S T I C) Q W -
4 0 9

Corriente (Current):			
Polaridad (Polarity):			
Amperes:	Volts:	(Amps):	(Volts):
Diámetro del Electrodo de Tungsteno (Tungsten Electrode Size):			
Otros (Other):			

T E C N I C A (T E C H N I Q U E)
Q W - 4 1 0

Velocidad de avance (Travel Speed):	
Progresión Soldadura (Ascendente o Descendente) (String or Weave Bead):	
Oscilación (Oscillation):	
Multipaso o Sencillo (por lado) (Multipass Or Single (per side)):	
Electrodo Sencillo o Múltiple (Single or Multiple Electrode):	
Otros (Other)	

P r u e b a s d e T e n s i ó n
(T e n s i l e T e s t) Q W - 1 5 0

Probeta No	Ancho	Espesor	Area	Carga Total Ultima lb	Ultimo Esfuerzo Unitario psi	Fallas y Localización
Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Total Load	Ultimate Unit Stress	Type of Failure & Location

P r u e b a s d e D o b l e z
G u i d o (G u i d e d - B e n d
T e s t s) Q W - 1 6 0

Tipo y Figura Número (Type and Figure No.)	Resultado (Result)

**P r u e b a s d e T e n a c i d a d
(T o u g h n e s s T e s t) Q W - 1 7 0**

Probeta Nº <i>Specimen No</i>	Posición de la Ranura <i>Notch Location</i>	Tipo Ranura <i>Notch Type</i>	Temperatura de la Prueba <i>Test Temp</i>	Cargas de Impacto <i>Impact Values</i>	Expansión Lateral <i>Lateral Expansion</i>		Peso Aplicado <i>Drop Weight</i>	
					Desgane % Shear	Granulado Mils	Fractura Break	Sin fractura No Break

**P r u e b a F i l e t e d e
S o l d a d u r a (F i l l e t - W e l d
T e s t) Q W - 1 8 0**

Resultado Satisfactorio <i>(Results Satisfactory)</i>	Si <i>(Yes)</i>	No <i>(No)</i>	Penetración en Metal Base <i>(Penetration into Parent Metal)</i>	Si <i>(Yes)</i>	No <i>(No)</i>
Macro Resultados (Macro Results)					

**O t r a s P r u e b a s (O t h e r
T e s t s)**

Tipo de Prueba (Type of Test):
Análisis de Depósito (Deposit Analysis):
Otros (Other):

**R e g i s t r o s
I n d i s p e n s a b l e s**

Nombre del Soldador <i>(Welder's Name)</i>	Reloj Nº <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>	

C e r t i f i c a c i ó n

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. *(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.)*

Fabricante <i>(Manufacturer)</i>	Emitido por <i>(By)</i>
Fecha <i>(Date)</i>	

O b s e r v a c i o n e s

- 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.)*

**A SEGU R A M I E N T O D E
L A C A L I D A D E N
S O L D A D U R A**

- 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

**A SEGU R A M I E N T O D E
L A C A L I D A D E N
S O L D A D U R A**

- 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.

R e q u i s i t o s M í n i m o s

- **ORGANIZACIÓN.** Debe contar con una estructura que defina con claridad los límites de autoridad y responsabilidad de cada funcionario.
- **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

Requisitos Minimos

- CONTROL DE DISEÑO. Tal que incluya, en su caso, la calificación y prueba de prototipos y garantice el total apego a las especificaciones.
- CONTROL DE ADQUISICIONES. Las especificaciones al proveedor deben entregarse por escrito y el recibo de los materiales también debe documentarse. Ambos documentos deben coincidir.

Requisitos Minimos

- PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS. Se debe asegurar 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.

Requisitos Minimos

- CONTROL DE PROVEEDORES. Se debe contar con un sistema de control que evalúe a los proveedores, los cuales 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

Requisitos M í n i m o s

- **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 área de producción, que garantice el cumplimiento de las especificaciones en cada etapa.

Requisitos M í n i m o s

- **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.

Requisitos M í n i m o s

- **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.

Requisitos M í n i m o s

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 se deben documentar.

2-73

CA -145



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV: INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

TRATAMIENTO DE AGUAS

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DE 2001**

MÓDULO IV
SESIÓN 18
TEMA TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA
EXPOSITOR ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL

El agua.

El agua es un compuesto químico constituido por 2 átomos de Hidrógeno y 1 de oxígeno y que se expresa por la fórmula H_2O .

Debido a sus propiedades es considerado como el solvente universal de todas las sustancias por lo que no se encuentra puro en la naturaleza. Cualquiera que sea su procedencia el agua siempre contendrá impurezas en solución o suspensión.

El volumen de agua existente es una cantidad constante y por lo tanto, no es ampliable a voluntad.

Origen y Características del Agua.

El agua puede provenir de 4 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 han recibido ningún tratamiento se le conoce como AGUA CRUDA, y debido a las impurezas que contiene para su uso deberá analizarse y tratarse en caso necesario.

Alguna de las características del agua, por lo que se utiliza en la industria son.

- No sufre alteraciones químicas con calentamiento dentro del rango de temperatura encontrados
- A la temperatura ambiente puede controlarse y hacerse fluir fácilmente
- Su manejo no presenta riesgos
- "Es aún abundante y barata".

Todo lo anterior se debe a que su estructura molecular es fuera de lo común para una molécula que tiene un peso molecular tan pequeño

Un dipolo de una molécula de agua tiende a unirse a otra molécula análoga a través de sus polos centranos formando un compuesto llamado dihidrol

Impurezas del agua.

Las impurezas que se encuentran generalmente se pueden clasificar de la manera siguiente:

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 disociados en partículas con carga positiva (CATIONES) y partículas con carga negativa (ANIONES).

Los cationes más comunes en el agua son: Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺) y Sodio (Na⁺) y menos comunes el Hierro (Fe²⁺ o Fe³⁺) y el Manganeseo (Mn²⁺)

Los aniones más comunes en el agua son: Bicarbonato (HCO₃⁻), Carbonatos (CO₃²⁻), Cloruros (Cl⁻), Sulfatos (SO₄²⁻), Nitratos (NO₃⁻) y en aguas contaminadas, los Nitritos (NO₂⁻)

La Sílice es otro anión 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 (CO₂) el Oxígeno (O₂), el Ácido Sulfhídrico (H₂S) el Metano (CH₄) y el Amoniaco (NH₃).

Los problemas de corrosión y de incrustación o depósitos debidos a las impurezas del agua, se deben a cuatro factores.

- La solubilidad de cada impureza
- La temperatura

- La alcalinidad o acidez del agua (pH)

- 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 las aguas naturales, se pueden tener cuatro grupos:

- Compuestos de Calcio y Magnesio
- Compuestos de Sodio

- Silice
- Compuestos de Hierro y Manganeso

La Solubilidad de los diferentes Compuestos son afectados por varios factores:

Compuesto	Factor	Efecto
Sales de Calcio y Magnesio	Temperatura y agua	Disminuye la solubilidad y la alcalinidad, también disminuye.
Sales de Na	Temperatura	Aumenta el CO ₂ .
Oxidos de Fe y Silice	Temperatura	No aumenta sensiblemente.
Silice	Alcalinidad	Aumenta.

Con relación a los gases disueltos en el agua (Oxígeno, Dióxido de Carbono, Amoníaco) depende:

- Su reacción química con el agua, o su presencia como gas libre
- Su presión parcial en el agua y en la atmósfera que lo rodea.
- La temperatura del agua

Gas	Factor	Efecto
Oxígeno	No se ioniza	Se disuelve y se remueve mecánicamente por de aireación o comun eliminador químico
Dióxido de Carbono y Amoníaco	Están ionizados	Eliminación en forma de neutralización

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), en vez de expresarlas en porcientos.

Una parte por millón significa una parte de la sustancia en un millón de partes de agua, independientemente de la unidad de peso que se utilice. Ejem:

1 gramo en 1 millón de gramos.

1 libra en 1 millón de libras

Considerando que la densidad del agua es de 1 gr/ml, entonces:

1ppm = 1 mg/l

= 1 gr/m³

entonces la ppb será mil veces menor, es decir:

1 ppb = 1 mg/m³

Algunas equivalencias de estas unidades para análisis químicos son:

$$1 \text{ ppm} = 0.0583 \text{ grano/U.S. galón}$$

$$1 \text{ grano/U.S. gal} = 17.1 \text{ ppm}$$

Para facilitar el manejo aritmético de los resultados de los diversos análisis del agua, se suelen convertir a una base común.

Generalmente se utiliza el Carbonato de Calcio (CaCO_3) cuyo peso Molecular es 100.

Con relación a algunas determinaciones comentaremos lo siguiente:

- La Dureza Total ($\text{CaCO}_3 = 272 \text{ ppm}$) representa el contenido de Calcio y Magnesio ($160 + 112$)

- El Contenido de Magnesio, se obtiene restando el Calcio a la Dureza Total ($272 - 160 = 112$)

• La Dureza de Carbonatos representa la cantidad de Ca y Mg que se encuentra combinada con los Carbonatos y Bicarbonatos presentes en el agua.

• La Dureza de No Carbonatos representa la cantidad de Ca y Mg combinada con los ácidos minerales (Cloruros de Sulfatos, etc.). Se obtiene al restar a la Dureza Total la Dureza de Carbonatos ($272-90 = 182$)

• Las alcalinidades a la fenolftaleína (F) y al anaranjado de Metilo (M) representan la cantidad de carbonatos y bicarbonatos presentes, respectivamente ($F = 0$ y $M = 90$)

En el agua cruda, generalmente, toda la alcalinidad presente se debe a Bicarbonatos (M).

• La conductividad específica es una medida de la conducción de la corriente eléctrica del agua y está relacionada directamente con la cantidad de Sólidos disueltos. Se expresa en mmhos (micromhos/cm a 25°C).

• El pH determina la acidez o la alcalinidad del agua si expresa de 0 a 14.

Un pH de 7 corresponde a un agua neutra. Si el valor se desplaza a cero indica acidez y si se desplaza a 14 indica alcalinidad

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 de suministro que se cause

Para depurar el agua, generalmente es preciso utilizar uno o combinar varios tratamientos elementales, 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.

Diámetro de la sedimentación partícula (mm)	T	de
		para 1m (orden de magnitud)
Material		
10	Grava	1 segundo
1	Arena	10 segundos
0.1	Arena fina	2 minutos
0.01	Arcilla	2 horas
0.001	Bacteria	8 días
0.0001	Partícula Coloidal	2 años
0.00001	Partícula Coloidal	20 años

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 tienen 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

La misión de los filtros es retener, en la superficie o en el seno de la masa filtrante, las partículas que contiene un líquido.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA

**EXPOSITOR:
ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**

**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 QUÍMICO 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 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 (HCO_3), carbonatos (CO_3), e Hidróxidos (OH).

- Causa espuma y arrastre de sólidos en la producción de vapor. - Fragilización del acero en calderas. El CO_3 produce CO_2 al calentarse. (Este gas es corrosivo).

Acidez mineral : Acidos libres (H_2SO_4 , HNO_3 y HCl), expresados como 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: (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: - 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: (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 (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}) y Sodio (Na^+).
Los aniones más comunes en el agua son: Bicarbonato (HCO_3^-), Carbonato ($\text{CO}_3^{=}$), Cloruro (Cl^-), Sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), Nitratos ($\text{NO}_3^{=}$) y, en aguas contaminadas, los Nitritos (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 (CO_2), el Oxígeno (O_2), el Amoníaco (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, SiO_2 , de Hierro (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/m³

La ppb es mil veces menor que la ppm , es decir : 1ppb = 1 mg /m³

Para facilitar el manejo aritmético de los resultados de los análisis del agua , se suelen convertir a una base común. Generalmente se utiliza el 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.

Díámetro 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 (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⁺⁺ y Magnesio⁺⁺ por precipitación como 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 (CaCO_3), la reacción de la cal sobre el agua cruda es extraordinariamente lenta, en ausencia de "gérmenes de cristalización":

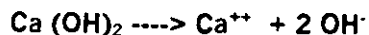
Por el contrario, cuando el agua y la cal se ponen en contacto con una masa suficiente de cristales de CaCO_3 ya precipitados, la reacción alcanza su equilibrio en unos minutos.

CAL-COAGULANTE EN FRIO

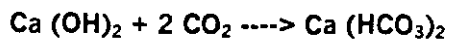
Este tratamiento se efectúa a temperatura ambiente, elimina la turbidez, el color y materia en suspensión, por esto, se les denomina a los equipos de este tratamiento floculadores y clarificadores también.

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 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 CO_2 , la precipitación del Carbonato de Calcio requiere la conversión del CO_2 del HCO_3 , de acuerdo con las siguientes reacciones químicas:



para el CO_2 :

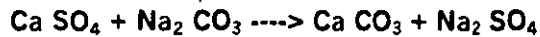


De esta manera, se han convertido las sales solubles a sales insolubles (precipitado que se separa por asentamiento).

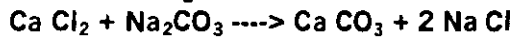
Dado que la dureza de Ca y Mg puede ser "de Carbonato" o "no Carbonato", las reacciones anteriores convirtieron la "dureza Carbonato".

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 (Na_2CO_3), de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:

Para el Ca SO_4



Para el Ca Cl_2



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 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 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 (O_2 , 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 Ca CO_3 y 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.

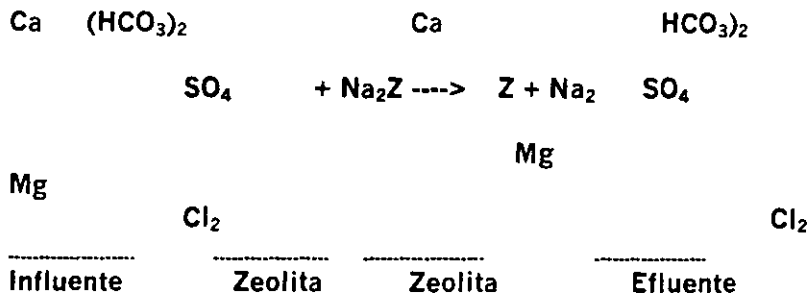
➤ Esta operación es un proceso químico cíclico y el ciclo completo incluye normalmente:

- Retrolavado
- Regeneración
- Enjuagado
- Servicio

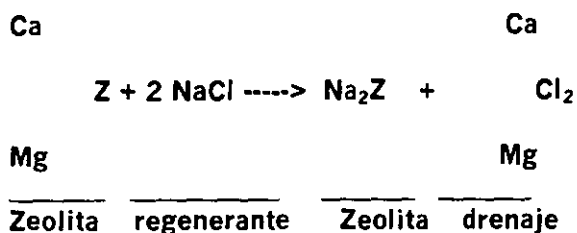
SUAVIZACION

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:



Para restituir la capacidad de intercambio de la resina se regenera:



El efluente con sales de sodio, de un suavizador con Zeolita, puede abastecer calderas de baja presión.

La cantidad de sal que necesita un suavizador para su regeneración está determinada por los límites aceptables para la calidad del efluente y la capacidad que la planta desea obtener.

Por su diseño y forma de operación, un suavizador actúa también como filtro, esto obliga a efectuar un retrolavado cuidadoso.

En el caso de que el efluente contenga turbidez y lodo, la Zeolita se irá recubriendo y su capacidad disminuirá gradualmente.

Si el efluente proviene de un tratamiento "cal en frío", la Zeolita puede ser incrustada por Carbonato de Calcio o hidróxido de Magnesio, etc.

DESMINERALIZACION

Dado que las sales que se encuentran disueltas en el agua se encuentran disociadas en iones, con carga eléctrica positiva llamados "cationes y con carga eléctrica negativa llamados aniones"

las soluciones son eléctricamente neutras, debido a la igualdad de ambas cargas.

El proceso de Desmineralización o desionización consiste en la eliminación de ambos iones contenidos en el agua. La pureza que se llega a obtener a través de este proceso en el efluente es de aproximadamente del orden de 0.10 a 0.20 ppm de sales totales disueltas y menos de 10 ppb de Sílice.

En el caso de una resina en ciclo sodio, el calcio desplaza al sodio, por tener concentraciones normales. Pero para la regeneración, el Sodio desplaza al Calcio, debido a su alta concentración en la solución regenerante.

La mayor parte de las unidades de intercambio iónico son simples recipientes que contienen un lecho de resina de intercambio iónico que opera por flujo descendente. Como se mencionó anteriormente, sobre una base cíclica: operación, regeneración, enjuague, y operación.

Recordando que el diámetro efectivo del material de intercambio iónico es de 20-50 mallas (0.5 mm), hace que el lecho de resina funcione como un filtro muy efectivo, con las ventajas y desventajas correspondientes.

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/pulg²).

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/pulg² 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 (N_2H_4). Reacciona con el oxígeno disuelto del agua de acuerdo a la siguiente reacción:
 $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

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.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

CUIDADO DE CALDERAS E INSTALACIONES TIPICAS

**EXPOSITOR:
ING. ANTONIO GARCÍA MORENO
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**

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/cm² (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^2 .

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/cm²).
- 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 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° C en el tanque de almacenamiento general y 60° 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° 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^2

Presión de entrada al quemador: 2.5 a 3.5 Kg/cm^2

Presión de retorno: Aprox. 1.0 Kg/cm^2 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^2

Con combustible en fuego bajo sube a 0.80 Kg/cm^2

Con combustible en fuego alto no debe sobrepasar los 2.0 Kg/cm^2

Presión de atomización con vapor: Dentro del rango de 0.8 a 1.4 Kg/cm^2

La presión de combustible líquido utilizando atomización mecánica es de 7 Kg/cm^2 .

- 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/ pulg² o en gr./cm²
- 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^2 , Durante este periodo se recomienda apretar nuevamente los registros pasmano, 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 empiece 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.

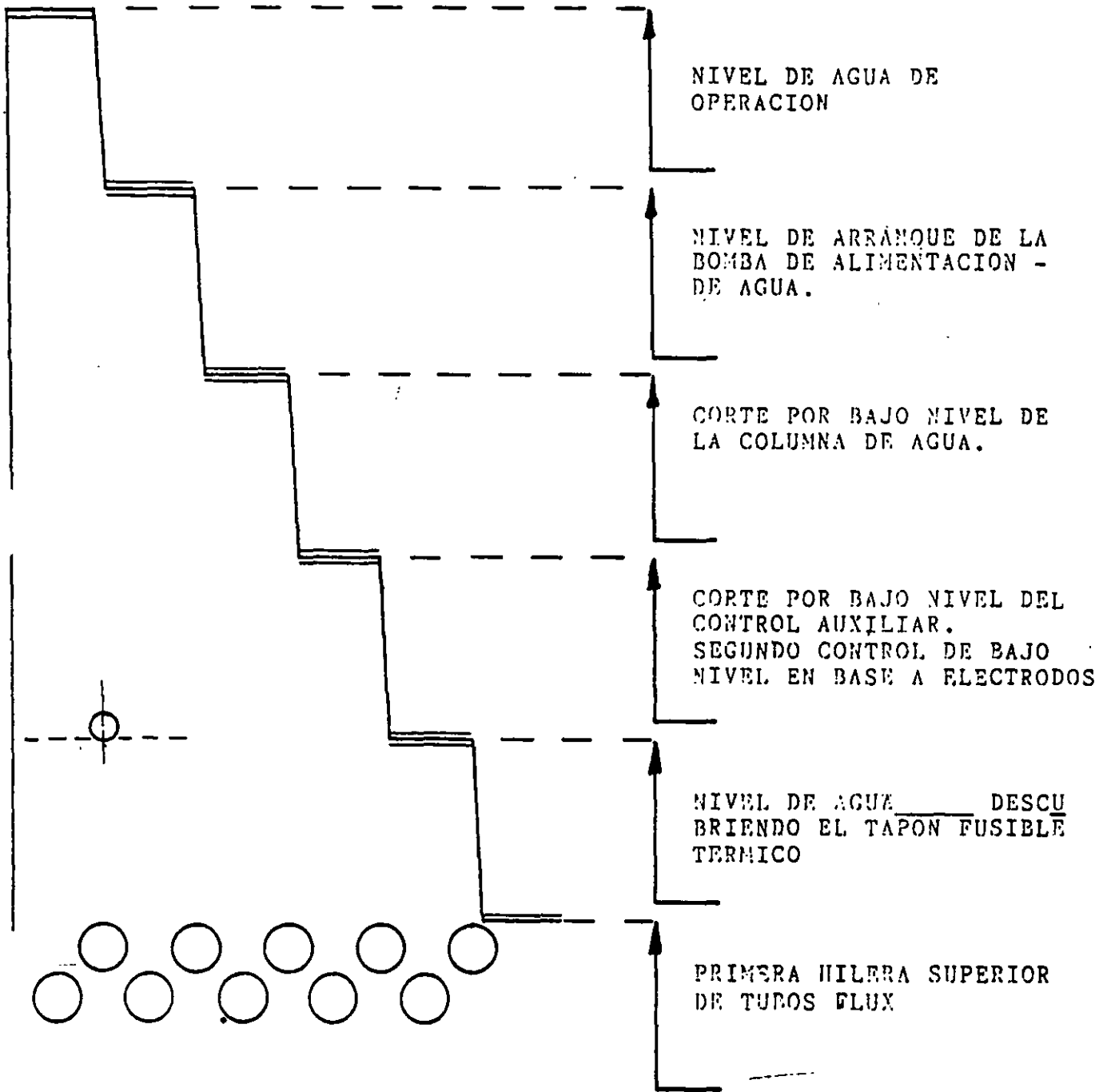
INDICADORES IMPORTANTES EN LA OPERACIÓN DE CALDERAS

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).



SCALE

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/cm², 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-SEIDG-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
BI.	TUBO ELECTRONICO 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.), INDEPENDIENTEMENTE DEL TIPO DE COMBUSTIBLE QUE UTILICEN; SE DEBERA DE UTILIZAR CONTROL DE SEGURIDAD CONTRA FALLA DE FLAMA 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 c.c.</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 c.c.</i>	Una o dos flamas	3.0 segundos	Q270A1024	C7027A1023 (Ultravioleta)	Integrado			Gas	Hasta 40	
R4795A1016 (Clase 8 B) <i>(71 c.c.)</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

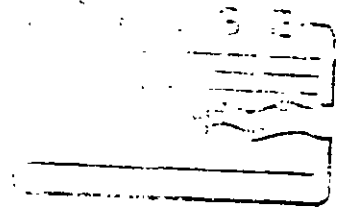
Nota: a partir de instalaciones cuya capacidad de liberación de calor sobrepase los 157 MJ/hr (37,500 kcal/hr) (44 c.c.) , independientemente del tipo de combustible que utilicen; se deberá de utilizar control de seguridad contra falla de flama con detección de flama por medios electrónicos (no térmico)

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.
TDFF=	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-027-SEDG-1996

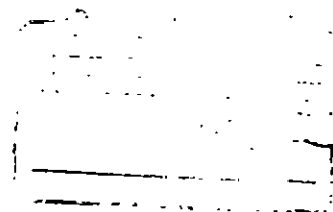
TABLA I.- CLASES DE CONTROLES DE SEGURIDAD DE FLAMA SEGUN EL CICLO DE TRABAJO

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V
CLASE	REGIM- CION	RECI- CLO	*TVA MAX	TPEF MAX	TDPF MAX	TDFE MAX	TDS MAX	TP MIN.	TPA MIN.	TPB MIN.	TCE MIN.	TRI MAX.	TPPE MIN.	TAPE MAX.	TPP MIN.	CONT. DE PASO DE COMBUST.	IGNI- CION	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	IT	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	PC o PI	315 (75 000)	SOLO GAS
2B	SI	NO	3	15	3	3	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT	PI o FB	420 (100 000)	SOLO DIESEL
3	NO	NO	3	15	3	3	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT	PI o FB	830 (150 000)	NO HAY
4A	NO	NO	3	15	3	3	15	15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO REQUIERE	IT	PI o FB	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	PI o FB	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	PI o FB	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	PI o FB	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	PI o FB	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	PI o FB	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	PP o FB	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	PP o FB	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	PP o FB	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	PP o FB	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	PP o FB	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	PP o FB	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	PP o FB	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	PT	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	PT	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	PP y PT	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	PP y PT	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	PI	SIN LIMITE	NOTA No 13
13B	NO	SI	3	10	3	3	15	45	30	15	X	NO	10	NO	15	MODULANTE	IT	PI	SIN LIMITE	NOTA No 13
14A	NO	NO	3	10	3	3	15	45	30	15	X	NO	10	10	15	MODULANTE	IT	PT	SIN LIMITE	NOTA No 13
14B	NO	SI	3	10	3	3	15	45	30	15	X	NO	10	10	15	MODULANTE	IT	PT	SIN LIMITE	NOTA No 13
15A	NO	NO	3	5	5	3	15	45	30	15	5	5	10	NO	15	MODULANTE	IT	PP	SIN LIMITE	NOTA No 13
15B	NO	SI	3	5	5	3	15	45	30	15	5	5	10	NO	15	MODULANTE	IT	PP	SIN LIMITE	NOTA No 13
16A	NO	NO	3	5	5	3	15	45	30	15	5	5	10	10	15	MODULANTE	IT	PP y PT	SIN LIMITE	NOTA No 13
16B	NO	SI	3	5	5	3	15	45	30	15	5	5	10	10	15	MODULANTE	IT	PP y PT	SIN LIMITE	NOTA No 13
17	NO	X	3	X	5	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	NOTA No 13	NOTA No 13

EQUIVALENCIA DE CONTROLES DE FLAMA DE ACUERDO A DISTINTOS FABRICANTES

HONEYWELL	FIREYE	CONTROL DE FLAMAS (NACIONAL)
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/cm², 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.

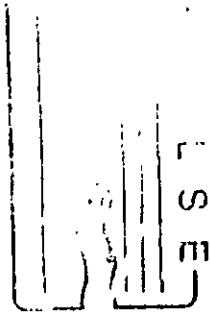
El fabricante del quemador indica cual es el % de CO₂ (bióxido de carbono) más idóneo para el funcionamiento eficiente del mismo. En la practica se recomiendan los siguientes valores:

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 ³ (kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			BIÓXIDO DE AZUFRE ppm V (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			ÓXIDOS DE NITRÓGENO ppm V (Kg/10 ⁶ 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 147000	Combustible 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	
147000 De 5,250 a 43,000 1204000	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 3080000	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 ₂ , CO, O ₂ , N ₂	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); ver anexo 3	líquido y gas
	SO ₂	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 _x	una vez por año	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	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 _x	una vez cada 6 meses	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	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 _x	permanente (3)	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	sólido, líquido y gas
	O ₂	permanente	continua; campo magnético o equivalente, con registrador como mínimo o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	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

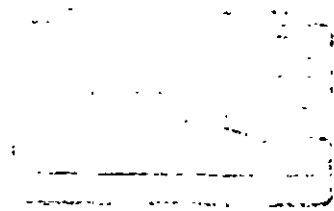
(3) El monitoreo continuo de NO_x será permanente en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey; con una duración de cuando menos 7 días una vez cada tres meses en las zonas críticas; y con una duración de cuando menos 7 días una vez cada seis meses en el resto del país.

(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"> • huella o mancha de hollín • opacidad 	----
Partículas suspendidas totales	<ul style="list-style-type: none"> • isocinético 	----
Óxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • quimiluminiscencia 	<ul style="list-style-type: none"> • infrarrojo no dispersivo
Óxidos de carbono	<ul style="list-style-type: none"> • infrarrojo no dispersivo • celdas electroquímicas* • orsat (O₂, CO₂ y CO) 	----
Oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> • celdas electroquímicas • paramagnéticos 	<ul style="list-style-type: none"> • orsat (O₂, CO₂ y CO) • óxidos de zirconio (celdas electroquímicas)
SO ₂	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"> • vía húmeda (torino) • infrarrojo no dispersivo • celdas electroquímicas Mayores de 5,250: <ul style="list-style-type: none"> • vía húmeda • infrarrojo no dispersivo

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 afranca 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 bimetalicos 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 manposa 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/cm²: 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.

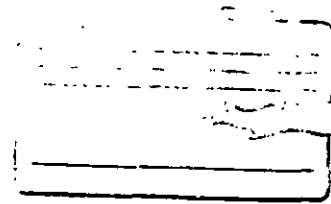
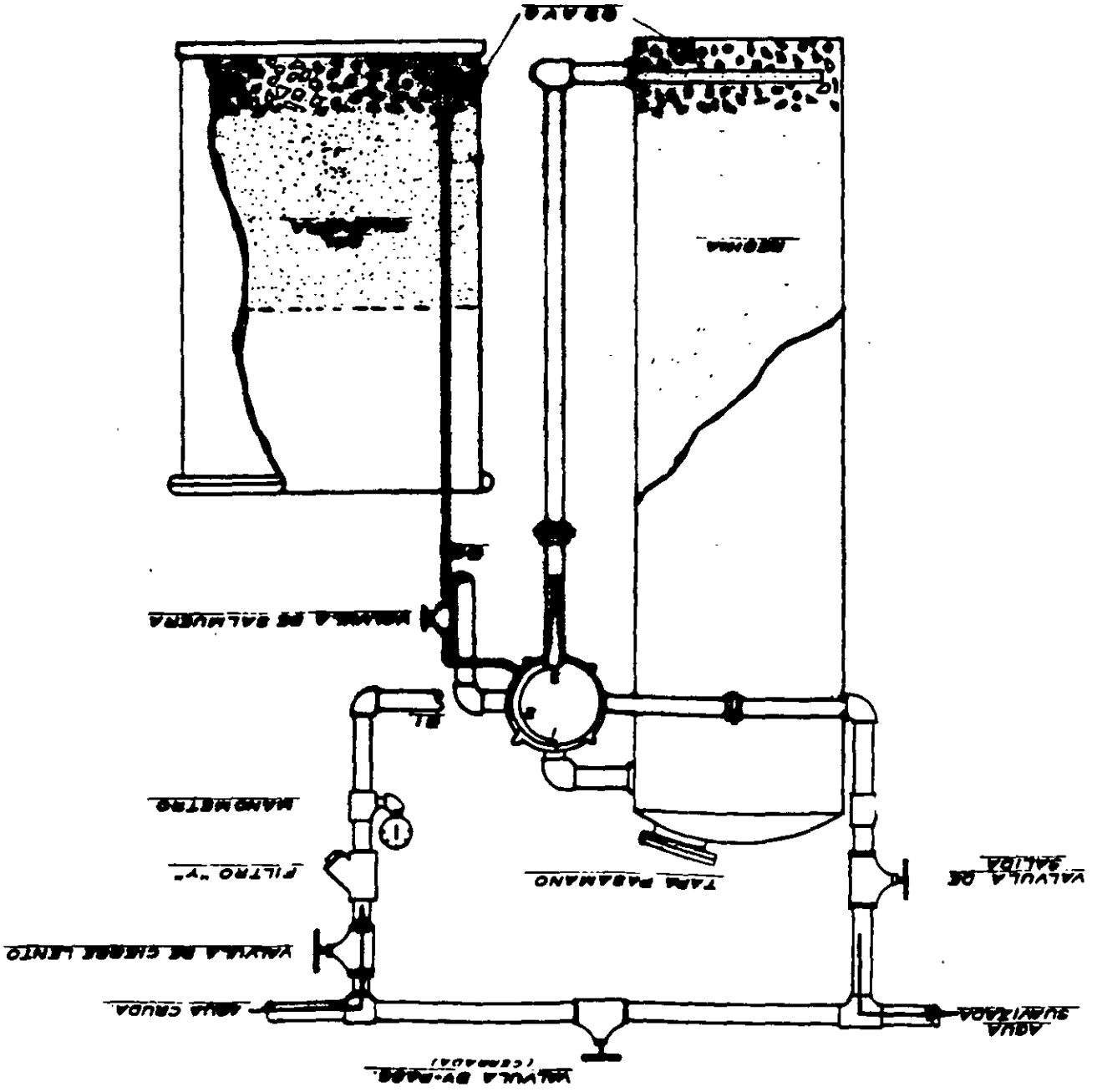
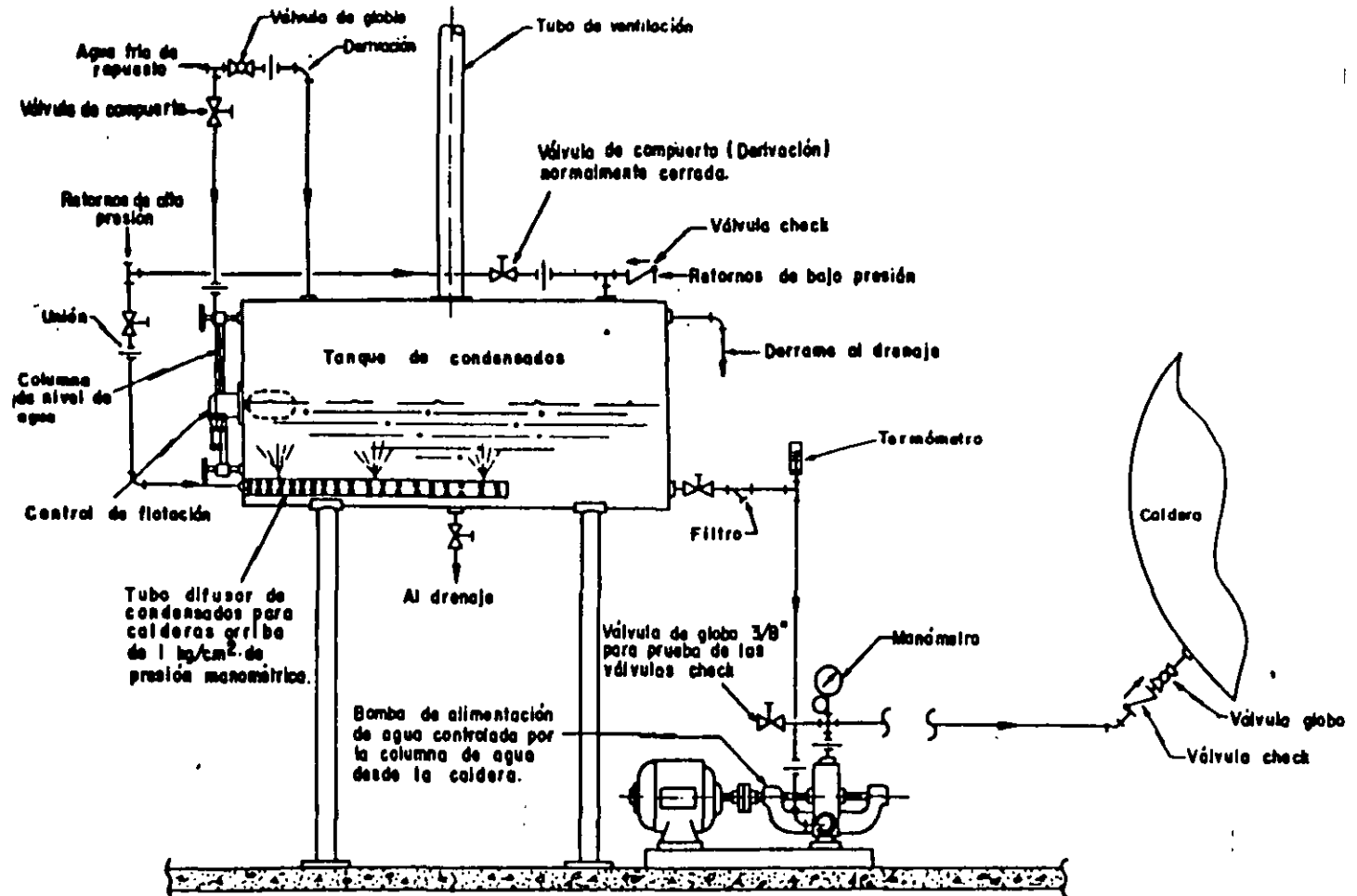
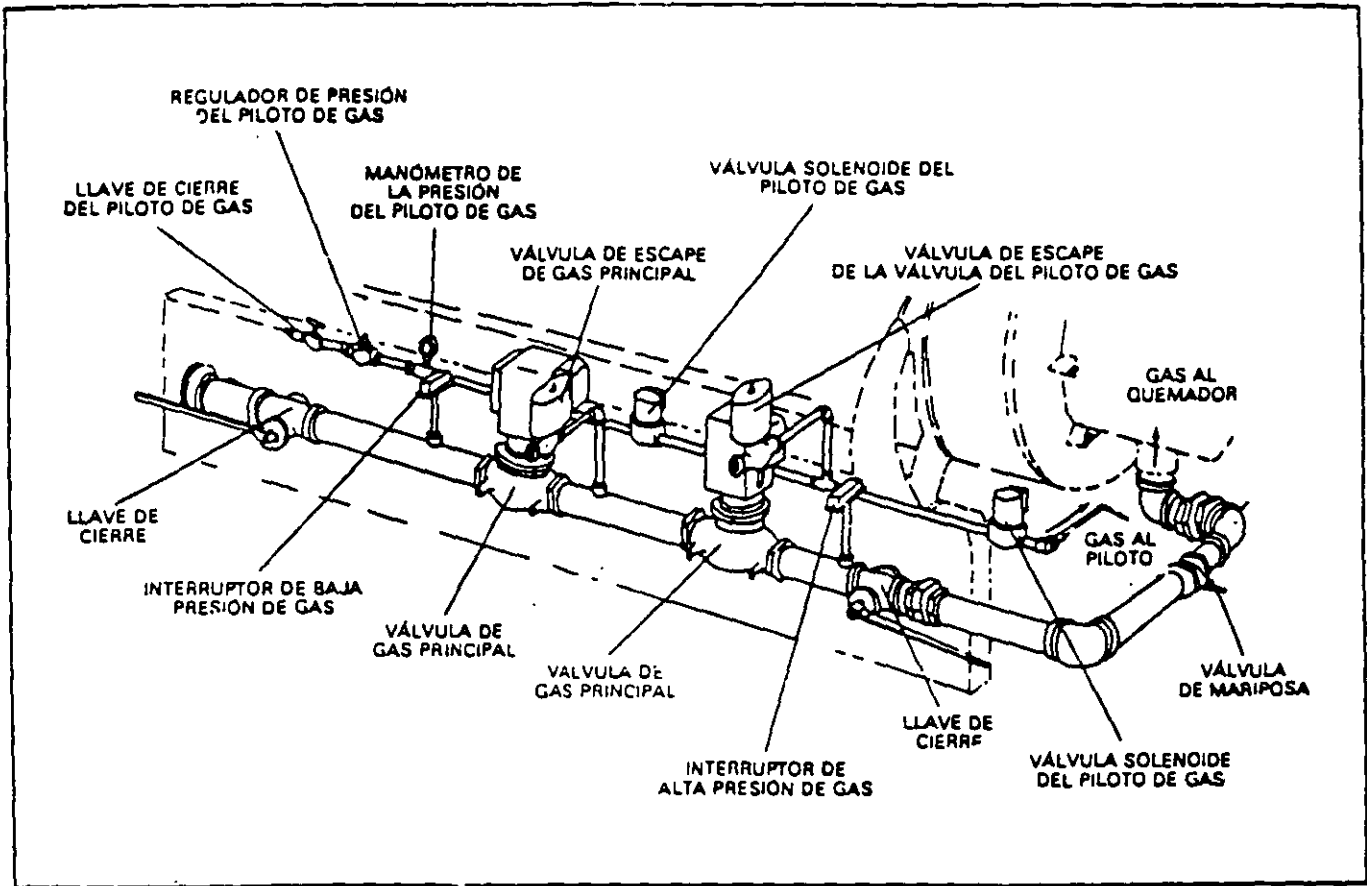


Fig. 1: La entrada de agua que a la salida de puertos múltiples en por la parte
 inferior de la misma.
 Fig. 2: Purga o drenaje.

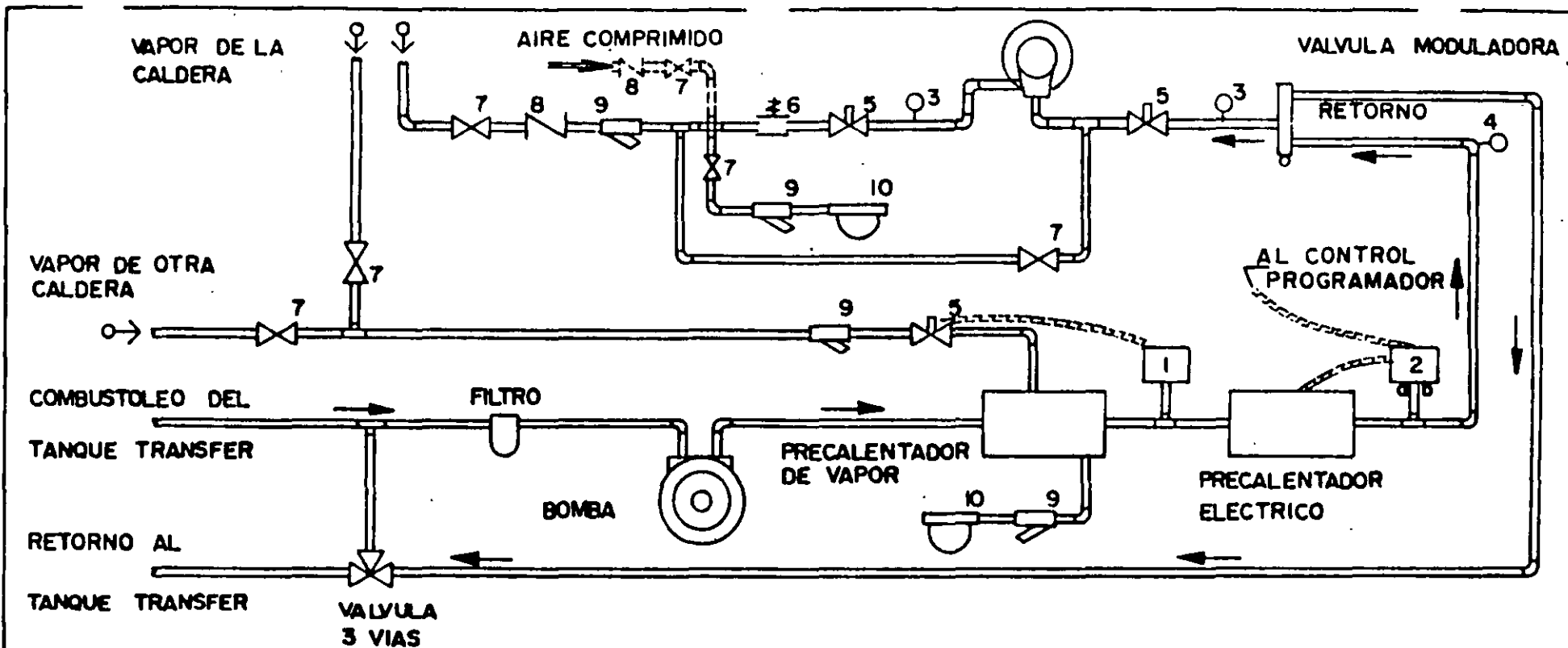


Tipico arreglo del tanque de condensados con tapas planas y bomba de agua de alimentaci3n .





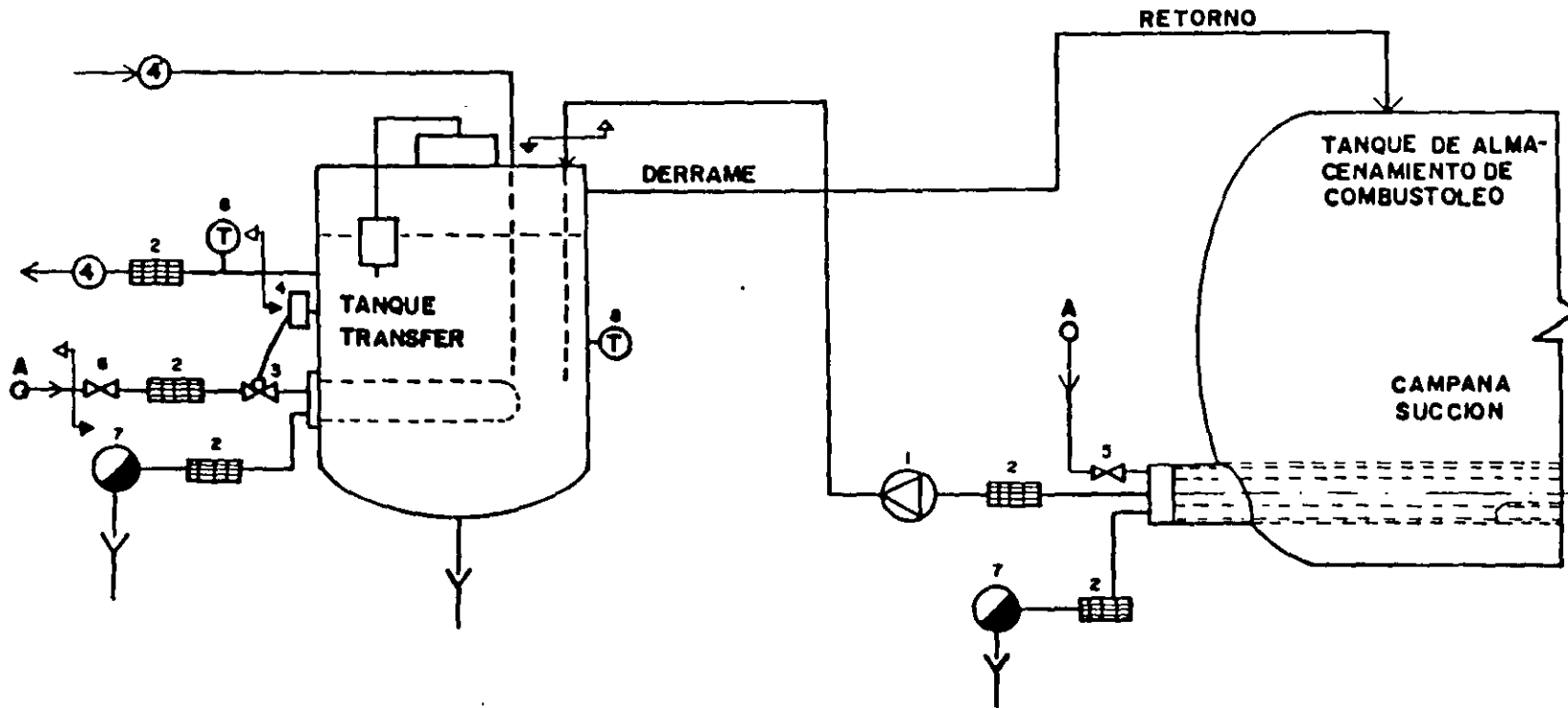
CONJUNTO BÁSICO DEL GAS



- ▶ COMBUSTOLEO
- ▶ AIRE COMPRIMIDO
- ▶ VAPOR

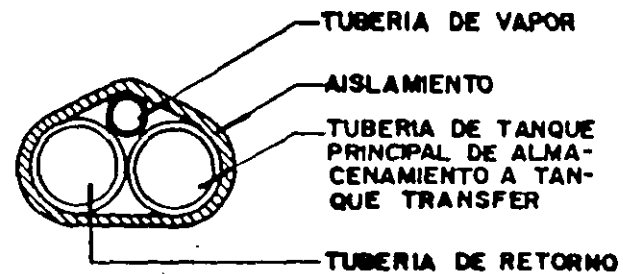
- 1- CONTROL DE TEMPERATURA
- a) ACCIONA LA VALVULA SOLENOIDE DE VAPOR.
- 2- CONTROL DE TEMPERATURA DUAL
- a) ACCIONA EL PRECALENTADOR ELECTRICO
- b) ACCIONA LA VALVULA SOLENOIDE DE COMBUSTOLEO
- 3- INDICADOR DE PRESION
- 4- INDICADOR DE TEMPERATURA
- 5- VALVULA SOLENOIDE
- 6- REGULADORA DE PRESION
- 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

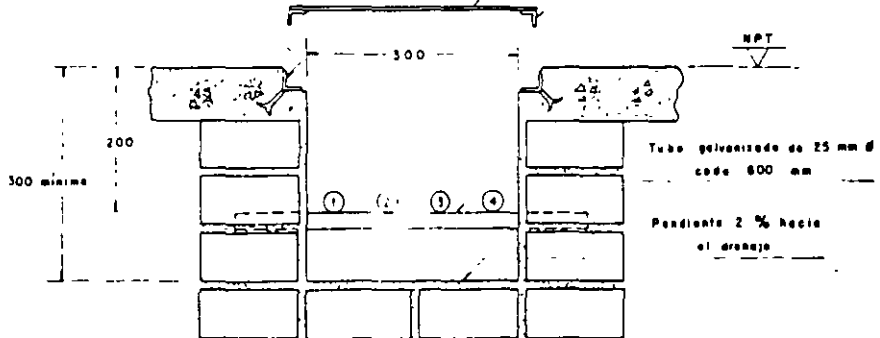
DETALLE DE GUIA DE TUBERIAS EN TRINCHERA



Fº ángulo corrido de 32 x 32
x 3 mm (con anclas)

Lamina antiderripenite
o rejilla

Fº ángulo en tramos de 800 mm.,
de 25 x 25 x 3 mm



DETALLE TRINCHERA

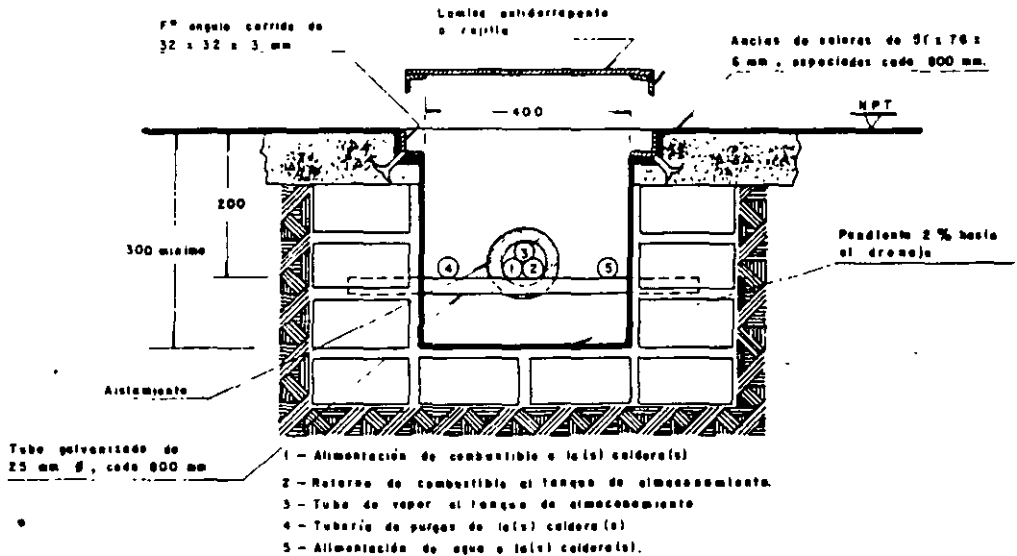
DIESEL

Fº ángulo en tramos de
800 mm., de 25 x 25 x 3 mm.

Fº ángulo corrido de
32 x 32 x 3 mm

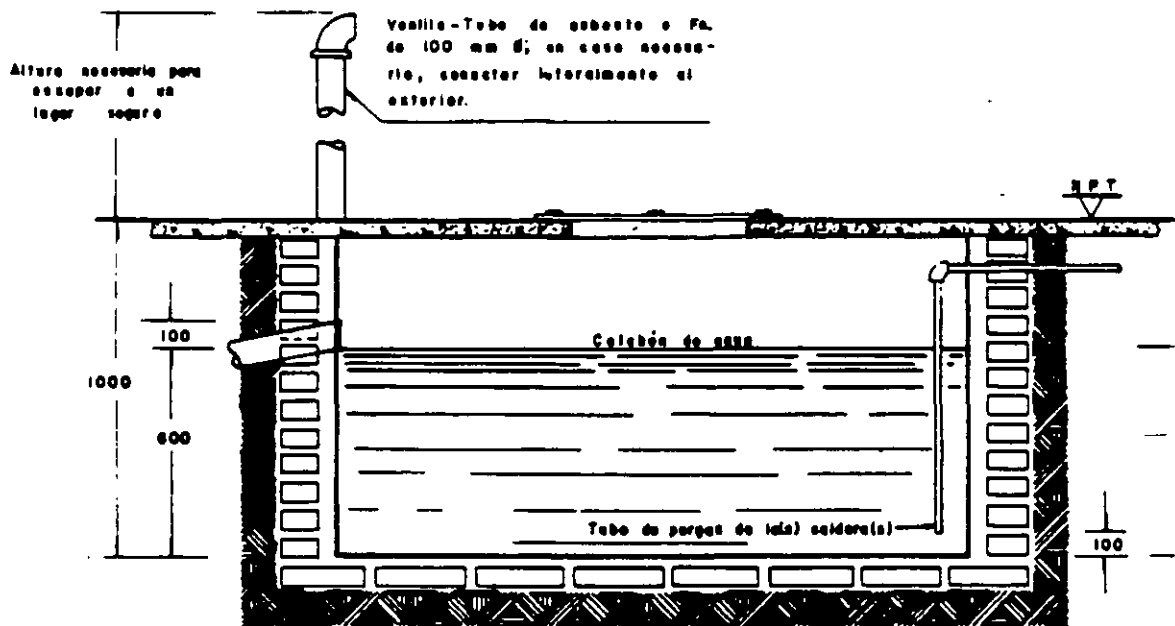
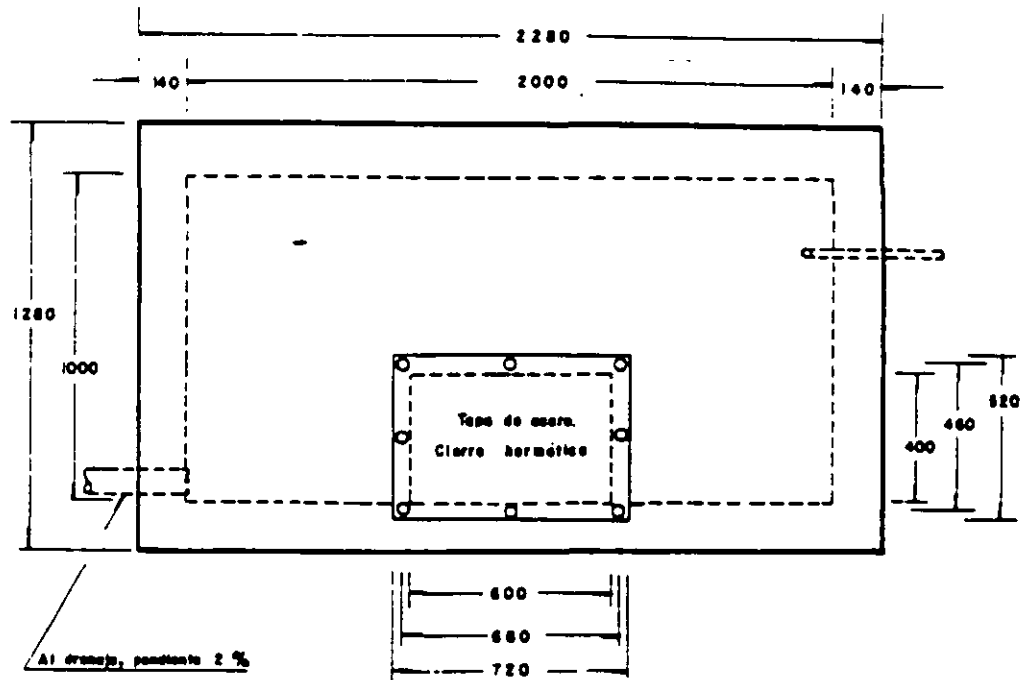
Lamina antiderripenite
o rejilla

Anclas de calorías de 91 x 76 x
6 mm., espaciadas cada 800 mm.

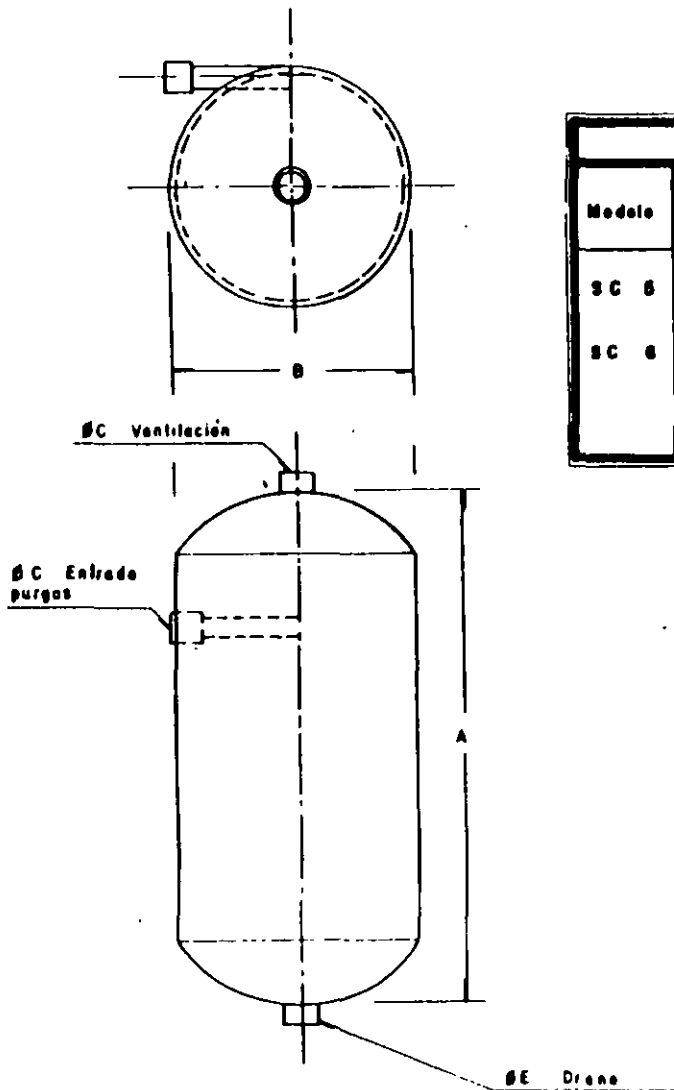


DETALLE TRINCHERA

PETROLEO PESADO



FOSA DE PURGAS



DIMENSIONES DEL SEPARADOR CENTRIFUGO									
Modelo	Ceballos Caldera	Presión Kg/cm ² (liba/pulg ²)	Volumen Lit.	Esesor placa mm (")	A mm	B mm	C mm (")	D mm (")	E mm (")
SC 8	126 a 360	10.5 (150)	75	7.9 (5/16)	864	366	38 (1-1/2)	152 (6)	102 (4)
SC 8	126 a 360	21.0 (300)	141	9.5 (3/8)	1422	366	38 (1-1/2)	152 (6)	152 (6)

SEPARADOR CENTRIFUGO

REFUERZOS

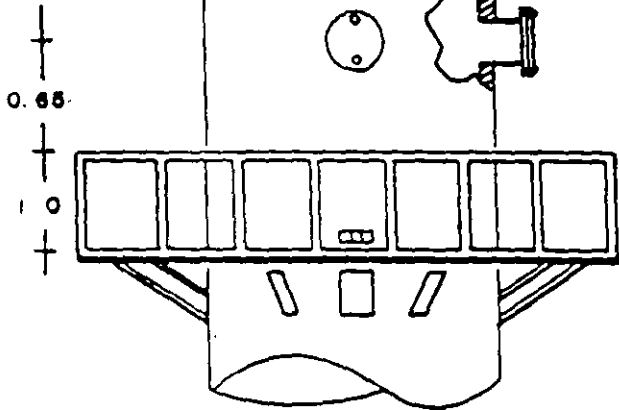
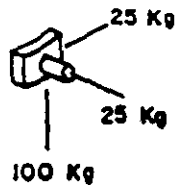


FIG. 4

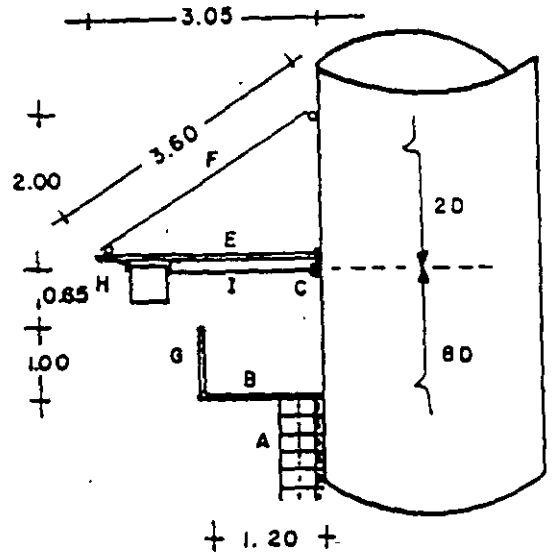


FIG. 5

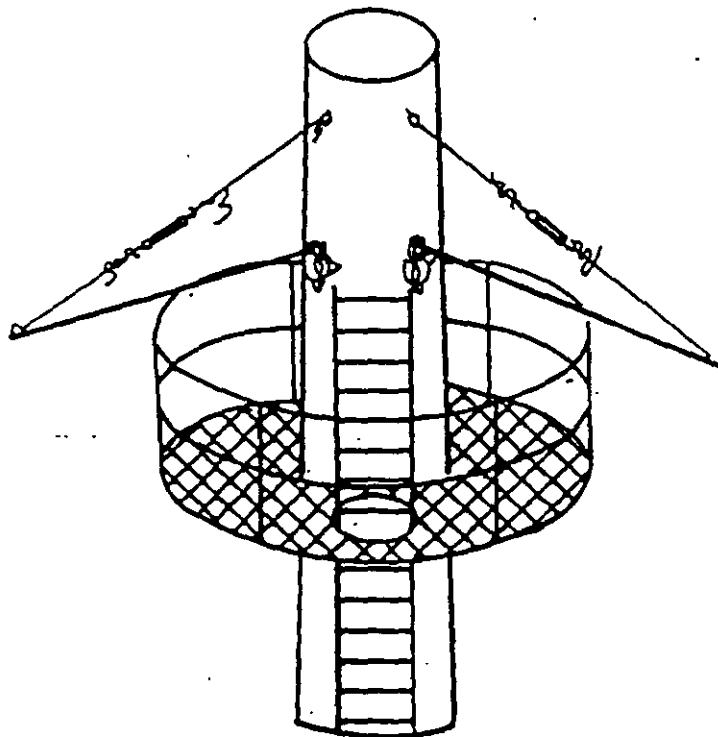
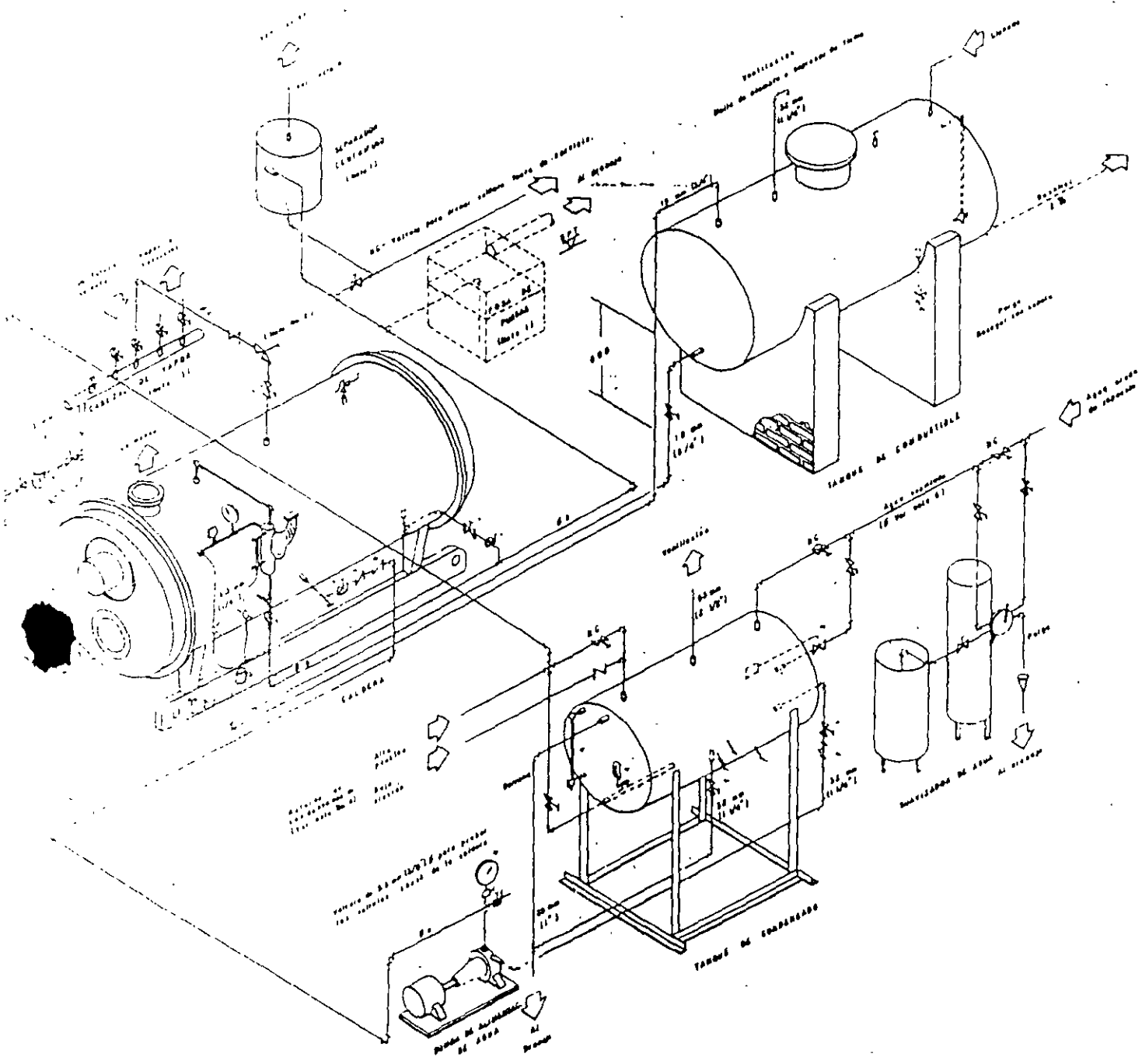


FIG. 6

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 INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

TANQUES CRIOGENICOS

**EXPOSITOR:
ING. JOSÉ LUIS TORRES JIMÉNEZ
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**

PROPIEDADES DEL AIRE

El aire no es un elemento ni un compuesto químico, es una mezcla de gases que pueden ser separados por diferentes métodos físicos, su composición aproximada es :

ELEMENTO	SIMBOLO	%
NITROGENO	N ₂	78
OXIGENO	O ₂	21
ARGON	Ar	0.9
BIOXIDO DE CARBONO	CO ₂	0.03

PROCESO DE OBTENCION DE OXIGENO, NITROGENO Y ARGON LIQUIDOS (LOX, LIN, LAR).

Se produce el oxígeno, nitrógeno y argón a partir de la destilación fraccionada del aire. el proceso se inicia con la **filtración** donde se separan las impurezas sólidas presentes en el aire tales como : polvo, insectos, hollín y basura. A continuación el aire pasa a una etapa de **compresión** elevar su presión y enviarlo al proceso, de esta manera entra a un sistema de **purificación** para eliminar la humedad, Bióxido de Carbono e Hidrocarburos.

Así el aire comprimido, seco y libre de impurezas es sometido a un **enfriamiento** a temperaturas criogénicas antes de enviarlo a las columnas de destilación donde por efectos de evaporación y condensación se separa en los elementos oxígeno, nitrógeno y argón para su almacenamiento.

PROCESO DE OBTENCION DEL BIOXIDO DE CARBONO

Es un compuesto formado por dos elementos carbono y oxígeno. El CO₂ no refinado (crudo), es obtenido de subproductos de las empresas petroleras en el proceso del amoniaco e hidrógeno.

Las empresas se encargan únicamente de purificarlo, deodorizar y licuar el bióxido de carbono.

El proceso se inicia con el suministro del CO₂ crudo a la succión del soplador para incrementar la presión y velocidad del fluido, después se envía a una torre de lavado donde se eliminan polvos.

Posteriormente y previo enfriamiento con agua, se elimina la parte de la humedad contenida en el CO₂ mediante un separador de humedad.

El siguiente paso del proceso es el secado, se realiza con un adsorbente de alúmina, una vez eliminada la humedad, se introduce el gas a unas torres de carbón activado para su deodorización.

La etapa de licuefacción del CO₂ se lleva a cabo en el evaporador del sistema de refrigeración.

PROPIEDADES BASICAS DEL OXIGENO

- a) Es un gas incoloro, inodoro, insípido y más pesado que el aire.
- b) El oxígeno líquido es de un color azul pálido.
- c) Ayuda a la combustión y oxidación en general sin arder, por lo cual se dice que es comburente y no combustible.
- d) La mezcla con hidrógeno en ciertas condiciones y proporciones forman una mezcla explosiva.
- e) Se combina fácilmente con otros elementos.

USOS DEL OXIGENO

- a) El oxígeno es utilizado para respiración artificial.
- b) En la combinación con un gas como : Acetileno e Hidrógeno.
- c) En la industria del vidrio : En la fabricación de ampollitas de vidrio para cerrarlas y contarlas mediante una flama de oxígeno propano.
- d) Se utiliza ampliamente en la fabricación del acero común y aceros especiales con objeto de reducir el tiempo de procesamiento.
- e) El oxígeno líquido se usa en combinación con el hidrógeno líquido

- f) En las naves espaciales como mezcla de combustible.

PROPIEDADES BASICAS DEL NITROGENO

- a) Es un gas incoloro, inodoro, insípido, más ligero que el aire, no corrosivo y no inflamable.
- b) El nitrógeno líquido es incoloro.
- c) Es un elemento inerte, es decir, no reacciona con ningún otro elemento.
- d) El nitrógeno no arde ni puede mantener la combustión de los cuerpos inflamados, ya que tiene la particularidad de diluir el oxígeno, atenuando la actividad de este.

USOS DEL NITROGENO

- a) se emplea en la fabricación de colorantes, plásticos y productos farmacéuticos.
- b) Como gas tiene un uso intenso para crear atmósferas inertes, reduciendo la actividad del oxígeno en las oxidaciones y combustiones.
- c) En sistemas eléctricos se utiliza en los transformadores para mantenerlos en una cámara inerte.
- d) El nitrógeno líquido se usa como refrigerante en el transporte y preservación de alimentos.

PROPIEDADES BASICAS DEL ARGON

- a) Es un gas incoloro, inodoro, insípido, más pesado que el aire, no corrosivo y no inflamable.
- b) Es un elemento inerte, ya que no reacciona con ningún elemento o compuesto
- c) El argón no arde, ni puede mantener la combustión de los cuerpos inflamados.

USOS DEL ARGON

- a) El argón se usa para llenado a presión reducida de lámparas eléctricas incandescentes (86% de argón y 14% de nitrógeno a la presión de 0.3 kg/cm²) y con otros gases como helio, neón, kriptón y radón para el llenado de bulbos especiales y pantallas de imagen, con la finalidad de obtener efectos especiales de color.
- b) Se utiliza para crear atmósferas inertes en los procesos de soldadura y corte con algunos materiales como : aluminio, magnesio y titanio para prevenir la oxidación de los metales que se están usando o cortando.

PROPIEDADES BASICAS DEL GAS CARBONICO CO2

- a) Es un gas incoloro, inodoro, insípido y es más pesado que el aire.
- b) Se licua con facilidad a -10 °C aproximadamente y a la presión atmosférica.
- c) Es un gas inerte y no tóxico, pero tiene la particularidad de desplazar al oxígeno provocando asfixia.
- d) No es combustible, es decir, no arde y por lo tanto desplaza al oxígeno apagando los materiales incendiados.

USOS DEL GAS CARBONICO

- a) En grandes cantidades se utiliza en la industria embotelladora de bebidas gaseosas, para el proceso de carbonatación del agua produciendo un sabor refrescante.
- b) Para la conservación y congelación de alimentos.
- c) Como materia prima en la elaboración del carbonato de calcio.
- d) Para el control y extinción de incendios.

LIQUIDO CRIOGENICO

Son aquellos gases que por efecto combinado de la presión y temperatura se encuentran en estado líquido.

RECIPIENTE CRIOGENICO

Aparato construido para almacenar y operar con fluidos en estado líquido a temperaturas bajas y criogénicas.

Uno de los principales beneficios de la tecnología criogénica y baja temperatura, reside en el hecho de que un número importante de gases se transforma en líquido, a temperatura inferior a la del ambiente.

Para estos propósitos se considera lo siguiente:

TEMPERATURA BAJA	0 °C	a	- 100 °C
TEMPERATURA CRIOGENICA	- 100 °C	a	- 273°C

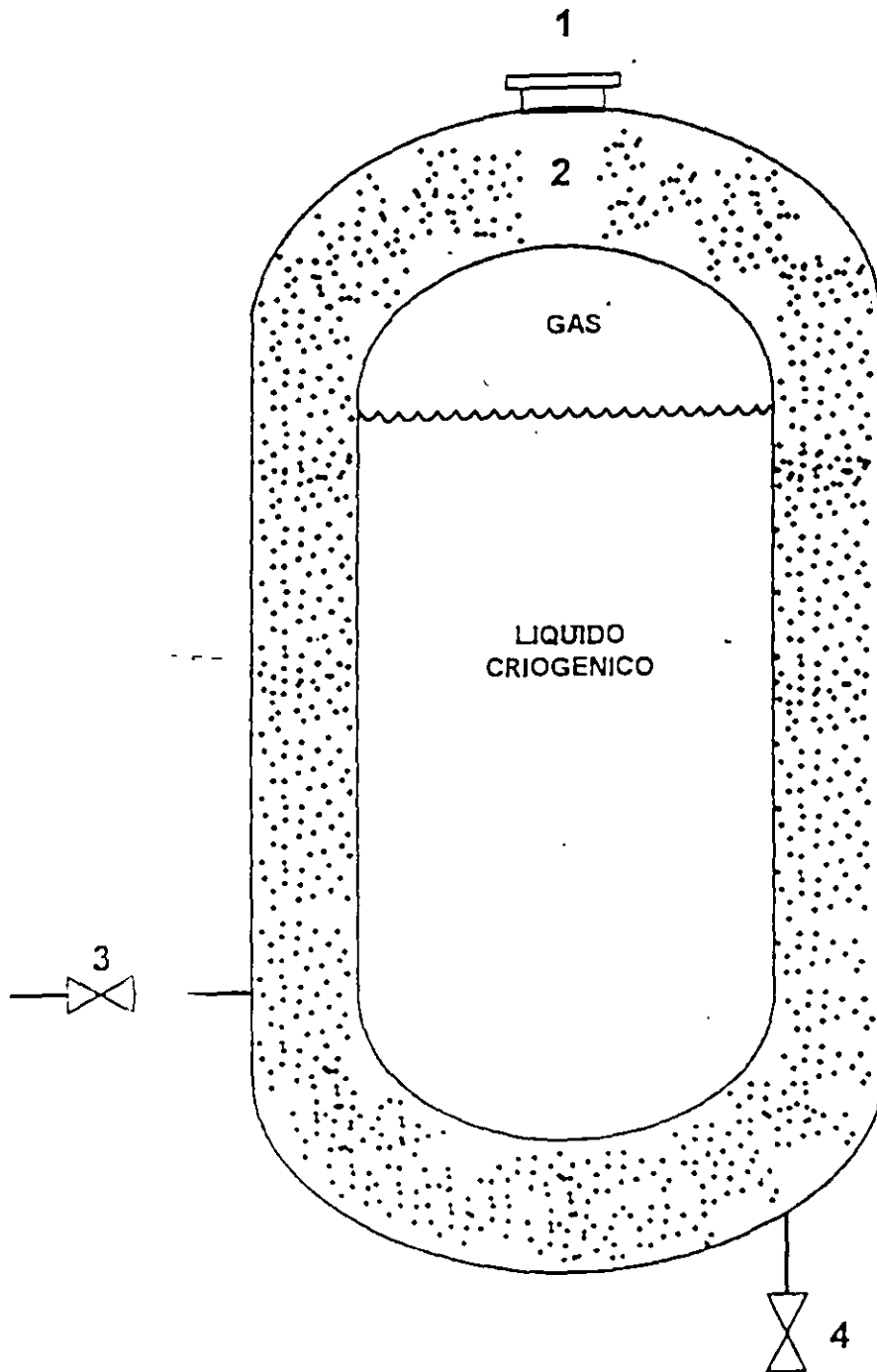
LOS TANQUES CRIOGENICOS SE PUEDEN CLASIFICAR DE LA SIGUIENTE MANERA :

a) Para el transporte	Horizontales
b) Para almacenamiento	Horizontales y verticales
c) Estacionarios y convertidores	Horizontales y verticales

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE UN TANQUE CRIOGENICO

- Sistema de vacío
- Llenado y consumo
- Elevo y relevo de presión
- Medición
- Seguridad

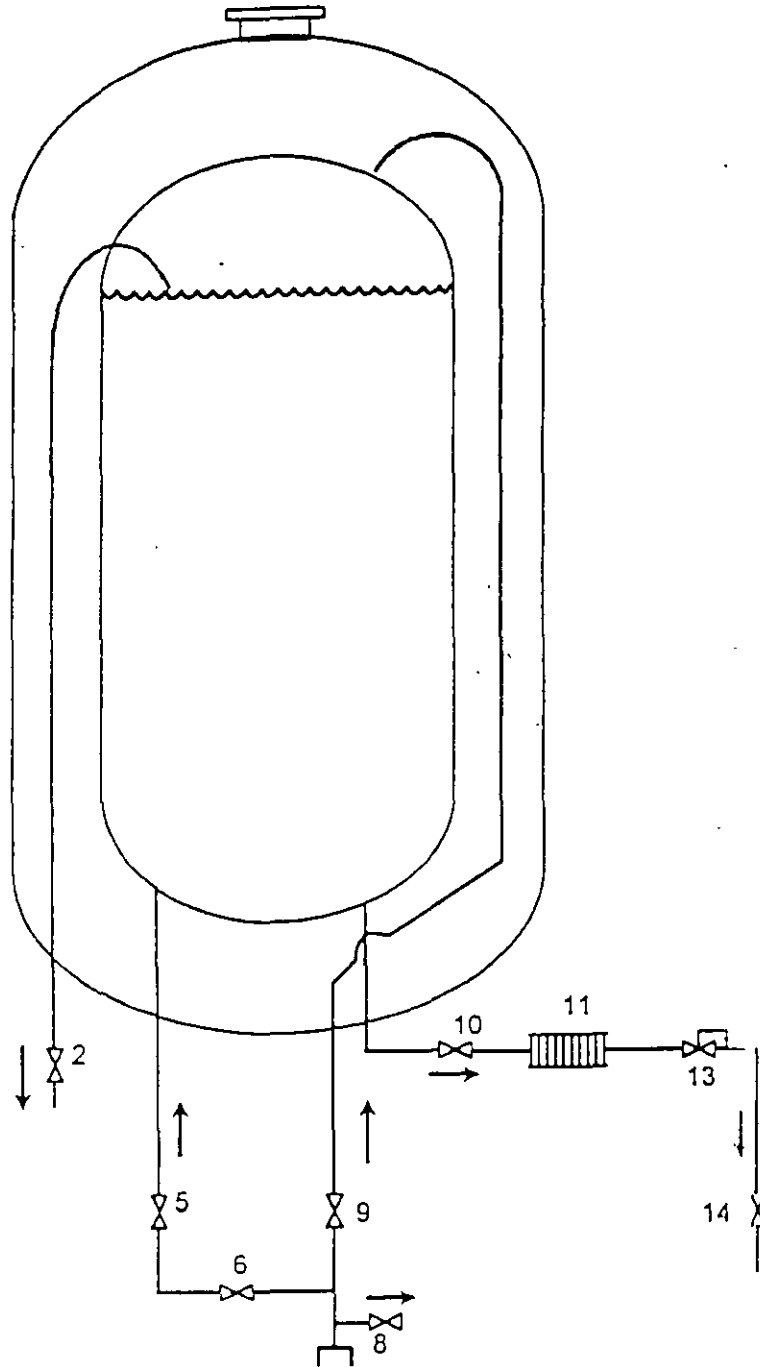
SISTEMA DE VACIO



1. FUSIBLE DE SEGURIDAD
2. CARLITA TIPO " D "
3. VALVULA HOKE PARA MEDIR VACIO
4. VALVULA PARA HACER VACIO (EVACUACION)

Figura No. 1

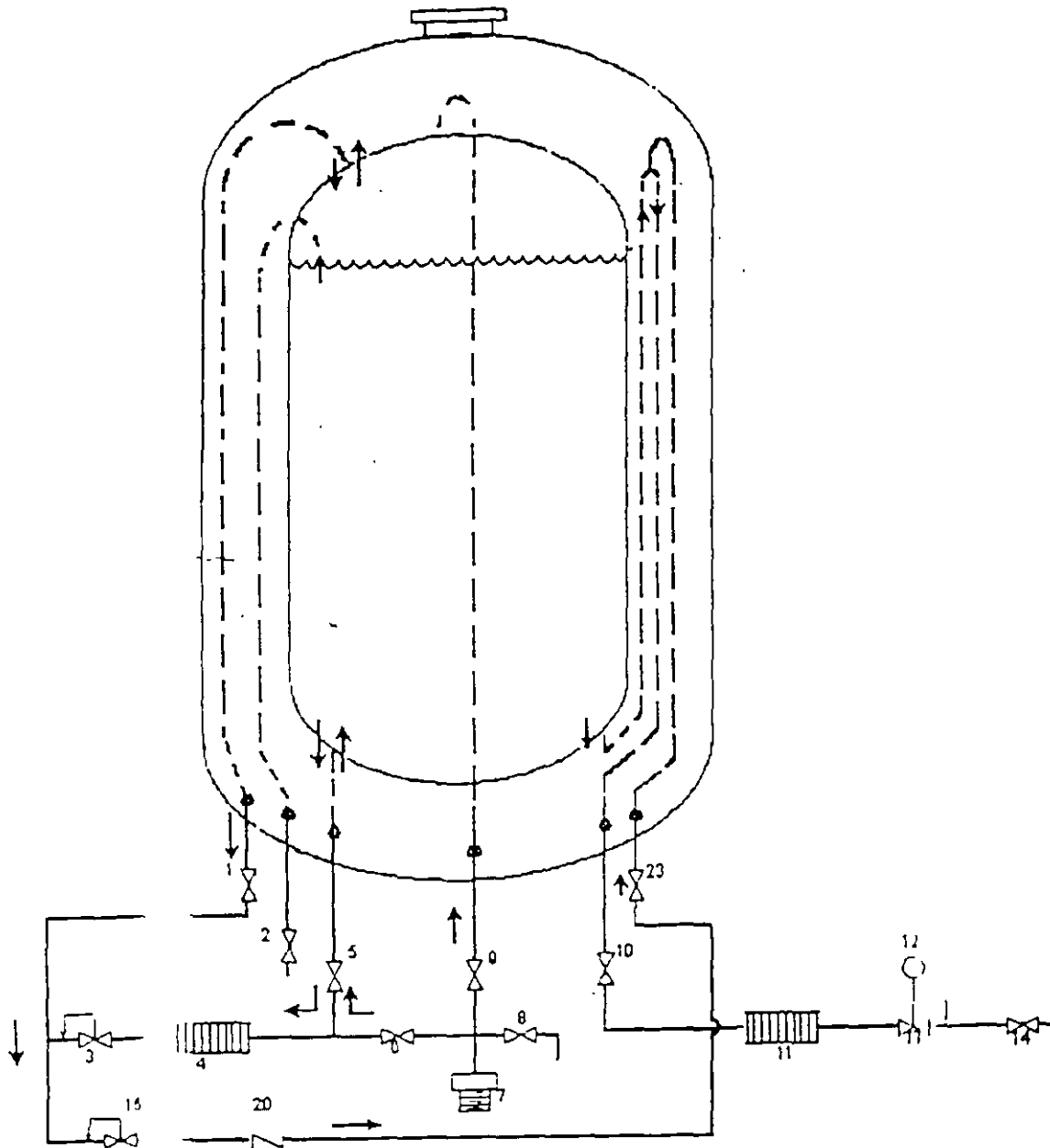
SISTEMA DE LLENADO Y CONSUMO



- | | |
|---------------------------------------|---|
| 10 VALVULA DE LIQUIDO A CONSUMO | 8. VALVULA DE PURGA |
| 9 VALVULA DE LLENADO SUPERIOR | 11. GASIFICADOR DE CONSUMO |
| 5 VALVULA DE LLENADO INFERIOR | 13. REGULADOR DE LINEA |
| 6 VALVULA LIQUIDO PARA ELEVAR PRESION | 14 VALVULA DE CONSUMO DE GAS A TABLETO DE CONTROL |
| 2 VALVULA DE DERRAME | |

Figura No. 2

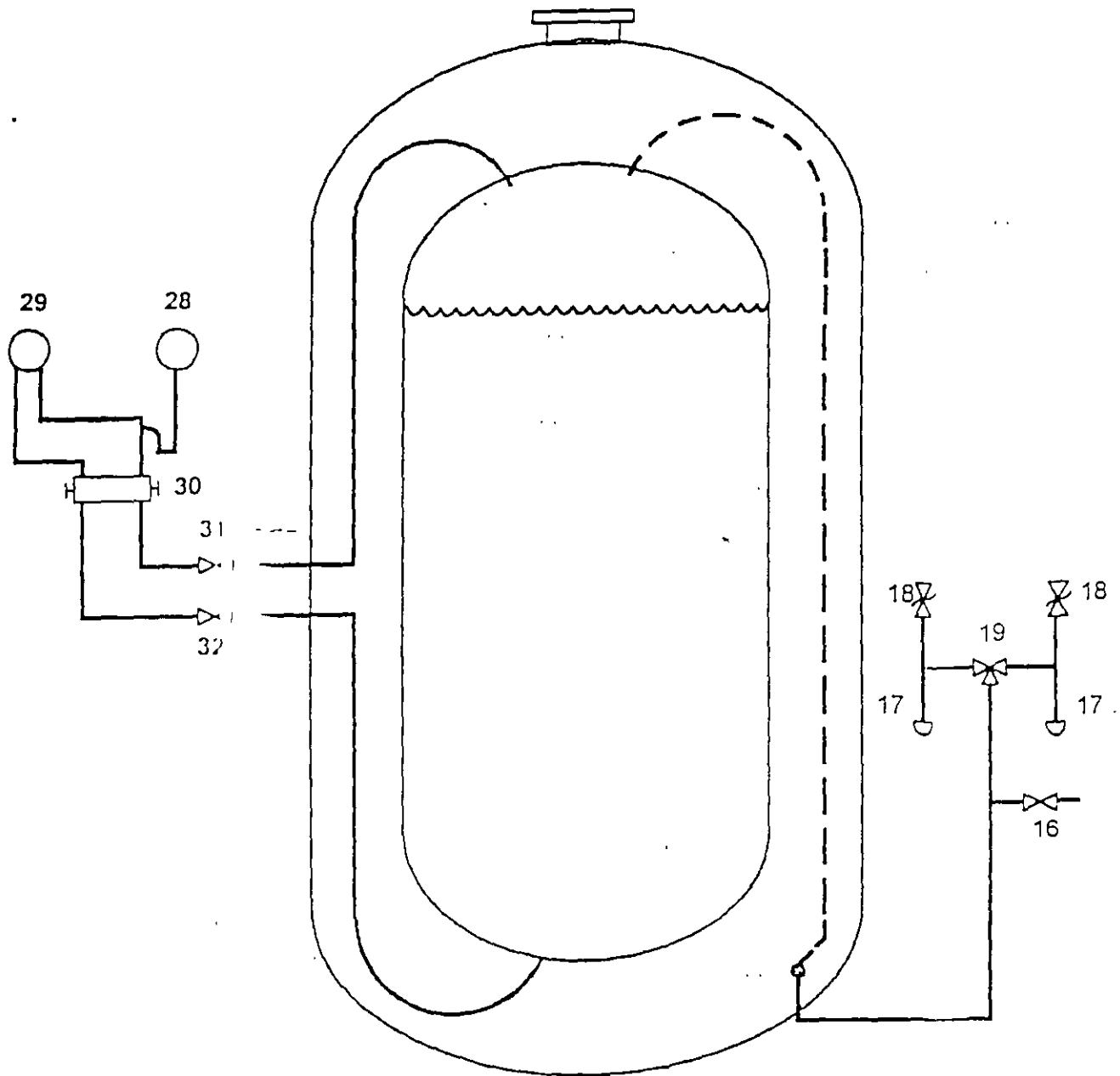
SISTEMA DE ELEVO Y RELEVO DE PRESION



- | | |
|--|---|
| 1. VALVULA DE BLOQUEO DE GAS DE ELEVO | 11. GASIFICADOR DE CONSUMO |
| 2. VALVULA DE DERRAME | 12. MANOMETRO M-2 |
| 3. REGULADOR PARA ELEVAR PRESION | 13. REGULADOR DE LINEA |
| 4. GASIFICADOR PARA ELEVAR PRESION | 14. VALVULA GAS A CONSUMO |
| 5. VALVULA LIQUIDO PARA ELEVAR PRESION | 15. REG. DE RELEVO DE PRESION |
| 6. VALVULA LLENADO INFERIOR | 20. VALVULA CHECK |
| 7. CONEXION DE CARGA | 23. VALVULA DE BLOQUEO DE GAS DE RELEVO |
| 8. VALVULA DE PURGA | |
| 9. VALVULA DE LLENADO SUPERIOR | |
| 10. VALVULA DE LIQUIDO A CONSUMO | |

Figura No. 3

SISTEMA DE MEDICION Y DE SEGURIDAD

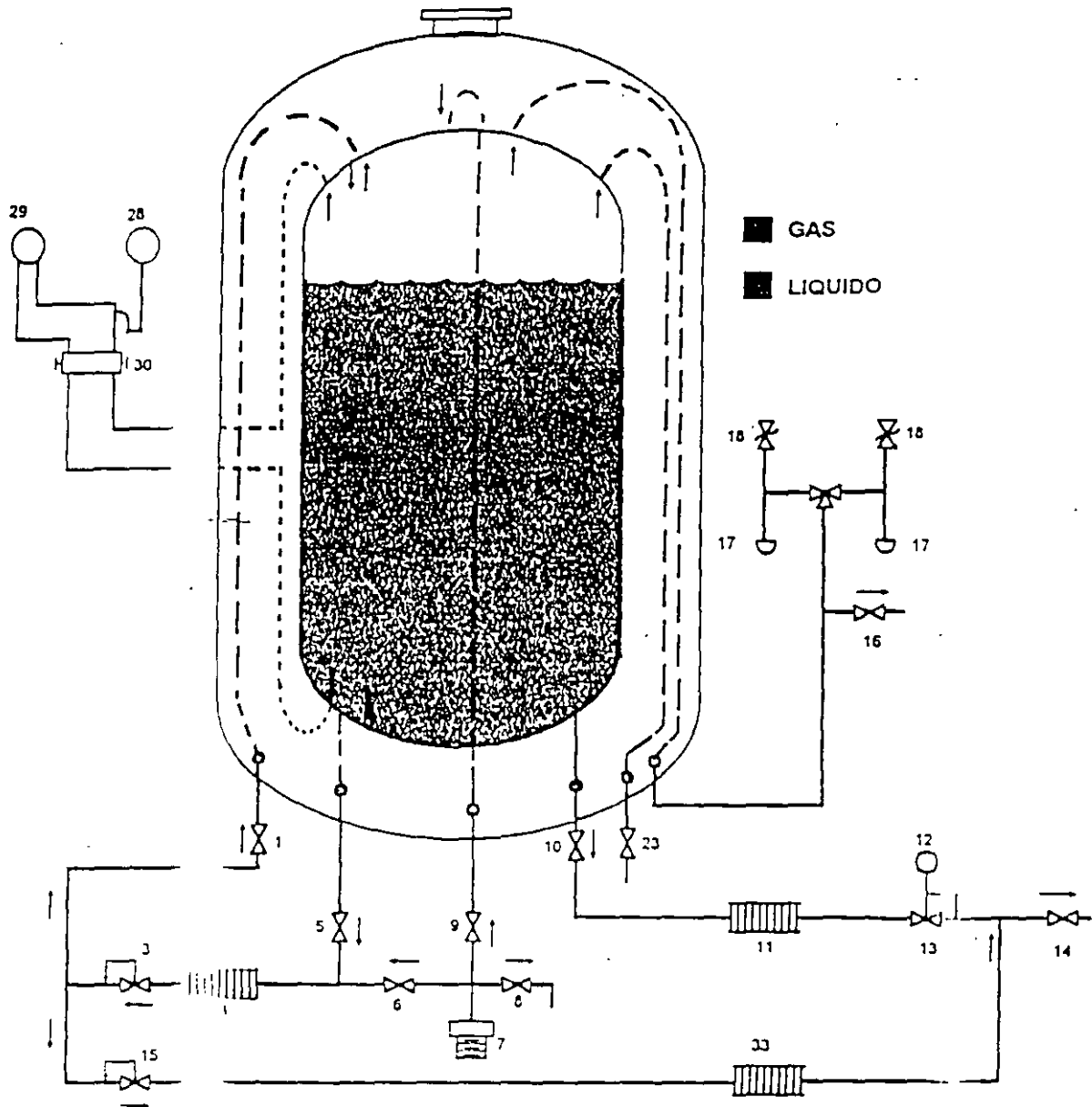


16 VALVULA DE
 17 DISCOS DE RUPTURA
 18 VALVULA DE
 19 VALVULA DE TRES

28. MANOMETRO DE PRESION DE 6" 0 - 211²
 29. INDICADOR DE
 30. VALVULA BLOCK DE 3
 32. VALVULA DE BLOQUEO DE LIQUIDO A
 31. VALVULA DE BLOQUEO DE GAS A

Figura No. 4

TANQUE CRIOGENICO DIAGRAMA TIPICO



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. VALVULA DE BLOQUEO DE GAS DE ELEVO 3. REGULADOR PARA ELEVAR PRESION 4. GASIFICADOR PARA ELEVAR PRESION 5. VALVULA LIQUIDO PARA ELEVAR PRESION 6. VALVULA LLENADO INFERIOR 7. CARGA DE PURGA 8. VALVULA DE PURGA 9. VALVULA DE LLENADO SUPERIOR 10. VALVULA DE LIQUIDO A CONSUMO 11. GASIFICADOR DE CONSUMO 12. MANOMETRO M-2 | <ul style="list-style-type: none"> 13. REGULADOR DE LINEA 14. VALVULA GAS A CONSUMO 15. REGULADOR DE RELEVO DE PRESION 16. VALVULA DE VENTEO 17. DISCO DE RUPTURA 18. VALVULAS DE SEGURIDAD 20. MANOMETRO DE PRESION DE 6" H₂O / kg/cm² 29. INDICADOR DE NIVEL 30. VALVULA DE BLOCK DE 3 VIAS 33. GASIFICADOR DE RELEVO |
|---|---|

Figura No. 5

BREVE HISTORIA DEL CODIGO ASME

El código para calderas y recipientes a presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (A.S.M.E.). Se originó ante la necesidad de proteger a la sociedad de las continuas explosiones de las calderas, por la falta de una reglamentación para su diseño y construcción.

Inglaterra fué uno de los primeros países que sintió esta necesidad, debido a uno de los más grandes desastres que sufrió la ciudad de Londres al explotar una caldera. En el año de 1815 se formó un comité, para investigar sobre el particular, después de analizar todos los efectos del accidente, logró establecer tres de las principales causas del desastre :

- Construcción inapropiada
- Material inadecuado
- Aumento gradual y excesivo de la presión

Al final de su informe, dicho comité recomendaba el empleo de cabezas semiesféricas, hierro forjado como material para la construcción y empleo de válvulas de seguridad.

CONTENIDO DEL CODIGO A.S.M.E.

◆ CODIGO DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESION

Código A.S.M.E.. Establece las reglas de seguridad que rigen en el diseño, la fabricación y la inspección de calderas y recipientes sujetos a presión.

◆ RECIPIENTE A PRESION

Se considera como un recipiente a presión, cualquier vasija cerrada que sea capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, ya sea presión interna o vacío, independientemente de su forma y dimensiones.

◆ PRESION DE OPERACION

Es la presión que se requiere, en el proceso del que forma parte el recipiente, a la cual trabaja normalmente este.

◆ PRESION DE DISEÑO

Es la presión que se emplea para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor que la de operación. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30 lb/pul² o 10% mas, que la presión de trabajo mayor.

◆ MAXIMA PRESION PERMITIDA DE OPERACION

Es la presión interna a la que está sujeto el elemento mas débil del recipiente, correspondiente al esfuerzo máximo admisible, cuando el recipiente se encuentra :

- a) En estado de desgaste por corrosión
- b) A una temperatura determinada
- c) En posición normal de trabajo
- d) Bajo el efecto de otras cargas (viento, presión externa, presión hidrostática), que son activas a la presión interna.

◆ PRESION DE LA PRUEBA HIDROSTATICA

Es una y media veces la máxima presión permitida de operación o la presión de diseño, cuando no se hacen los cálculos, para determinar la presión máxima permitida de trabajo.

◆ LOS RECIPIENTES A PRESION

Están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de diferentes intensidades en los componentes del recipiente. El tipo de intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

◆ CARGAS

- a) Presión interna o externa
- b) Peso del recipiente y su contenido
- c) Reacciones estáticas del equipo auxiliar
- d) Reacciones cíclicas y dinámicas, debido a la presión o variación térmica.
- e) Presión de viento y fuerzas sísmicas
- f) Reacciones por impacto debido a choque hidráulico
- g) Gradiente de temperatura y expansión térmica diferencial

◆ ESFUERZOS

- a) Esfuerzo a la tensión
- b) Esfuerzo longitudinal a la compresión
- c) Esfuerzo primario, combinación de cargas
- d) Esfuerzo primario, general por sismos o viento

◆ TIPOS DE RECIPIENTES

Los diferentes tipos de recipientes a presión que existen, se clasifican de la siguiente manera:

- a) POR SU USO: de almacenamiento y de proceso
- b) POR SU FORMA: Cilíndricos (verticales y horizontales esféricos).

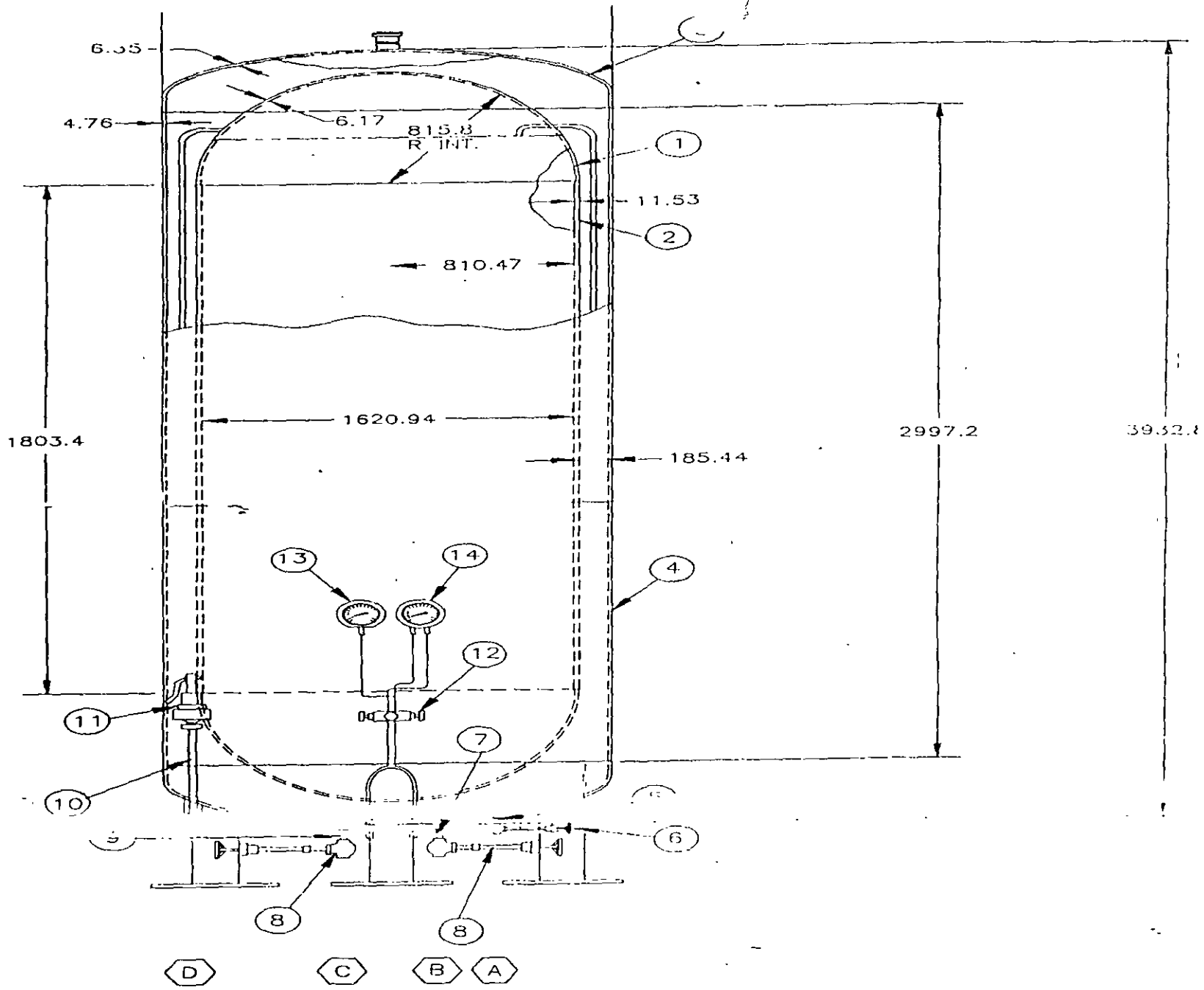


FIGURA No. 6

MEMORIA DE CALCULOS

A. CALCULO DE ESPESORES (CODIGO ASME SECCION VIII)

A.1. TAPA SEMIESFERICA

$$t = \frac{P R}{2 S E - 0.2 P}$$

DONDE :

P = PRESION DE DISEÑO	= 18.6 kg/cm ²
R = RADIO INTERIOR	= 815.8 cm
S = ESFUERZO PERMISIBLE	= 1322.08 kg/cm ²
E = EFICIENCIA	= 1
t = ESPESOR	

POR LO TANTO :

$$t = \frac{18.6(815.8)}{2(1322.08)(1) - 0.2(18.6)} = 5.75mm.$$

ESPESOR USADO = 6.17 mm

A.2. CUERPO CILINDRICO

$$t = \frac{P R}{S E - 0.6 P}$$

DONDE :

P = PRESION DE DISEÑO	= 18.6 kg/cm ²
R = RADIO INTERIOR	= 810.47 cm
S = ESFUERZO PERMISIBLE	= 1322.08 kg/cm ²
E = EFICIENCIA	= 1
T = ESPESOR	

POR LO TANTO :

$$t = \frac{18.6(810.47)}{1322.08(1) - 0.6(18.6)} = 11.50mm.$$

ESPESOR USADO = 11.53 mm

B. CALCULO DE PRESION MAXIMA PERMISIBLE

B.1. TAPA SEMIESFERICA

$$P = \frac{S E t}{R + 0.2 t}$$

DONDE :

P = PRESION

R = RADIO INTERIOR = 815.8 cm

S = ESFUERZO PERMISIBLE = 1322.08 kg/cm²

E = EFICIENCIA = 1

t = ESPESOR = 6.17 mm

POR LO TANTO :

$$P = \frac{2(1322.08)(1)(6.17)}{815.8 + 0.2(6.17)} = 19.97 \text{ kg / cm}^2$$

B.2 CUERPO CILINDRICO

$$P = \frac{S E t}{R + 0.6 t}$$

DONDE :

P = PRESION

R = RADIO INTERIOR = 810.47 cm

S = ESFUERZO PERMISIBLE = 1322.08 kg/cm²

E = EFICIENCIA = 1

t = ESPESOR = 11.53 mm

POR LO TANTO :

$$P = \frac{1322.08(1)(11.53)}{810.47 + 0.6(11.53)} = 18.65 \text{ kg / cm}^2$$

C. CHAQUETA

NO ES PARTE SUJETA A PRESION INTERNA SOLO CONTENEDOR DE AISLAMIENTO PARA REDUCIR LA TRANSFERENCIA TERMICA.

D.1. CALCULO DE Gi

$$t = \text{TEMPERATURA DE FLUJO DEL LIQUIDO A } 17.58 \text{ kg/cm}^2 \\ = -142.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Z = \text{FACTOR DE COMPRESIBILIDAD} = 1.0$$

$$T = \text{TEMPERATURA ABSOLUTA DEL LIQUIDO A } 17.58 \text{ kg/cm}^2 = -142.7 \\ + 273 = 130.3 \text{ K}$$

$$M = \text{PESO MOLECULAR (OXIGENO)} = 32$$

$$L = \text{CALOR LATENTE DE VAPORIZACION DE OXIGENO LIQUIDO A} \\ 17.58 \text{ kg/cm}^2 = 37.847 \text{ Kcal/kg}$$

$$C = \text{CONSTANTE DE GAS} = 356$$

$$G_i = \frac{0.1024(649 - t)}{L C} \sqrt{\frac{Z T}{M}} =$$

$$= \frac{0.1024(649 - (-142.7))}{37.847(356)} \sqrt{\frac{1.0(130.3)}{32}}$$

$$= 0.01214$$

D.2. CALCULO DE $U = \frac{\text{CONDUCTIVIDAD TERMICA}}{\text{ESPESOR DEL AISLAMIENTO}}$

EN DONDE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA = 1.45 Kcal - m/Hr °C m²

ESPESOR DEL AISLAMIENTO = 185.44 mm = 0.1854 m

$$U = \frac{1.45 \frac{\text{Kcal} - \text{m}}{\text{Hr} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ m}^2}}{0.1854} = 7.82 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ m}^2}$$

D.3. CALCULO DE AREA

A1 = AREA DE LA ESFERA = πd_e^2 ,

EN DONDE d_e = DIAMETRO EXTERIOR DE LA ESFERA = 1.6439 m

POR LO TANTO :

$$A1 = \pi(1.6439)^2 = 8.48 \text{m}^2$$

A2 = AREA DEL CILINDRO = $\pi d_e(L)$

EN DONDE d_e = DIAMETRO EXTERIOR DEL CILINDRO = 1.644 m
L = 1.8034 m

POR LO TANTO :

$$A2 = \pi(1.644)(1.803) = 9.312m^2$$

$$\text{AREA TOTAL} = A1 + A2 = 8.348 + 9.312 = 17.792 m^2$$

D.4. CALCULO DE FLUJO

$$Qa = Gi UA^{0.82}$$

EN DONDE :

$$Gi = 0.01214$$

$$A = 17.792 m^2$$

$$U = 7.82 \frac{Kcal}{Hr^0 C m^2}$$

$$Qa = 0.01214 (17.792)^{0.82} = 1.006 m^3 /min.$$

D.5. CALCULO DE AREA DE VALVULA DE SEGURIDAD

EN DONDE :

$$W_c = Q_a = 1.006 \text{ m}^3 / \text{min}$$

M = PESO MOLECULAR

T = TEMPERATURA ABSOLUTA

Z = FACTOR DE COMPRESIBILIDAD

C = CONSTANTE DE GAS

K_d = COEFICIENTE DE DESCARGA

$$P = 17.58 (1.1) + 1.03 = 20.368 \text{ kg/cm}^2$$

FP = FACTOR DE CORRECCION

DIAMETRO DE LA VALVULA DE SEGURIDAD USADO = 19 mm
CON ORIFICIO DE 126 mm² (0.196 pulg.²)

$$\text{AREA REQUERIDA} = 0.0335 \text{ cm}^2 = (0.196 \text{ pulg.}^2)$$

POR LO TANTO :

$$\Delta = \frac{W_c \sqrt{MTZ}}{0.2938 C K d P F_p} =$$

$$= \frac{1.006 \sqrt{32(130.3)(1)}}{0.2938(356)(0.91)(20.368)(1)}$$

$$= 0.0335 \text{ cm}^2$$

NOTAS : PRESION DE DISEÑO CONFORME A UG -22 (PRESION INTERIOR + CARGAS ADICIONALES = 17.58 + 1.02 = 18.6 kg/cm²)

PRESION DE PRUEBA HIDROSTATICA CONFORME A ULT - 99 (PRESION DE DISEÑO + COLUMNA DE LIQUIDO) = (18.6 X 1.6) = 30.6

$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

IDENTIDAD	CANTIDAD	SERVICIO
D	1	LINEA DE SEGURIDAD
C	1	SALIDA PRODUCTO
B	1	LLENADO
A	1	DERRAME

MATERIALES UTILIZADOS :

No.	NOMBRE	ESPECIFICA	CANT. MAT.	DESCRIPCION	
14	INDICADOR DE NIVEL		1	GRADUADO 0-100 PUNTOS	ITT
13	MANOMETRO		1	6.35 mm CALIBRADO 0-40 kg/cm ²	METRON
12	VALVULA PASO INSTRU		1	VALVULA 3.2 mm Ø 3 VIAS	
11	VALVULA DE SEGURIDAD		1	19.0 mm Ø MOD.11 W orificio 126 mm ² (o.196 in ²)	REYCO
10	TUBERIA	SA-312-304	5	25.4 mm Ø CED. 10	
09	TUBERIA	SA-312-304	0.4	25.4 mm Ø CED. 10	
08	VALVULA		2	GLOBO 25.4 mm Ø	
07	TUBERIA	SA-312-304	0.4	25.4 mm Ø CED. 10	
06	VALVULA		1	GLOBO 12.7 mm Ø	
05	TUBERIA	SA-312-304	4.6	12.7 mm Ø CED. 10	
04	CUERPO EXTERIOR	SA-285-C	1	CILINDRICO = 2024.4 mm Ø ext. x 2997.2 mm LGO.	
03	TAPA EXTERIOR	SA-285-C	2	TORIESFERICA = 2024.4 mm Ø ext.	
02	CUERPO INTERIOR	SA-240-304	1	CILINDRICO = 1620.94 mm Ø int. x 1803.4 mm LGO.	
01	TAPA INTERIOR	SA-240-304	2	SEMIESFERICA = 1631.6 mm Ø int.	

CARACTERISTICAS DE DISEÑO

VOLUMEN NOMINAL	5996 lts	PRESION DE OPERACION	6.0 kg/cm ²
PRESION DE DISEÑO	18.6 kg/cm ²	PRESION DE CALIBRACION V.S.	17.58 kg/cm ²
PRESION DE PRUEBA	30.6 kg/cm ²	EFICIENCIA DE SOLDADURA	1
PRESION MAXIMA DE TRABAJO	17.58 kg/cm ²	ESFUERZO PERMISIBLE A LA TENSION	1322.08 kg/cm ²
FACTOR DE SEGURIDAD	4	RELEVO DE ESFUERZOS	NO
TEMPERATURA DE DISEÑO	- 142.7 ° C	TOLERANCIA A LA CORROSION	0
RADIOGRAFIADO	100 %	FABRICANTE DEL RECIPIENTE	EDASA
PESO ESTIMADO	3720 kg	TIPO DE AUTORIZACION	INSTALACION
		AUTORIZACION POR CONSTRUCCION	C-932549-02

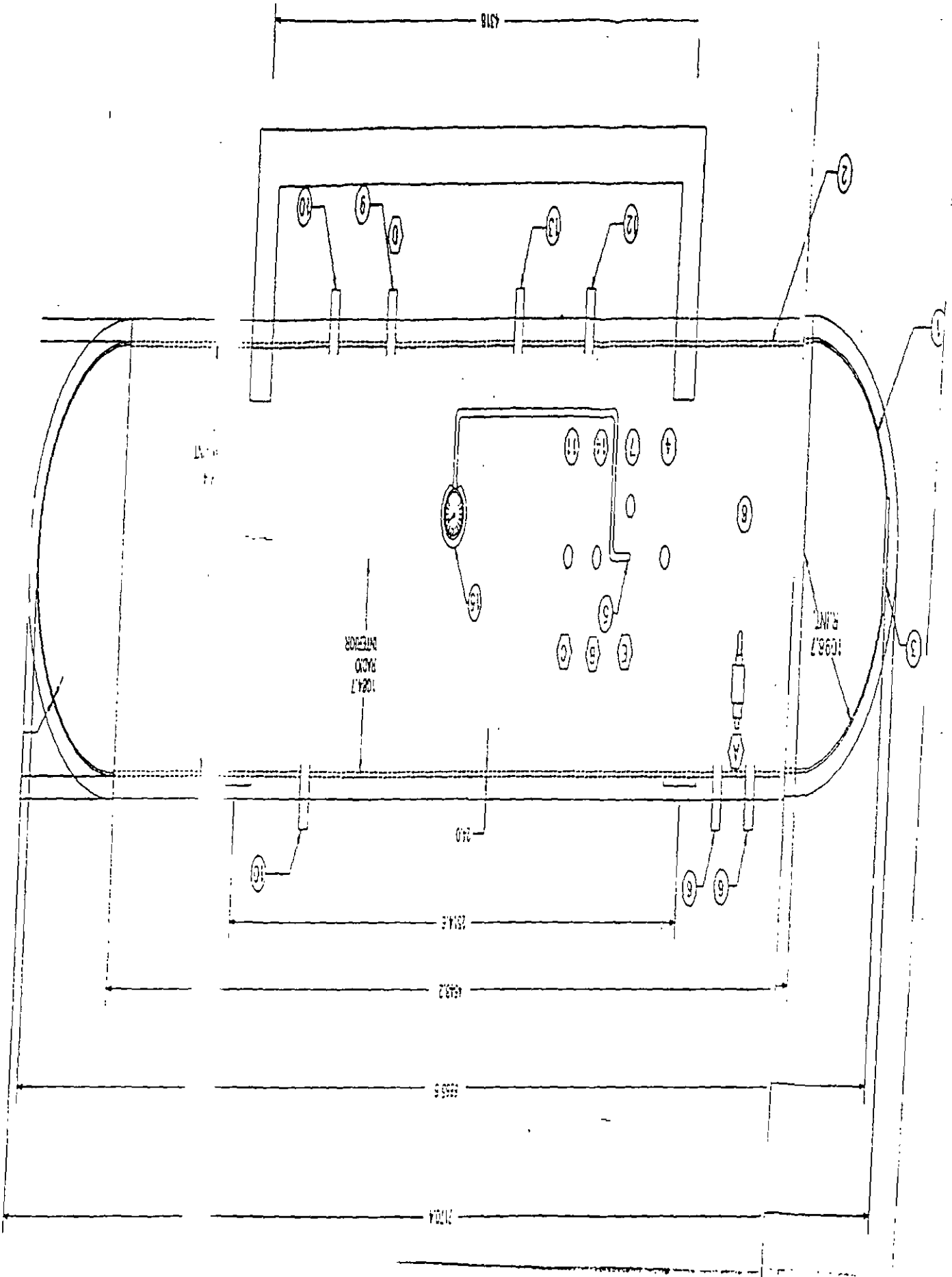


FIGURA 7

VISTA LATERAL IZQUIERDA

MEMORIA DE CALCULO

A. - CALCULO DE ESPESORES (CODIGO ASME SECCION VIII)

A.1. TAPA SEMIESFERICA:

$$t = \frac{P R}{2 S E - 0.2 P}$$

EN DONDE :

P = PRESION DE DISEÑO	= 24.6 kg/cm ²
S = ESFUERZO PERMISIBLE	= 1455.7 kg/cm ²
R = RADIO INTERIOR	= 109.87 kg/cm ²
E = EFICIENCIA	= 1

POR LO TANTO :

$$t = \frac{(24.6)(109.87)}{2(1455.7)(1) - 0.2(24.6)} = 0.931 \text{ cm}$$

T = 9.31 mm

ESPESOR USADO = 9.98 mm

VISTA LATERAL IZQUIERDA

MEMORIA DE CALCULO

A. - CALCULO DE ESPESORES (CODIGO ASME SECCION VIII)

A.1. TAPA SEMIESFERICA:

$$t = \frac{P R}{2 S E - 0.2 P}$$

EN DONDE :

P = PRESION DE DISEÑO	= 24.6 kg/cm ²
S = ESFUERZO PERMISIBLE	= 1455.7 kg/cm ²
R = RADIO INTERIOR	= 109.87 kg/cm ²
E = EFICIENCIA	= 1

POR LO TANTO :

$$t = \frac{(24.6)(109.87)}{2(1455.7)(1) - 0.2(24.6)} = 0.931 \text{ cm}$$

T = 9.31 mm

ESPESOR USADO = 9.98 mm

A.2 CUERPO CILINDRICO

$$t = \frac{P R}{S E - 0.6 P}$$

EN DONDE :

P = PRESION DE DISEÑO	= 24.6 kg/cm ²
R = RADIO INTERIOR	= 108.47 kg/cm ²
S = ESFUERZO PERMISIBLE	= 1420.5 kg/cm ²
E = EFICIENCIA	= 1

POR LO TANTO :

$$t = \frac{(24.6)(108.47)}{(1420.5)(1) - 0.6(24.6)} = 1.898 \text{ cm}$$

T = 18.98 mm

ESPESOR USADO = 24.00 mm

B. - CALCULO DE PRESION MAXIMA PERMISIBLE

B.1 TAPA SEMIESFERICA :

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{R + 0.2 t}$$

EN DONDE :

S = ESFUERZO PERMISIBLE	= 1455.7 kg/cm ²
E = EFICIENCIA	= 1
R = RADIO INTERIOR	= 109.87 m
t = ESPESOR USADO	= 0.998 cm

POR LO TANTO :

$$P = \frac{2(1455.7)(1)(0.998)}{(109.87) + 0.2(0.998)} = 26.39 \text{ kg / cm}^2$$

B.2 CUERPO CILINDRICO :

$$P = \frac{S E t}{R + 0.6 t}$$

EN DONDE :

S = ESFUERZO PERMISIBLE	= 1420.5 kg/cm ²
E = EFICIENCIA	= 1
R = RADIO INTERIOR	= 108.47 kg/cm ²
t = ESPESOR USADO	= 2.40 cm

POR LO TANTO :

$$P = \frac{(1420.5)(1)(2.40)}{(108.47) + 0.6(2.40)} = 31.01 \text{ kg / cm}^2$$

C. - CHAQUETA

NO ES PARTE SOMETIDA A PRESION INTERNA. SOLO ES CONTENEDOR DE AISLAMIENTO (POLIURETANO) PARA REDUCIR LA TRANSFERENCIA TERMICA.

D. - CALCULO DE LA VALVULA DE SEGURIDAD (CGA S - 1.3,
ASME SECC. VIII APENDICE - II

D.1 CALCULO DEL AREA

$$A1 = \pi D^2$$

EN DONDE :

A1 = AREA DE LAS TAPAS

D = DIAMETRO DE LAS TAPAS = 219.74 cm = 2.1974 m

POR LO TANTO :

$$A1 = \pi(2.1794)^2 = 15.1701m.$$

ENTONCES:

$$A2 = \pi D_e L$$

EN DONDE:

A2 = AREA DEL CILINDRO

D = DIAMETRO INTERIOR DEL CILINDRO = 216.94 cm = 2.1694 m

L = LONGITUD DEL CILINDRO = 464.82 cm = 4.6482 m

POR LO TANTO :

$$A2 = \pi(2.1694)(4.6482) = 31.6792 m^2$$

SI :

AREA TOTAL = A1 + A2, ENTONCES :

$$\underline{AREA TOTAL = 15.1701 + 31.6792 = 46.8493 m^2}$$

D.2 CALCULO DEL AREA DE LA VALVULA

$$A = \frac{1.342 W_c}{C K d P F_p \sqrt{M / T}}$$

EN DONDE :

$W_c = 2392.3 \text{ kg/hr aire}$

$M = \text{PESO MOLECULAR} = 44.01 \text{ mol}$

$T = \text{TEMPERATURA ABSOLUTA} = 244.15 \text{ }^\circ\text{K}$

$C = \text{CONSTANTE DEL GAS} = 347$

$K_d = \text{COEFICIENTE DE DESCARGA} 0.923 \text{ P/VALVULA VASESA}$

$P = (24.6)(1.1) + 1.033 = 28.093 \text{ kg/cm}^2$

$F_p = \text{FACTOR DE CORRECCION} = 1$

POR LO TANTO :

$$A = \frac{1.342(2392.3)}{(347)(0.923)(28.093)(1)\sqrt{\frac{44.01}{244.15}}} = 0.840 \text{ cm}^2$$

SE UTILIZAN DOS VALVULAS DE SEGURIDAD DE 0.785 PULG² = 506 mm²

AREA USADA = 2 (506 mm²) = 1012 mm²

AREA REQUERIDA = 0.840 cm² = 840 mm²

MATERIALES UTILIZADOS

No.	NOMBRE	ESPECIFICA CION	CANT. MAT.	DESCRIPCION
15	MANOMETRO	SA-105	1	DE 0 a 42 kg/cm ²
14	MEDIO COPLE	SA-105	1	38.1 mm Ø
13	MEDIO COPLE	SA-105	1	50.8 mm Ø
12	MEDIO COPLE	SA-105	1	50.8 mm Ø
11	MEDIO COPLE	SA-105	1	38.1 mm Ø
10	MEDIO COPLE	SA-105	2	6.35 mm Ø
09	MEDIO COPLE	SA-105	1	25.4 mm Ø
08	MEDIO COPLE	SA-105	1	25.4 mm Ø
07	MEDIO COPLE	SA-105	1	12.7 mm Ø
06	MEDIO COPLE	SA-105	2	19 mm Ø
05	MEDIO COPLE	SA-105	1	38.1 mm Ø
04	ADAPTADOR	SA-515-70	1	63.5 mm Ø
03	ENTRADA DE HOMBRE	SA-612	1	39.4 mm Ø
02	CUERPO	SA-612	1	CILINDRICO = 2217.4 mm Ø EXT. x 4648.2 mm L x 24.0 mm ESP.
01	TAPA	SA-612	2	SEMIESFERICA = 2217.4 mm Ø EXT. x 9.98 mm ESP.

CARACTERISTICAS DE DISEÑO

VOLUMEN NOMINAL	22738 lts.	PRESION DE OPERACION	21.1 Kg/cm ²
PRESION DE DISEÑO	24.6 kg/cm ²	PRESION DE CALIBRACION V.S.	24.6 Kg/cm ²
PRESION DE PRUEBA	36.9 kg/cm ²	EFICIENCIA DE SOLDADURA	1
ESFUERZO PERMISIBLE A LA TENSION DE TAPAS	1455.7 kg/cm ²	ESFUERZO PERMISIBLE A LA TENSION DEL CUERPO	14220.5 kg/cm ²
FACTOR DE SEGURIDAD	4	RELEVO DE ESFUERZOS	NO
TEMPERATURA DE DISEÑO	- 29 °C	TOLERANCIA A LA CORROSION	0
RADIOGRAFIADO	100 %	FABRICANTE DEL RECIPIENTE	TATSA
PESO	7315 Kgs.	TIPO DE AUTORIZACION	INSTALACION
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CO ₂	23 TON	AUTORIZACION POR CONSTRUCCION	C-882991.02

SECCION VIII. DIVISION I.

LIMITACIONES SECCIÓN VIII. DIVISIÓN I.. Especifica claramente algunas limitaciones como las siguientes :

- a) EL ESPESOR MINIMO : Se establece que para recipientes construidos en acero al carbón, el espesor mínimo, será de 3/32", independientemente de su uso.
- b) LA RELACION Resistencia/Espesor ≥ 10
- c) Los recipientes diseñados y construidos bajo este código, no deberán tener elementos principales móviles, ya sea rotatorios o reciprocantes.
- d) El volúmen mínimo debe ser 120 galones
- e) La presión mínima de diseño debe ser 15 psia (1 atm)
- f) El diámetro interior mínimo será de 6"
- g) La presión máxima de diseño será de 3000 psia
- h) Deberán ser estacionarios.

CALCULO DE TØ PARA TEMPERATURA CRIOGENICA. FIGURA 6

CALCULO DE T Ø PARA BAJA TEMPERATURA. FIGURA 7

◆ TIPOS DE PRUEBAS PARA TØ CRIOGENICOS REGLAMENTADA POR ASME

- Ultrasonido
- Fuga de helio
- Hidrostática
- Neumática
- Emisión Acuática

La prueba Hidrostática-Neumática aparece en UG-100 Apéndice 33 para algunos tipos de recipientes pero no habla de TANQUES CRIOGENICOS

- ◆ LIMITE DE CEDENCIA (YS) : Es el esfuerzo mínimo al que aumenta la deformación, sin aumentar el esfuerzo.
- ◆ RESISTENCIA A LA TENSION (TS) : Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material sometido a una carga de estiramiento sin que falle.

- ◆ LIMITE DE FATIGA : Es el esfuerzo máximo de un material que puede invertirse en un número de veces infinitamente grande sin que se produzca la fractura.
- ◆ DUCTILIDAD (%RA) : La capacidad de un metal para estirarse y deformarse permanentemente sin romperse ni agrietarse.
- ◆ RESISTENCIA AL IMPACTO (CHAPY) : Es una propiedad del acero que se refleja en su resistencia a la falla frágil, bajo condiciones de una alta concentración de esfuerzos, tales como, la carga de impacto ante la presencia de una muesca.
- ◆ SAE : SOCIEDAD DE INGENIEROS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ
- ◆ AISI : INSTITUTO AMERICANO DEL HIERRO Y EL ACERO
- ◆ ASTM : SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS DE MATERIALES

FABRICACION DE TANQUES ESTACIONARIOS DE ACERO AL CARBON Y ACERO INOXIDABLE

A C E R O a l C A R B O N
 $\left\{ \begin{array}{l} A 2 8 5 - C \\ 5 1 5 - 7 0 \\ A 2 0 2 - B \\ A 6 1 2 \\ A 5 1 7 - F (P I P A S) \end{array} \right.$

A C E R O I N O X I D A B L E
 $\left\{ \begin{array}{l} 3 1 6 \\ 3 0 4 - L \\ 3 1 6 - L \\ 3 2 1 \\ 3 0 5 \\ 3 0 8 \end{array} \right.$



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

CUIDADO DE CALDERAS

**EXPOSITOR:
ING. ANTONIO GARCÍA MORENO
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DEL 2001**

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN

MODULO IV INGENIERÍA DE SOPORTES A CALDERAS

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/cm² (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.

b b l

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-069-SCFI-1994)

- 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/cm².
- 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/cm²).
- 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 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° C en el tanque de almacenamiento general y 60° 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° 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^2

Presión de entrada al quemador: 2.5 a 3.5 Kg/cm^2

Presión de retorno: Aprox. 1.0 Kg/cm^2 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^2

Con combustible en fuego bajo sube a 0.80 Kg/cm^2

Con combustible en fuego alto no debe sobrepasar los 2.0 Kg/cm^2

Presión de atomización con vapor: Dentro del rango de 0.8 a 1.4 Kg/cm²

La presión de combustible líquido utilizando atomización mecánica es de 7 Kg/cm².

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/ pulg² o en gr./cm²

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^2 , 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 empiece 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).

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/cm², 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-SEDG-1996

SISTEMA DE DETECCION DE FLAMA

SISTEMA	TIPO	COMBUSTIBLE	CAPACIDAD MAXIMA Ms/hr (Kcal/hr) (C.C.)	MARCA Y MODELO
AL	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE CADMIO	DIESEL	1675 (400,000) (47.34)	HONEYWELL
BL	TUBO ELECTRONICO AL VACIO (FOTODIODO)	DIESEL	8375 (2'000,000) (236 70)	HONEYWELL
BG	VARILLA DETECTORA DE IONIZACION DE FLAMA	GAS	16750 (4'000,000) (473.37)	HONEYWELL
CDN	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE PLOMO SIN AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	16750 (4'000,000) (473.37)	HONEYWELL
DDN	FOTOTUBO SENSIBLE A RADIACION ULTRAVIOLETA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	16750 (4'000,000) (473.37)	HONEYWELL

	SIN AUTOVERIFICACION DINAMICA			
CDD	FOTORESISTENCIA DE SULFURO DE PLOMO CON AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	SIN LIMITE	HONEYWELL
DDD	FOTOTUBO SENSIBLE A RADIACION ULTRAVIOLETA CON AUTOVERIFICACION DINAMICA	DIESEL/GAS/COMBUSTOLEO	SIN LIMITE	HONEYWELL

NOTA: A PARTIR DE INSTALACIONES CUYA CAPACIDAD DE LIBERACION DE CALOR SOBREPASE 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 FLAMA CON DETECCIÓN DE FLAMA POR MEDIOS ELECTRONICOS (NO TERMICO)

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/cm², 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 CO₂ (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	PARTICULAS (PST) mg/m ³ (kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			BIÓXIDO DE AZUFRE ppm V (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			ÓXIDOS DE NITRÓGENO ppm V (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION % volumen (5)
		Número de Mancha u opacidad	ZMCM	ZC(3)	RP	ZMCM	ZC(3)	RP	ZMCM	ZC(4)	RP	
Hasta 5,250 (147 C.C.)	Combustoleo O Gasoleo	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros Líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.497)	450 (0.639)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190	190	375	

(147 a 1204 C.C.)									(0.507)	(0.507)	(1.0)	
De 43,000 a 110,000 (1204 a 3080 C.C.)	Líquidos	NA	60 (0.085)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
Mayor de 110,000 (3080 C.C.)	Sólidos	NA	60 (0.085)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	25
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	

**TABLA 6
MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN**

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN	PARÁMETRO	FRECUENCIA MÍNIMA DE MEDICIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	TIPO DE COMBUSTIBLE
------------------------------------	-----------	-------------------------------	--------------------	---------------------

MJ/h				
Hasta 5,250 (147 C.C.)	Densidad de humo	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); mancha de hollín	líquido y gas
	CO ₂ ,CO,O ₂ ,N ₂	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); ver anexo 3	líquido y gas
	SO ₂	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 _x	una vez por año	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO ₂ ,CO,O ₂ ,N ₂	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 _x	una vez cada 6 meses	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez por año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO ₂ ,CO,O ₂ ,N ₂	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 _x	permanente (3)	continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	sólido, líquido y gas
	O ₂	permanente	continua; campo magnético o equivalente, con registrador como mínimo o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	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_x 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

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 exenta 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.

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN MJ/h	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	DENSIDAD DEL HUMO Número de mancha u opacidad	PARTICULAS (PST) mg/m ³ (kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			BIÓXIDO DE AZUFRE ppm V (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			ÓXIDOS DE NITRÓGENO ppm V. (Kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION % volumen (4)
			ZMCM	ZC	RP	ZMCM	ZC(5)	RP	ZMCM	ZC(3)	RP	
Hasta 5,250 (147 C.C.)	Combustoleo o gasoleo	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000 (147 a 1204 C.C.)	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.497)	450 (0.639)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	
De 43,000 a 110,000 (1204 a 3080 C.C.)	Líquidos	NA	60 (0.085)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
Mayor de 110,000 (3080 C.C.)	Sólidos	NA	60 (0.085)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	25
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVAS POR EL METODO DE RADIOGRAFÍA "RT"

**EXPOSITOR:
ING. JUAN LUIS LÓPEZ POLANCO
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**

INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA POR EL MÉTODO DE RADIOGRAFÍA *** RT ***

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

DESCRIPCIÓN

Es un método de END que utiliza radiación ionizante de alta energía, que al pasar a través de un material sólido, parte de su energía se atenúa debido a la diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

DESCRIPCIÓN

Las variaciones de atenuación o absorción son detectadas y registradas en una película radiográfica o pantalla fluorescente, obteniéndose una imagen de la estructura interna de una pieza o componente

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

PRINCIPIO BÁSICO

Se basa en la propiedad que poseen los materiales de atenuar o absorber parte de la energía de radiación cuando son expuestos a ésta

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN

La atenuación de la radiación ionizante es

- ✦ Directamente proporcional al espesor y densidad del material.
- ✦ Inversamente proporcional a la energía del haz de radiación.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN

Las diferencias de atenuación producen diferencias en la ionización del bromuro de plata de la película radiográfica y esto provocará (al revelar la película) cambios de densidad radiográfica (grado de ennegrecimiento)

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

7 ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN

Un área oscura (alta densidad) en una radiografía, puede deberse a un menor espesor o la presencia de un material de menor densidad, tal como una escoria en una soldadura o una cavidad por gas atrapado en una pieza de fundición.

8 ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN

Un área más clara (menor densidad) en una radiografía, puede deberse a secciones de mayor espesor o un material de mayor densidad, tal como una inclusión de tungsteno en una soldadura de arco eléctrico con electrodo de tungsteno y gas de protección (GTAW).

9 RADIACIÓN IONIZANTE

En la industria se emplean dos tipos de radiación para la Inspección Radiográfica

- ✦ Rayos X
- ✦ Rayos Gamma (γ)
- ✦ La principal diferencia entre ellos es su origen de cómo se producen

10 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

- ✦ Los Rayos X fueron descubiertos en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen, considerado como el primer radiógrafo
- ✦ El físico francés Antoine Henri Becquerel, descubrió la radiactividad al analizar compuestos de uranio.

11 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

- ✦ Los esposos Curie (Pierre y Marie) en 1898 aislaron el Polonio (elemento radiactivo) a partir de minerales de Uranio.
- ✦ En 1902 lograron aislar el Radio a partir del mineral pechblenda (de Uranio); el Radio es 300,000 veces más radiactivo que el Uranio

12 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

- ✦ En Inglaterra, Rutherford descubrió que el Uranio emitía dos tipos de radiación y les llamó Radiación Alfa (α) y Radiación Beta (β)
- ✦ En 1900, Villard (físico francés) descubrió el tercer tipo de radiación y le llamó rayos gamma

RADIATIVIDAD

Es la desintegración espontánea de los núcleos atómicos de ciertos elementos (isótopos radiactivos) acompañada de emisión de partículas radiactivas y de radiación electromagnética (Rayos γ)

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

RADIACIÓN X o γ

Son ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz (300,000 Km/seg), no poseen carga eléctrica ni masa, son capaces de penetrar materiales densos como el acero y su energía es inversamente proporcional a su longitud de onda

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

APLICACIONES

Es aplicable para la detección, interpretación y evaluación de discontinuidades internas tales como grietas, porosidades, inclusiones metálicas o no metálicas, faltas de fusión, etc., en uniones con soldadura, piezas de fundición y piezas forjadas.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

VENTAJAS

- ♦ Puede usarse en materiales metálicos y no metálicos, ferrosos y no ferrosos.
- ♦ Proporciona un registro permanente de la condición interna de un material

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

VENTAJAS

- ♦ Es más fácil poder identificar el tipo de discontinuidad que se detecta
- ♦ Revela discontinuidades estructurales y errores de ensamble.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

LIMITACIONES

- ♦ Difícil de aplicar en piezas de geometría compleja o zonas poco accesibles
- ♦ La pieza o zona debe tener acceso en dos lados opuestos.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

LIMITACIONES

- ✦ No detecta discontinuidades de tipo laminar
- ✦ Se requiere observar medidas de seguridad para la protección contra la radiación

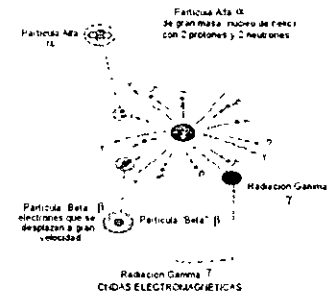
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

GENERACIÓN DE RAYOS γ

Los Rayos γ son producidos por la desintegración nuclear de los átomos de isótopos radiactivos, éstos pueden ser naturales (Radio-226) o artificiales (Iridio-192, Cobalto-60).

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

RADIACIÓN NUCLEAR



ISÓTOPOS RADIATIVOS COMERCIALES

Son obtenidos por dos métodos:

- ✦ Como productos de la fisión nuclear; son recolectados y separados del mineral de desecho en un reactor atómico.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

ISÓTOPOS RADIATIVOS COMERCIALES

- ✦ Productos de la fisión nuclear
 - ✦ Kriptón-83 (Kr-83)
 - ✦ Estroncio-90 (Sr-90)
 - ✦ Cesio-137 (Cs-137)
 - ✦ Bario-138 (Ba-138)

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

ISÓTOPOS RADIATIVOS COMERCIALES

Por el bombardeo con neutrones a átomos para que su núcleo capture neutrones y se tornen radiactivos sin cambiar a otro material o elemento.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

ISÓTOPOS RADIATIVOS COMERCIALES

- ✦ Por bombardeo con neutrones
 - Cobalto (Co-60)
 - Iridio-192 (Ir-192)
 - Tulio-170 (Tm-170)

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

TIPOS DE RADIACIÓN NUCLEAR

- ✦ Partículas α o radiación (α)
- ✦ Partícula o radiación (β).
- ✦ Radiación gamma (γ)

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN ALFA (α)

- ✦ Son núcleos atómicos de helio (2 protones y 2 neutrones).
- ✦ Son 10 veces más ionizantes que los rayos γ
- ✦ Tienen bajo poder de penetración.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN ALFA (α)

- ✦ Su velocidad es 1/10 de la velocidad de la luz.
- ✦ Son fáciles de detener con unas hojas de papel
- ✦ Tienen carga eléctrica positiva.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN BETA (β)

- ✦ Electrones emitidos desde el núcleo del átomo.
- ✦ Poseen carga eléctrica negativa.
- ✦ Su velocidad es 9/10 de la velocidad de la luz.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN BETA (β)

- ✦ Tienen bajo poder ionizante
- ✦ Pueden detenerse con un espesor de 1/4" de material plástico.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

FUENTES DE RAYOS γ

Son fuentes encapsuladas que contienen isótopos radiactivos metálicos o también pueden ser sales o gases absorbidos en un bloque de carbón.

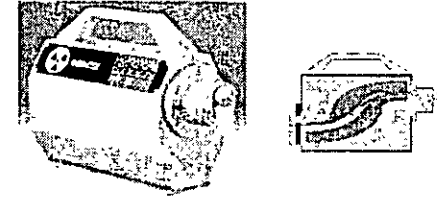
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

FUENTES DE RAYOS γ

Son colocadas en contenedores blindados hechos de plomo o de Uranio para poder manejarla y protegerse contra la exposición a la radiación, las hay con control automático de exposición o manual

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

CONTENEDOR FUENTES DE RAYOS γ



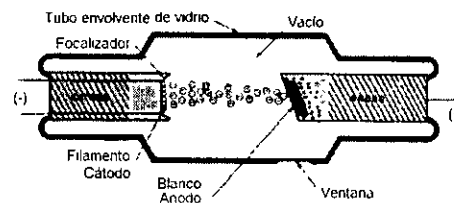
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

GENERACIÓN DE LOS RAYOS X

Son producidos por la desaceleración brusca de los electrones al impactarse en un blanco o tarjeta generalmente de tungsteno; la energía de los rayos es controlada por los kV y la intensidad por los mA

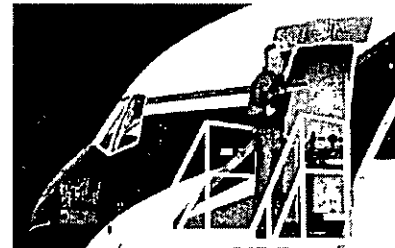
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

GENERACIÓN DE RAYOS X



Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

INSPECCIÓN CON RAYOS X



Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

INSPECCIÓN CON RAYOS X



Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE IMAGEN

Antes de interpretar y evaluar

- ✦ Todas las radiografías deben estar libres de daños mecánicos, químicos u otras manchas que al extenderse no enmascaren o puedan ser confundidas con imágenes de discontinuidades en el área de interés

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE IMAGEN

Las manchas que deben evitarse son.

- ✦ Velado
- ✦ Ralladuras, manchas de agua, manchas de los químicos.
- ✦ Rasguños, marcas dactilares, polvos, marcas de corriente estática
- ✦ Indicaciones falsas debido a pantallas defectuosas.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE IMAGEN

Los parámetros que debe cumplir son.

- ✦ Densidad radiográfica:
Para Rayos γ , mínima 2.0 y la máxima es de 4.0
- ✦ Variaciones de densidad: No deben ser mayores a -15 % y + 30% de la densidad medida en el penetrómetro.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE IMAGEN

- ✦ Identificación permanente
- ✦ Marcas de localización.
- ✦ Indicadores de calidad de imagen (penetrómetros).
- ✦ Sensibilidad radiográfica.

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

CÓDIGO ASME BPV SEC. V

Requisitos de inspección para recipientes a presión

- Artículo 2: Examinación radiográfica
- Artículo 3: Examinación radiográfica de fundiciones metálicas
- Artículo 22: Requisitos suplementarios (Normas ASTM adoptadas)

Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C.

41

CÓDIGO ASME BPV SEC. VIII
División 1

Criterios de aceptación y rechazo para uniones
soldadas en RSP:

Parte UW-51 Indicaciones no redondeadas.

Apéndice 4 Indicaciones redondeadas.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA POR EL METODO DE PARTÍCULAS MAGNETICAS "MT"

**EXPOSITOR:
ING. JUAN LUIS LÓPEZ POLANCO
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA POR EL METODO DE PARTÍCULAS MAGNETICAS "MT"

**EXPOSITOR:
ING. JUAN LUIS LÓPEZ POLANCO
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**

Imende, A.C.

INSPECCION NO DESTRUCTIVA POR EL METODO DE PARTICULAS MAGNETICAS *** MT ***

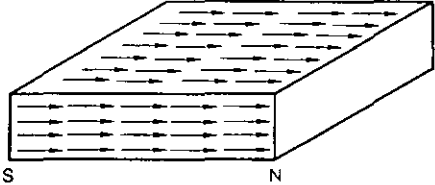
Imende, A.C.

DESCRIPCION

Es un método de END que utiliza corriente eléctrica para crear un flujo magnético en una pieza y al aplicarse un polvo ferromagnético produce la indicación donde exista distorsión en las líneas de flujo

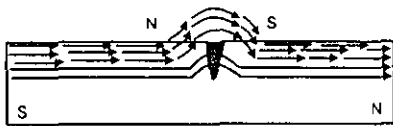
Imende, A.C.

LINEAS DE FLUJO SIN DISTORSION



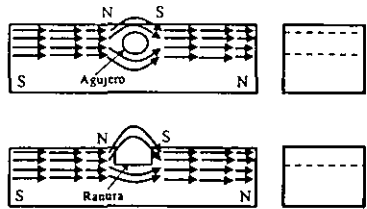
Imende, A.C.

DISTORSION DE LAS LINEAS DE FLUJO



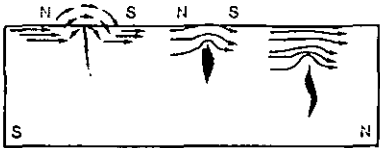
Imende, A.C.

DISTORSION DE LAS LINEAS DE FLUJO



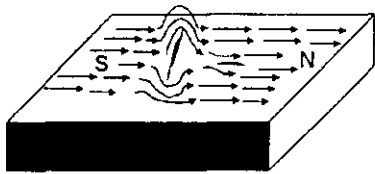
Imende, A.C.

PROFUNDIDAD MAXIMA DE DETECCION



Imende, A.C.

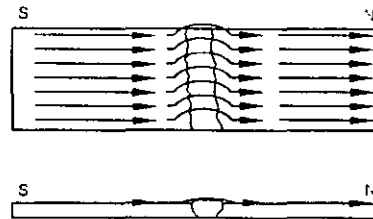
ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES DETECTABLES



Imende, A.C.

7

CAMBIOS DE PERMEABILIDAD



Imende, A.C.

8

APLICACIONES

Esta técnica se aplica a piezas de fundición, forjadas, roladas, cordones de soldadura; inspección en servicio de algunas partes de avión, ferrocarril, recipientes a presión, ganchos y engranes de grúa, estructuras de plataforma, etc.

Imende, A.C.

9

APLICACIONES

Se utilizan para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales (hasta 1/4" de profundidad aproximadamente, para situaciones prácticas) en materiales ferromagnéticos.

Imende, A.C.

10

APLICACIONES

Es sensible para la detección de discontinuidades de tipo lineal, tales como grietas, desgarres en caliente, traslapes, costuras, faltas de fusión, laminaciones, etc.

Imende, A.C.

11

VENTAJAS

- ✦ La inspección es más rápida que los líquidos penetrantes y barata.
- ✦ Equipo relativamente simple, provisto de controles para ajustar la corriente, y un amperímetro visible, conectores para HWDC (FWDC) y AC.

Imende, A.C.

12

VENTAJAS

- ✦ Portabilidad y adaptabilidad a muestras pequeñas o grandes.
- ✦ Requiere menor limpieza que PT.
- ✦ Detecta tanto discontinuidades superficiales y subsuperficiales.

Imende, A.C

13

VENTAJAS

- ✦ Las indicaciones son producidas directamente en la superficie de la pieza, indicando la longitud, localización, tamaño y forma de las discontinuidades.
- ✦ El equipo no requiere de un mantenimiento extensivo.

Imende, A.C

14

VENTAJAS

Mejor examinación de las discontinuidades que se encuentran llenas de carbón, escorias u otros contaminantes y que no pueden ser detectadas con una inspección por Líquidos Penetrantes.

Imende, A.C

15

LIMITACIONES

- ✦ Es aplicable solamente a materiales ferromagnéticos; en soldadura, el metal depositado debe ser también ferromagnético.
- ✦ No detectará discontinuidades que se encuentren en profundidades mayores de 1/4".

Imende, A.C

16

LIMITACIONES

La detección de una discontinuidad dependerá de muchas variables, tales como la permeabilidad del material, tipo, localización y orientación de la discontinuidad, cantidad y tipo de corriente magnetizante empleada.

Imende, A.C

17

LIMITACIONES

- ✦ La aplicación del método en el campo es de mayor costo.
- ✦ La rugosidad superficial puede distorsionar las líneas de flujo.
- ✦ Se requieren dos o más inspecciones secuenciales con diferentes magnetizaciones.

Imende, A.C

18

LIMITACIONES

- ✦ Generalmente después de la inspección se requiere de una desmagnetización.
- ✦ Debe tenerse cuidado en evitar quemadas por arco eléctrico en la superficie de la pieza con la técnica de puntas de contacto.

Imende, A.C

19

LIMITACIONES

Aunque las indicaciones formadas con partículas magnéticas son fácilmente observables, la experiencia en el significado de su interpretación es muchas veces necesario.

Imende, A.C

20

PRINCIPIOS FISICOS EN LOS QUE SE BASA EL METODO

- ✦ Propiedad de algunos materiales de poder ser magnetizados, y;
- ✦ Distorsión de las líneas de flujo al interceptar un cambio de permeabilidad.

Imende, A.C

21

PRINCIPIOS BASICOS DEL MAGNETISMO

Los materiales que son susceptibles de imantarse o magnetizarse son aquellos que en su estructura molecular existen dominios magnéticos o también llamados dipolos magnéticos.

Imende, A.C

22

DOMINIO MAGNETICO

En los materiales ferromagnéticos sus granos (cristales individuales) se encuentran divididos en dominios que son regiones del material completamente magnetizados, separados por fronteras los cuales poseen un campo magnético elemental formando un pequeño imán.

Imende, A.C

23

DOMINIO MAGNETICO

- ✦ Son imanes moleculares diminutos provocados por el movimiento de los electrones en un átomo.
- ✦ Un material ferromagnético no magnetizado presenta una distribución al azar de sus moléculas o dominios magnéticos.

Imende, A.C

24

DOMINIOS MAGNETICOS NO ORIENTADOS



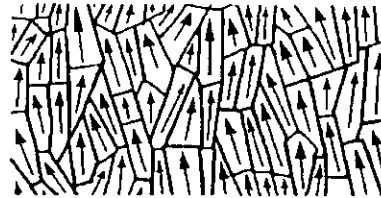
Imende, A.C. 25

DOMINIO MAGNETICO

Un material ferromagnético al estar cerca de un campo magnético o eléctrico, hará que sus dominios magnéticos se orienten parcial o totalmente en una determinada dirección, dependiendo de la fuerza del campo.

Imende, A.C. 26

DOMINIOS MAGNETICOS ORIENTADOS



Influencia del campo magnético

Imende, A.C. 27

MAGNETISMO

Es una fuerza invisible que tiene la habilidad para hacer trabajo mecánico de atracción o repulsión de materiales magnetizables.

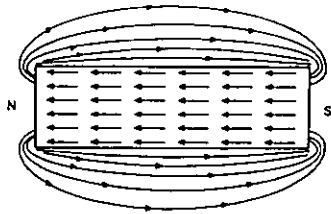
Imende, A.C. 28

FLUJO MAGNETICO

Es la fuerza resultante de la suma de las fuerzas de campo individual de los dominios magnéticos; son las líneas de fuerza generadas por un imán, un electroimán o un conductor que es recorrido por una corriente eléctrica.

Imende, A.C. 29

CARACTERISTICAS DE UN IMAN



Imende, A.C. 30

IMAN

Es un material que tiene orientados total o parcialmente sus dominios magnéticos, su habilidad para atraer o repeler se concentra en los extremos llamados polos.

Imende, A.C 31

IMAN

Cada imán tiene al menos dos polos opuestos que son atraídos por los polos magnéticos de la tierra, conocidos como Norte y Sur respectivamente.

Imende, A.C 32

POLOS MAGNETICOS

Polo Norte:
Es aquel en el cual las líneas de flujo salen del imán.

Polo sur:
Es aquel en el cual las líneas de flujo entran al imán.

Imende, A.C 33

LINEAS DE FUERZA O FLUJO MAGNETICO

- ✦ Representan y describen la dirección del flujo magnético producido por la alineación de las fuerzas de campo individual de los dominios magnéticos.
- ✦ No son observables a simple vista.

Imende, A.C 34

CARACTERISTICAS DE LAS LINEAS DE FLUJO

- ✦ Forman trayectorias cerradas .
- ✦ No se traslapan o cruzan entre si.
- ✦ Fluyen del polo sur al polo norte por dentro del imán y de norte a sur fuera de él.

Imende, A.C 35

CARACTERISTICAS DE LAS LINEAS DE FLUJO

- ✦ Su concentración es mayor en los polos.
- ✦ Siguen la trayectoria de menor resistencia.
- ✦ Son distorsionadas cuando son interceptadas por una discontinuidad.

Imende, A.C 36

CAMPO MAGNETICO

Es el espacio ocupado por las líneas de flujo o de fuerza magnética dentro y alrededor de un imán.

Imende, A.C.

37

MATERIALES INFLUENCIADOS POR LOS CAMPOS MAGNETICOS

Clasificación de los materiales dependiendo de su comportamiento dentro de un campo magnético:

1. Materiales ferromagnéticos.
2. Materiales paramagnéticos.
3. Materiales diamagnéticos.

Imende, A.C.

38

MATERIALES FERROMAGNETICOS

- a) Son fácilmente magnetizables.
- b) Son fuertemente atraídos por un campo magnético.
- c) Son capaces de retener su magnetización después que la fuerza magnetizante ha sido removida.

Imende, A.C.

39

MATERIALES FERROMAGNETICOS

- ✦ Hierro.
- ✦ Níquel y cobalto, como elementos.
- ✦ Mayoría de los aceros, inclusive inoxidable de la serie 400 y 500.
- ✦ Gadolinio.
- ✦ Aleaciones de cobalto y níquel.

Imende, A.C.

40

MATERIALES PARAMAGNETICOS

Materiales que son débilmente atraídos por un campo magnético y tienen una pequeña tendencia a la magnetización.

Imende, A.C.

41

MATERIALES PARAMAGNETICOS

- ✦ Aluminio y magnesio.
- ✦ Molibdeno y litio.
- ✦ Cromo y platino.
- ✦ Sulfato de cobre.
- ✦ Estaño, potasio, etc.

Imende, A.C.

42

MATERIALES DIAMAGNETICOS

- a) No son magnetizables.
- b) No son atraídos por un campo magnético.
- c) Son ligeramente repelidos por un campo magnético.

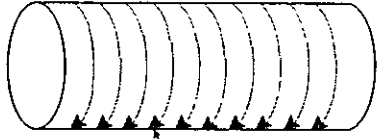
Imende, A.C. 43

MATERIALES DIAMAGNETICOS

- ✦ Mercurio y oro.
- ✦ Bismuto y zinc.
- ✦ Cobre y plata.
- ✦ Plomo, etc.

Imende, A.C. 44

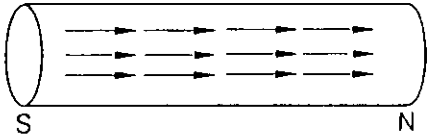
MAGNETIZACION CIRCULAR



Líneas de flujo magnético

Imende, A.C. 45

MAGNETIZACION LONGITUDINAL



S N

Imende, A.C. 46

PARTICULAS MAGNETICAS

Básicamente son materiales ferromagnéticos en polvo que se les adiciona color (fluorescente o no fluorescente) para hacerlos fácilmente visibles sobre la superficie de la pieza.

Imende, A.C. 47

PARTICULAS MAGNETICAS

Las partículas son diseñadas para ser usadas como un flujo libre de polvo seco o como suspensión (partículas húmedas) en una concentración en un medio líquido adecuado.

Imende, A.C. 48

PARTICULAS SECAS

Imende, A.C 49

VENTAJAS

- † No necesitan preparación.
- † Se aplican por aspersión o espolvoreado.
- † Se pueden utilizar bajo condiciones extremas ambientales (frío o calor).
- † Son mejores para detectar discontinuidades subsuperficiales.

Imende, A.C 50

VENTAJAS

- † Movilidad superior con HW.
- † Fáciles de remover.
- † Color: rojo, negro, gris, azul, verde, naranja.
- † Debe seleccionarse un color que contraste con la superficie a inspeccionar.

Imende, A.C 51

DESVENTAJAS

- † Menor probabilidad de detección de discontinuidades finas.
- † Difícil de usar en magnetizaciones en la posición de sobrecabeza.
- † No existe evidencia de cobertura completa en la superficie.

Imende, A.C 52

DESVENTAJAS

- † Promedio menor de producción de piezas inspeccionadas.
- † Difícil de adaptar a sistemas de inspección automática.
- † Existe probabilidad de inhalarlas.

Imende, A.C 53

PARTICULAS EN SUSPENSION

- † Son suspendidas en un vehículo en una concentración dada, tales como el agua acondicionada o un destilado ligero de petróleo.
- † Se aplican por aspersión o por baño.

Imende, A.C 54

PARTICULAS EN SUSPENSION

- ✦ Dos tipos: fluorescentes y no fluorescentes.
- ✦ Se suministran secas o premezcladas en un concentrado de agua o con un destilado de petróleo.
- ✦ Generalmente se utilizan en unidades horizontales.

Imende, A.C

55

PARTICULAS EN SUSPENSION

- ✦ Detectan discontinuidades muy finas.
- ✦ Se utilizan a puerta cerrada o donde puede controlarse la luz ambiental.
- ✦ Son de color verde/amarillo brillante (fluorescente).

Imende, A.C

56

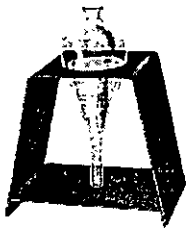
PARTICULAS EN SUSPENSION

- ✦ Son de color negro o café rojizo (no fluorescente)
- ✦ La concentración inicial del baño debe realizarse, tal como lo indique el fabricante y diariamente verificarse por decantación.

Imende, A.C

57

VERIFICACION DE LA CONCENTRACION



Imende, A.C

58

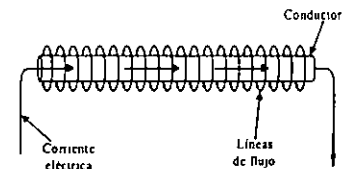
INDUCCION DE CAMPOS MAGNETICOS

El físico danés Hans Christian Oersted descubrió en 1820 que cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor, se forma un flujo magnético alrededor del conductor.

Imende, A.C

59

INDUCCION DE CAMPO MAGNETICO



Imende, A.C

60

INDUCCION DE CAMPOS MAGNETICOS

La dirección de las líneas de flujo magnético se encuentran siempre a 90° con respecto a la dirección del flujo de la corriente eléctrica.

Imende, A.C

61

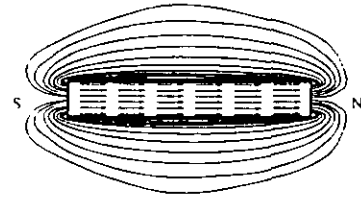
INDUCCION DE CAMPOS MAGNETICOS

En un alambre conductor, la densidad de flujo o número de líneas de fuerza por unidad de área es uniforme a lo largo de la longitud del conductor y decrece uniformemente al incrementar la distancia desde el conductor.

Imende, A.C

62

INDUCCION DE CAMPOS MAGNETICOS



Imende, A.C

63

EFFECTO MAGNETICO EN UN ALAMBRE ENROLLADO

Amper demostró que:

- La intensidad del flujo magnético es proporcional al número de vueltas.
- Al introducir en la bobina un núcleo de hierro, se obtiene un poderoso electroimán.

Imende, A.C

64

METODOS PARA LA GENERACION DE CAMPOS MAGNETICOS

- † Imanes permanentes.
- † Electroimanes, o;
- † Campos magnéticos asociados con el flujo de corriente.

Imende, A.C

65

MAGNETIZACION CON IMANES PERMANENTES

Imende, A.C

66

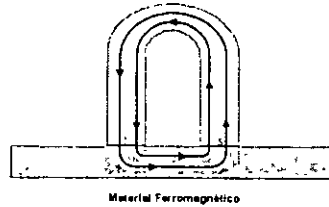
MAGNETIZACION CON IMANES PERMANENTES

Se emplean yugos donde no se dispone de corriente eléctrica o donde no se permite un arco eléctrico (en atmósferas explosivas) o en inspecciones submarinas (estructura de plataformas)

Imende, A.C

67

LINEAS DE FLUJO MAGNETICO EN UN IMAN DE HERRADURA



Imende, A.C

68

LIMITACIONES

No pueden ser magnetizadas áreas grandes; la densidad de flujo no puede variarse; si el imán es muy fuerte, será difícil separarlo de la pieza; las partículas al adherirse al imán puede ocultar posibles indicaciones relevantes.

Imende, A.C

69

TIPOS DE CORRIENTES MAGNETIZANTES

- 1) Corriente alterna (AC)
- 2) Corriente continua (CC)
- 3) Corriente directa o rectificada (DC)
 - ♦ Monofásica: HW y FW
 - ♦ Trifásica: HWDC y FWDC.

Imende, A.C

70

MAGNETIZACION CON CORRIENTE ELECTRICA

Básicamente la magnetización es derivada del campo magnético circular generado cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor.

Imende, A.C

71

CORRIENTE ALTERNA (AC)

Debido a su efecto de piel o pelicular produce una excelente magnetización uniforme en la superficie o muy cerca a ella. La penetración es dependiente de la frecuencia (aprox. 2 mm a 50 Hz).

Imende, A.C

72

CORRIENTE ALTERNA (AC)

- ✦ Es muy útil para la detección de grietas por fatiga abiertas a la superficie.
- ✦ El magnetismo residual es fácil de remover en la desmagnetización.

Imende, A.C

73

CORRIENTE ALTERNA (AC)

Al invertir alternadamente su polaridad produce un efecto pulsante en el flujo magnético, esto agita a las partículas facilitando su movilidad hacia los puntos donde existen distorsión de las líneas de flujo incrementando el tamaño y visibilidad de las indicaciones.

Imende, A.C

74

CORRIENTE CC

Inicialmente fue la más utilizada por su alta penetración; se obtiene de un banco de baterías o un generador; puede ser empleada por descarga de capacitores para establecer un campo magnético residual en tubería, carcazas y tubería de perforación.

Imende, A.C

75

DESVENTAJAS DE CC

- ✦ El alto costo de las baterías y su mantenimiento.
- ✦ La desmagnetización es difícil, debido a su alta penetración.
- ✦ Durante la carga de baterías, se tiene emanaciones corrosivas.
- ✦ La movilidad que da a las partículas es mínima.

Imende, A.C

76

CORRIENTE DC

Corriente Alterna Rectificada de Media Onda:

Frecuentemente se emplea con partículas secas en magnetización localizada (puntas de contacto y yugos) para la detección de discontinuidades subsuperficiales en piezas de fundición y soldaduras.

Imende, A.C

77

CORRIENTE DC

- ✦ Su tipo pulsante produce una máxima movilidad a las partículas.
- ✦ Produce una densidad de flujo de cero en el centro de la pieza. A partir de ahí se incrementa la densidad hasta alcanzar el valor máximo en la superficie de la pieza.

Imende, A.C

78

CORRIENTE DC

Corriente Alternada Rectificada de Onda Completa:

La corriente trifásica es muy semejante a la corriente CC, sólo tiene una ondulación del 3 al 5%, puede saturar magnéticamente una sección transversal.

Imende, A.C

79

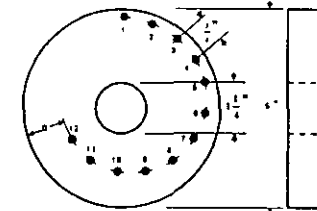
CORRIENTE DC

Es comúnmente empleada en los métodos residual y continuo. Además de utilizarse en piezas pintadas o con recubrimientos metálicos; la movilidad que da a las partículas es bajo.

Imende, A.C

80

ANILLO DE CALIBRACION

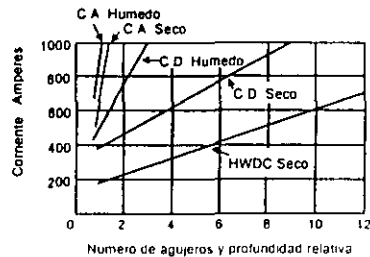


Agujero	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Diámetro	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07
D	07	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84

Imende, A.C

81

DETECCION DE DISCONTINUIDADES SUBSUPERFICIALES



Imende, A.C

82

TECNICAS DE MAGNETIZACION

- a) **Directa:** La corriente magnetizante fluye directamente a través de la pieza, creando un flujo magnético circular en ella.
Puntas de contacto, cabezales, pinzas o mordazas y electrodos imantados.
La magnetización se efectúa por conducción de la corriente.

Imende, A.C

83

TECNICAS DE MAGNETIZACION

- b) **Indirecta:**

La corriente no fluye a través de la pieza, sino en un conductor secundario; el campo magnético es inducido en la pieza, la cual puede crear un campo circular/toroidal, longitudinal o multidireccional.

Imende, A.C

84

TECNICAS DE MAGNETIZACION INDIRECTA

- † Bobina.
- † Cable enrollado.
- † Yugo electromagnético.
- † Conductor central.

Imenda, A.C

85

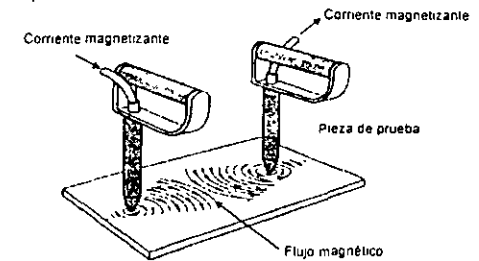
PUNTAS DE CONTACTO

Se utilizan electrodos de cobre, bronce o aluminio; al hacer pasar la corriente a través de ellos, esto produce un campo magnético circular en la pieza, alrededor y entre cada electrodo suficiente para una examinación local.

Imenda, A.C

86

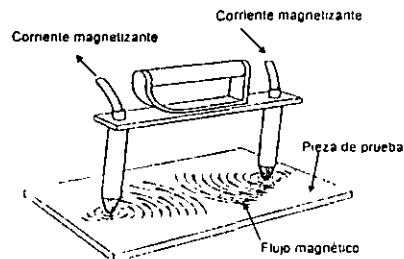
PUNTAS DE CONTACTO



Imenda, A.C

87

PUNTAS DE CONTACTO



Imenda, A.C

88

PUNTAS DE CONTACTO

Las puntas de los electrodos deben estar limpias para minimizar calentamientos en zonas de contacto y evitar quemaduras por arco eléctrico, ya que esto podría causar puntos de alta dureza (concentración de esfuerzos) y grietas.

Imenda, A.C

89

PUNTAS DE CONTACTO

- † No deben usarse en superficies maquinadas o componentes aeroespaciales.
- † Algunas normas y/o especificaciones restringen su uso.

Imenda, A.C

90

PUNTAS DE CONTACTO

La mayor probabilidad de daños es en aceros con 0.3 a 0.4% o más de contenido de carbono. La menor probabilidad de daños es en aceros con bajo contenido de carbono, tal como el que se utiliza para la construcción de estructuras.

Imende, A.C.

91

USOS DE LAS PUNTAS DE CONTACTO DE CONTACTO

- ✦ Son más sensibles para detectar discontinuidades subsuperficiales usando HW, partículas secas y método continuo.
- ✦ Piezas de fundición y de forja.
- ✦ Inspección en el campo de soldaduras en tanques y estructuras.

Imende, A.C.

92

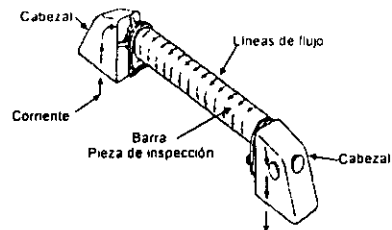
ENTRE CABEZALES

La pieza se coloca entre dos cabezales y se aplica la corriente directamente a través de ella, ésto produce un flujo magnético circular aproximadamente perpendicular a la dirección de la corriente.

Imende, A.C.

93

ENTRE CABEZALES



Imende, A.C.

94

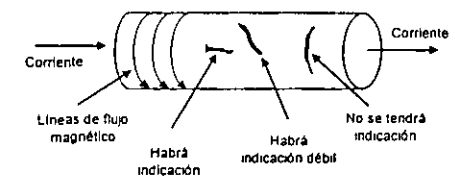
USOS ENTRE CABEZALES

Para piezas pequeñas no huecas con maquinado final inclusive: piezas de fundición, forjadas, tornillos, birlos, flechas, ejes, vástagos. Generalmente se emplean unidades horizontales estacionarias con HW o FWDC y partículas en suspensión fluorescentes.

Imende, A.C.

95

DISCONTINUIDADES DETECTABLES ENTRE CABEZALES



Imende, A.C.

96

PINZAS O MORDAZAS

La corriente magnetizante se aplica a la pieza a través de las pinzas o mordazas, produciéndose un campo magnético circular en la pieza.

Imende, A.C. 97

BOBINA O CABLE ENROLLADO

La magnetización se efectúa pasando corriente a través de una bobina fija de vueltas múltiples o de cable enrollado alrededor de la pieza o en una sección de ella, ésto produce un campo magnético longitudinal, paralelo al eje de la bobina.

Imende, A.C. 98

BOBINA O CABLE ENROLLADO

Imende, A.C. 99

BOBINA O CABLE ENROLLADO

Imende, A.C. 100

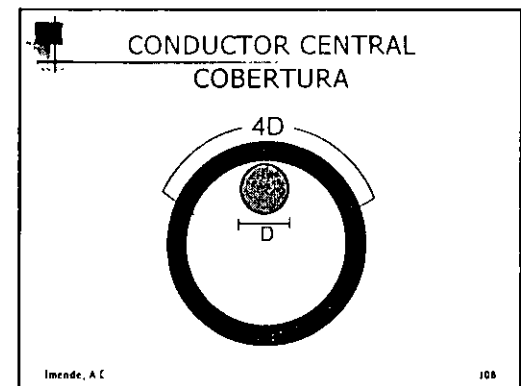
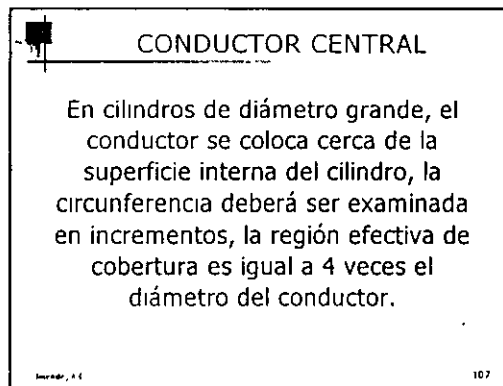
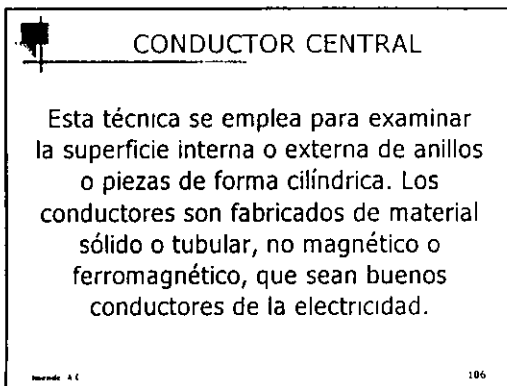
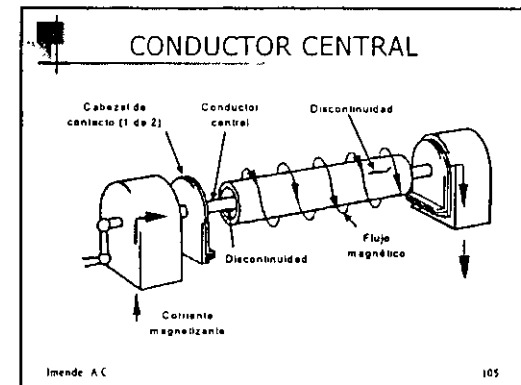
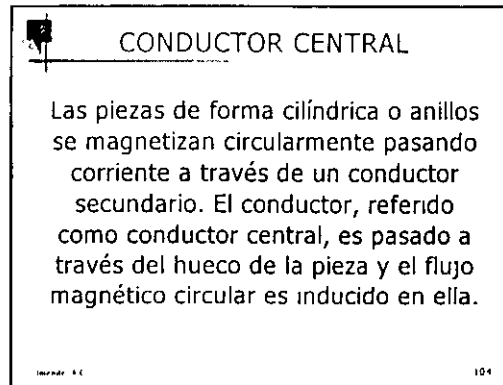
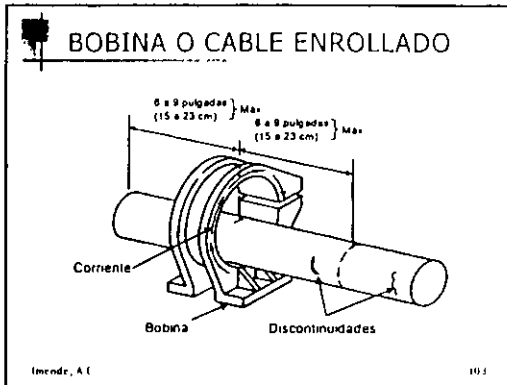
DISCONTINUIDADES DETECTABLES CON BOBINA

Imende, A.C. 101

BOBINA O CABLE ENROLLADO

La densidad de flujo que pasa a través del interior de la bobina es proporcional al producto de la corriente (I) en Amperes y el número de vueltas en la bobina (N). En una pieza larga, la distancia total efectiva que puede ser inspeccionada es de 6 a 9" en cualquier lado de la bobina.

Imende, A.C. 102



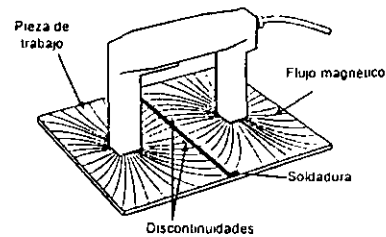
YUGO ELECTROMAGNETICO

Consiste de un cable enrollado alrededor de un núcleo en forma de "U" hecho de hierro dulce (blando). Las extremidades del yugo pueden ser fijas o ajustables; los hay de corriente alterna, corriente directa o ambas.

Imenda, A.C

109

YUGO ELECTROMAGNETICO



Imenda, A.C

110

YUGO ELECTROMAGNETICO

Los yugos de corriente directa tienen mayor penetración. Los de corriente alterna concentran el flujo magnético sobre la superficie de la pieza.

Imenda, A.C

111

METODOS DE EXAMINACION

- a) **Continuo:** Las partículas magnéticas se aplican mientras la fuerza magnetizante está actuando.
- b) **Residual:** Primero se magnetiza la pieza y después se remueve la fuerza magnetizante para posteriormente aplicar las partículas.

Imenda, A.C

112

SECUENCIA GENERAL DE INSPECCION

- 1) Limpieza previa.
- 2) Magnetización circular.
- 3) Inspección, discontinuidades longitudinales.
- 4) Magnetización longitudinal.

Imenda, A.C

113

SECUENCIA GENERAL DE INSPECCION

- 5) Inspección discontinuidades transversales
- 6) Registro de indicaciones.
- 7) Desmagnetización.
- 8) Limpieza final.

Imenda, A.C

114

**REQUISITOS DE INSPECCION
PARA RECIPIENTES A PRESION**

Código ASME BPV Sección V:

Artículo 7: "Examinación por partículas magnéticas".

Artículo 25: "Estándares para partículas magnéticas".

SE-709 (ASTM E-709) Guía estándar para la examinación por MT

Inspección, S.C. 115

CRITERIOS DE ACEPTACION

**Código ASME BPV Sección VIII
DIV. 1:**

Apéndice 6: Métodos para la examinación por partículas magnéticas (MT).

El estándar de aceptación para MT coincide con el aplicable a líquidos penetrantes (Apéndice 8)

Inspección, S.C. 115



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

INTRODUCCIÓN A LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

**EXPOSITOR:
ING. JUAN LUIS LÓPEZ POLANCO
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**



Introducción a los Ensayos No
Destructivos

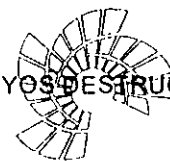
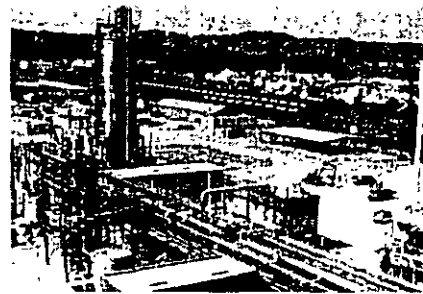
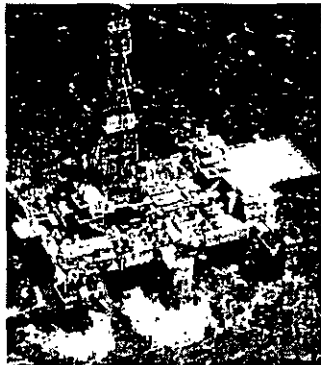
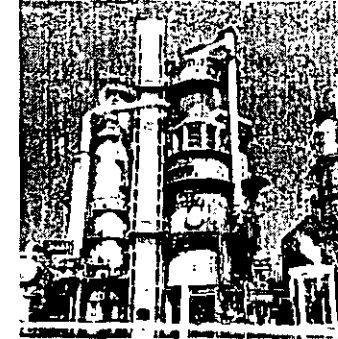
ING. Baudelino Alonso Toledo

IMENDE, A.C

ANTECEDENTES

Los ensayos destructivos y no destructivos se aplican principalmente en el control de calidad de los materiales metálicos, especialmente en aquellos casos donde se requiere evaluar las propiedades mecánicas, sanidad e integridad del material.

IMENDE, A.C



ENSAYOS DESTRUCTIVOS

IMENDE, A.C

ANTECEDENTES

Este tipo de materiales se emplean principalmente en la fabricación de intercambiadores de calor, calderas, contenedores, tuberías, reactores, válvulas, estructuras, gasoductos, etc.

IMENDE, A. C.

¿ QUÉ SON LOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS ?

Son métodos físicos directos que alteran en forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material y que determinan cuantitativamente el valor de propiedades, tales como composición química, resistencia mecánica, tenacidad o dureza.

IMENDE, A. C.

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Para su aplicación, se requiere de una muestra o probeta, la cual será destruida durante la ejecución del ensayo y por lo tanto, perderá su utilidad

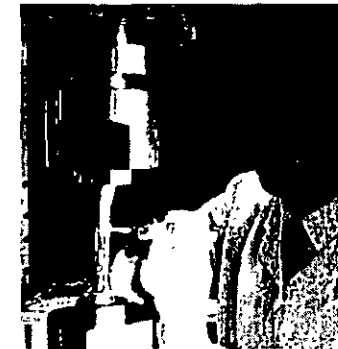
IMENDE, A. C.



ENSAYOS DESTRUCTIVOS


La aplicación de estos ensayos se realiza utilizando técnicas de muestreo en los lotes de fabricación, por lo que sus resultados se consideran representativos de la pieza o del lote de piezas que no fueron probados

IMENDE, A. C.



11

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



IMENDE, A.C.

12

¿ QUÉ SON LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ?


Son métodos de inspección que se basan en la aplicación de métodos físicos indirectos. Principalmente se emplean para la detección y evaluación de discontinuidades superficiales y subsuperficiales de los materiales, sin alterar o afectar su utilidad.

IMENDE, A.C.

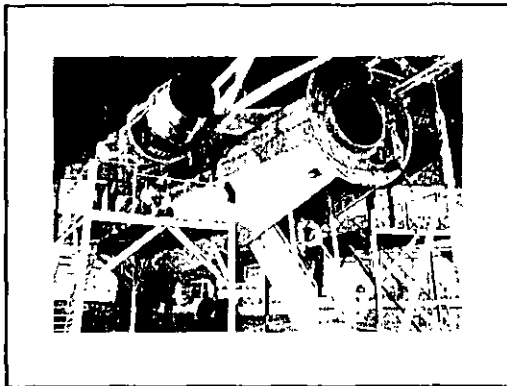
13

CAMPO DE APLICACIÓN

Es un campo de la Ingeniería que se aplica cotidianamente en la fabricación y/o construcción de componentes, ensambles, equipos e instalaciones.



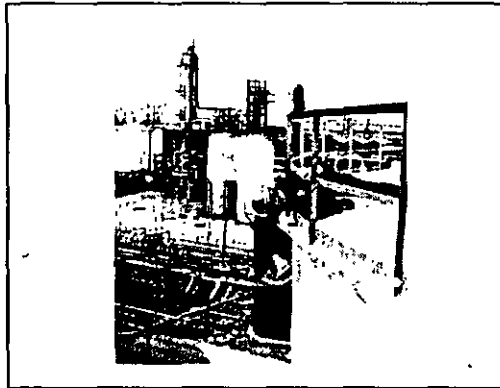
IMENDE, A.C.



ACTIVIDADES EN DONDE
COMÚNMENTE SON APLICADAS

- a) Diseño
- b) Fabricación o construcción
- c) Montaje o instalación
- d) Inspecciones y pruebas

IMENDE, A.C.



CLASIFICACIÓN SEGÚN A.S.N.T.

- 1) Inspección visual (VT)
- 2) Líquidos penetrantes (PT)
- 3) Partículas magnéticas (MT)
- 4) Electromagnetismo (ET)
(Corrientes Eddy)
- 5) Ultrasonido (UT)

IMENDE, A.C.

CLASIFICACIÓN SEGÚN A.S.N.T.

- 6) Radiografía (RT)
- 7) Emisión acústica (AE)
- 8) Radiografía por neutrones (NT)
- 9) Termografía infrarroja (IR)
- 10) Análisis de vibraciones (VA)
- 11) Prueba de Fuga (LT)

IMENDE, A.C.

NORMA MEXICANA
NMX-B-482-1997

- a) Técnicas de inspección superficial.
- b) Técnicas de inspección volumétricas.
- c) Técnicas de inspección de la integridad o hermeticidad.

IMENDE, A.C.

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN SUPERFICIAL

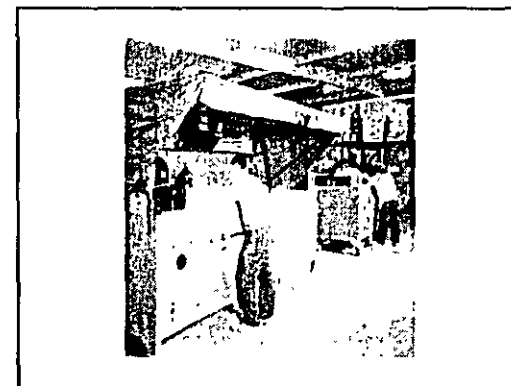
Se emplean para detectar y evaluar las discontinuidades abiertas a la superficie (VT y PT) y/o muy cercanas a la superficie (MT y ET).

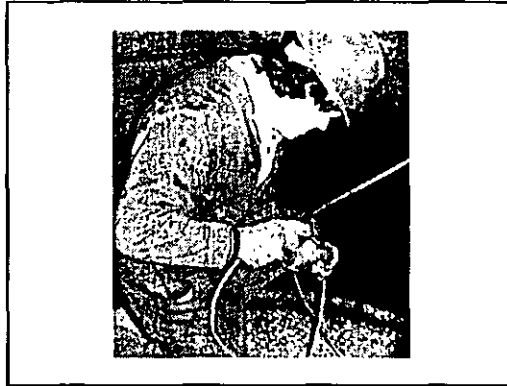
IMENDE, A C

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN SUPERFICIAL

- Inspección visual.
- Líquidos penetrantes.
- Partículas magnéticas.
- Electromagnetismo.

IMENDE, A C






TÉCNICAS DE
INSPECCIÓN VOLUMÉTRICA

Se emplean para verificar la sanidad interna y externa de los materiales; comprueban el grado de integridad de un material en su espesor y detectan discontinuidades internas no visibles.

IMENDE, A C

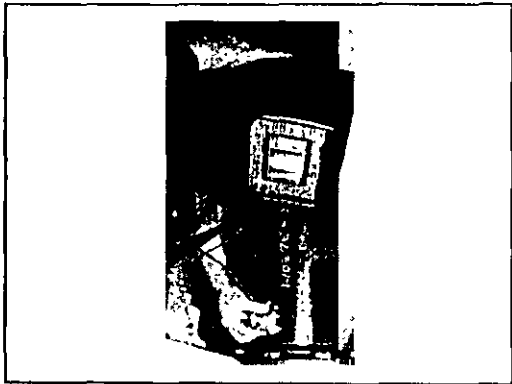
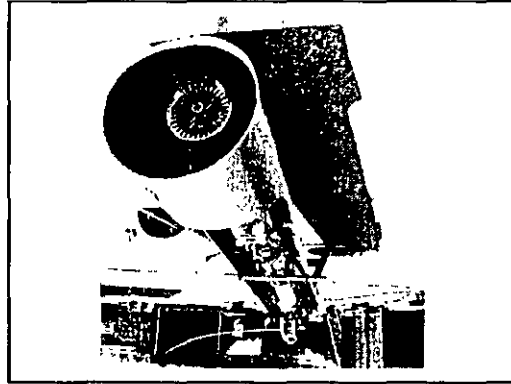
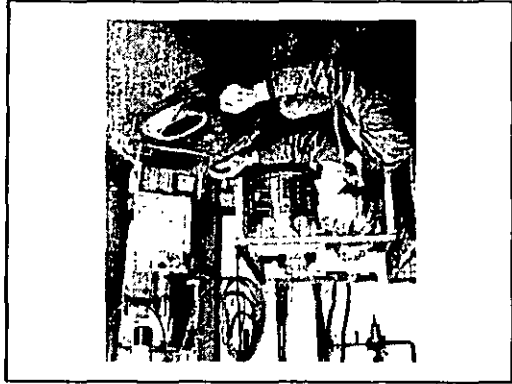
TÉCNICAS DE
INSPECCIÓN VOLUMÉTRICA

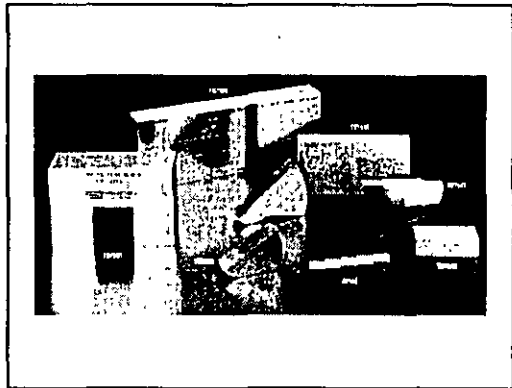
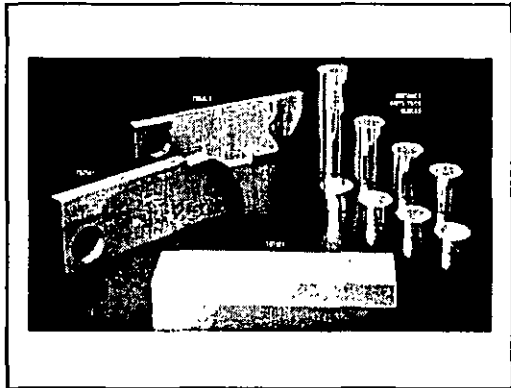
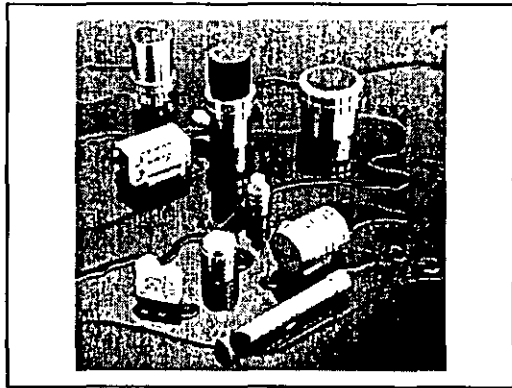
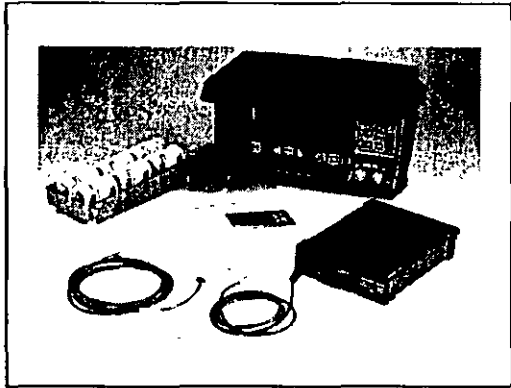
- Radiografía
- Ultrasonido
- Neutrografía
- Emisión acústica



IMENDE, A C









TÉCNICAS DE INSPECCIÓN DE LA INTEGRIDAD O HERMETICIDAD

Son aquellas en las que se comprueba la capacidad de un componente o de un recipiente para contener un fluido (líquido o gas) a una presión superior, igual o inferior a la atmosférica.

IMENDE, A. C.

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN DE LA INTEGRIDAD O HERMETICIDAD

Se emplea principalmente para verificar la hermeticidad de los recipientes o sistemas que trabajan al vacío o en condición presurizada.

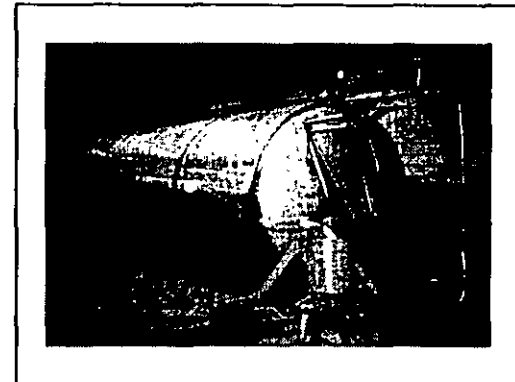
IMENDE, A. C.

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN DE LA INTEGRIDAD O HERMETICIDAD

a) Pruebas por cambio de presión:

- * Hidrostática
- * Neumática

IMENDE, A. C.



TÉCNICAS DE INSPECCIÓN DE LA INTEGRIDAD O HERMETICIDAD ³⁵

b) Pruebas por pérdida de fluido:

- * Detector de halógenos
- * Espectrómetro de masas
- * Prueba de la burbuja

IMENDE, A C

CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL PERSONAL QUE REALIZA END ³⁶

Cada método de inspección requiere de Calificación y Certificación de los inspectores que realizan END, por lo que existen tres niveles básicos:

- Nivel I, Nivel II y Nivel III

IMENDE, A C

DOCUMENTOS QUE REGULAN LA CAPACITACIÓN, CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN EN END ³⁷

- Práctica Recomendada No. SNT-TC-1A
- Norma ANSI/ASNT CP-189
- Norma MIL-STD-414E
- Norma Internacional ISO 9712
- Norma Mexicana NMX-B-482-1997

IMENDE, A C

VIGENCIA DE LA CERTIFICACIÓN ³⁸

- 3 Años para los Niveles I y II.
- 5 Años para los Niveles III.

IMENDE, A C.

CAPACITACIÓN ³⁹

Es el programa debidamente estructurado para proporcionar los conocimientos teóricos y desarrollar las habilidades prácticas de un individuo, a fin de que realice una actividad definida de inspección en END

IMENDE, A C

CAPACITACIÓN ⁴⁰

- El programa de capacitación debe ser aprobado por un Nivel III en END.
- Las horas de duración dependen del grado académico, método y nivel de END.

IMENDE, A C

CALIFICACIÓN

Es la demostración, por medio de exámenes debidamente preparados, de que un individuo posee los conocimientos teóricos y las habilidades necesarias para llevar a cabo en forma apropiada las actividades que implican los END.

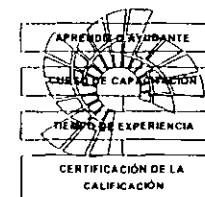
IMENDE, A C.

CERTIFICACIÓN

Es el testimonio escrito de una agencia central o de la calificación que emite una empresa sobre la capacidad técnica del individuo para realizar las actividades concernientes a un método de END.

IMENDE, A C.

SECUENCIA GENERAL PARA LA CERTIFICACIÓN (NIVEL I) EN END



IMENDE, A C.

APRENDIZ O AYUDANTE

Es un individuo que se encuentra en proceso de ser entrenado, calificado y certificado; se encuentra bajo supervisión de un inspector certificado, por lo que no puede conducir independientemente una inspección, interpretación, evaluación o reportar resultados de ningún método de END.

IMENDE, A C.

NIVEL I EN END

Individuo que se encuentra calificado para realizar actividades específicas, tales como calibraciones, inspecciones y evaluaciones para la aceptación o rechazo de materiales de acuerdo con instrucciones escritas.

IMENDE, A C.

NIVEL II EN END

Individuo que se encuentra calificado para ajustar y calibrar el equipo, interpretar y evaluar los resultados de prueba con respecto a códigos, normas y especificaciones; prepara instrucciones escritas y reporta los resultados.

IMENDE, A C.

NIVEL III EN END

Individuo que se encuentra calificado para establecer técnicas y procedimientos generales de inspección, interpretar los códigos, normas y especificaciones para establecer los métodos, técnicas y procedimiento específicos a ser empleados.

IMENDE, A.C.

NIVEL III EN END

Debe contar con el respaldo práctico en la tecnología de materiales y procesos de manufactura, así como estar familiarizado con otros métodos de Ensayos No Destructivos comúnmente utilizados.

IMENDE, A.C.

NIVEL III EN END

- Es el responsable del entrenamiento y aplicación de los exámenes para la calificación de los aspirantes a Nivel I y Nivel II.
- Es el responsable de la revisión y aprobación de los procedimientos de inspección.

IMENDE, A.C.

¿ QUÉ ES LA A.S.N.T. ?

Es la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos cuya función principal es desarrollar y difundir los conocimientos en esta materia, capacitar, examinar y certificar al personal técnico y profesional en Ensayos No Destructivos.

IMENDE, A.C.

RAZONES PARA SELECCIONAR UN MÉTODO DE END

- En la inspección de recepción, determina si la materia prima cumple con los requisitos de calidad solicitados por el cliente.
- En la inspección en proceso, determina si un objeto es aceptable después de cada etapa de fabricación

IMENDE, A.C.

RAZONES PARA SELECCIONAR UN MÉTODO DE END

- En la inspección final, determina si un objeto es aceptable para su uso final.
- En la inspección en servicio, si un objeto en uso es aceptable para continuar en servicio.

IMENDE, A.C.

CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE SUJETO A PRESIÓN FABRICADO CON PLACA

- Inspección de recepción: UT y VT a las placas.
- Inspección en proceso: VT y PT de los biseles y primero dos cordones.

IMENDE, A.C.

CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE SUJETO A PRESIÓN FABRICADO CON PLACA

- Inspección final: PT/MT y UT/RT a cordones; LT al recipiente.
- Inspección en servicio: VT, PT o MT en boquillas, tapas y cuerpo (soldaduras).

IMENDE, A.C.

INSPECCIÓN VISUAL (VT)

IMENDE, A.C.

INSPECCIÓN VISUAL

Es un método de inspección que provee un medio para la detección y examinación de una variedad de discontinuidades superficiales, tales como grietas, corrosión, desgaste, erosión, fugas, daños físicos y discontinuidades superficiales en soldaduras

IMENDE, A.C.

EQUIPO UTILIZADO EN VT

- 1) Endoscopios (boroscopios) rígidos y flexibles para áreas internas, cerradas o poco accesibles.
- 2) Sensores de imagen para registro visual en forma de fotografías, vídeo o imágenes en computadoras.

IMENDE, A.C.

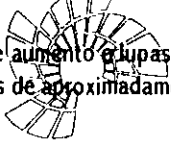
EQUIPO UTILIZADO EN VT

- 3) Sistemas de amplificación para la evaluación de acabados superficiales, perfiles, contornos y estudios de microestructura.
- 4) Líquidos penetrantes y Partículas Magnéticas

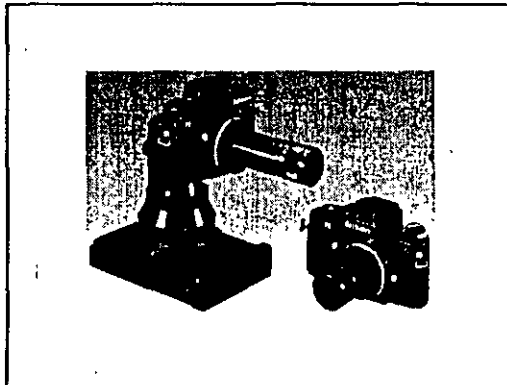
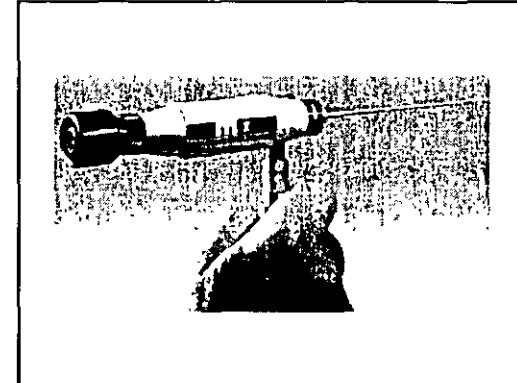
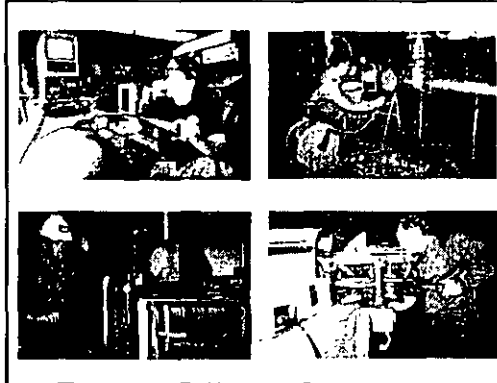
IMENDE, A.C.

EQUIPO UTILIZADO EN VT

- 5) Equipos de metrología dimensional.
- 6) Lentes de aumento o lupas que tengan aumentos de aproximadamente 5X a 10X.



IMENDE, A C



REQUISITOS " "
ASME SECTION V ARTICLE 9

T-941 Requisitos del procedimiento:
La inspección visual debe ser llevada a cabo a través de un procedimiento escrito.

IMENDE, A C

REQUISITOS " "
ASME SECTION V ARTICLE 9

El procedimiento es calificado utilizando una tarjeta gris que contiene una línea fina negra de 1/32" de ancho o menor.

IMENDE, A C

REQUISITOS
ASME SECTION V ARTICLE 9

T-942 Requisitos físicos:

El personal debe efectuarse un examen anual de agudeza visual cercana y ser capaz de leer las letras estándar Jaeger I-1

IMENDE, A C

REQUISITOS
ASME SECTION V ARTICLE 9

T-952 Inspección visual directa:

El ojo debe estar en un campo de 24" de la superficie a ser inspeccionada y en un ángulo no menor de 30°, se pueden utilizar espejos y lentes de ampliación.

IMENDE, A C.

REQUISITOS
ASME SECTION V ARTICLE 9

Iluminación:

Se requiere una iluminación de al menos 15 candelas/pie y un mínimo de 50 candelas/pie para la detección de pequeñas anomalías.

IMENDE, A C

REQUISITOS
ASME SECTION V ARTICLE 9

T-953 Inspección visual remota:

Se pueden utilizar espejos, boroscopios, cámaras y otros instrumentos adecuados; estos sistemas deben tener una resolución de al menos el equivalente a la obtenida por observación visual directa

IMENDE, A C

REQUISITOS
ASME SECTION V ARTICLE 9

T-954 Inspección visual translúcida:

Es un suplemento de la inspección visual directa; utiliza como ayuda la iluminación artificial de un iluminador direccional; la luz ilumina y se difunde a través del área o región bajo examinación.

IMENDE, A C

GLOSARIO DE TÉRMINOS

I-930 Examinación visual directa:

Es una técnica de examinación visual realizada por el ojo y sin ninguna ayuda visual (excluyendo fuentes de luz, espejos y/o lentes correctivos).

IMENDE, A C

GLOSARIO DE TÉRMINOS

I-930 Examinación visual realizada:

Es una técnica de **examinación visual** usando **ayudas visuales** para mejorar la capacidad de **visión**, por ejemplo: ayudas amplificadas, boroscopios, sondas de vídeo, fibra óptica, etc.

IMENDE, A.C.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

I-930 Examinación visual remota:

Es una **técnica de ~~examinación~~ visual** usada con **ayudas visuales** para condiciones donde el área a ser examinada es **inaccesible** para la **examinación visual directa**.

IMENDE, A.C.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

I-930 Examinación visual translúcida:

Es una **técnica que usa intensidad de luz artificial** para permitir la **visión de variaciones de espesor** en laminados **translúcidos**.

IMENDE, A.C.

VENTAJAS

La **INSPECCIÓN VISUAL** se emplea en cualquier etapa de un proceso productivo o durante las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo.

IMENDE, A.C.

VENTAJAS

Muestra las discontinuidades más grandes y generalmente se **realiza** en áreas que pueden detectarse de forma más precisa por otros métodos, tales como PT, MT y ET.

IMENDE, A.C.

VENTAJAS

Puede detectar y ayudar en la eliminación de discontinuidades que podrían convertirse en defectos; requiere pocas horas de entrenamiento y experiencia.

IMENDE, A.C.

VENTAJAS

El costo de la inspección es el más bajo de todos los ensayos no destructivos, siempre y cuando se aplique correctamente

IMENDE, A C

LIMITACIONES

- La calidad de la inspección depende en gran parte de la experiencia y conocimiento del inspector.
- Se encuentra limitada a la detección de discontinuidades superficiales.

IMENDE, A C.

LIMITACIONES

- Cuando se emplean sistemas de observación directa, tales como lupas y endoscopios sencillos, la calidad de la inspección dependerá de la agudeza visual del Inspector o de la resolución del sistema.

IMENDE, A C

LIMITACIONES

- La detección de discontinuidades puede ser difícil si no se proveen las adecuadas condiciones en la superficie a inspeccionar y de la iluminación.

IMENDE, A C

LÍQUIDOS PENETRANTES (LPT)

IMENDE, A C

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Método de inspección superficial del tipo físico-químico, el cual consiste en la aplicación de un líquido con pigmentación contrastante o fluorescente a la superficie a inspeccionar, para que se introduzca por capilaridad en las posibles discontinuidades

IMENDE, A C

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO ¹⁰³

Después de remover el exceso del penetrante se aplica un revelador que extrae el líquido de las discontinuidades y lo muestra sobre un fondo contrastante.

IMENDE, A.C



APLICACIONES DEL MÉTODO ¹⁰⁵

- Aplicable a cualquier tipo de material de estructura no porosa, ya sea metálico o no metálico.
- En superficies con acabado de maquinado o de rectificado.

IMENDE, A.C

APLICACIONES DEL MÉTODO ¹⁰⁶

- En superficies con acabado burdo, en piezas de fundición, forjadas y uniones con soldadura.
- En piezas de cualquier tamaño y configuración geométrica accesible.

IMENDE, A.C

VENTAJAS ¹⁰⁷

- Relativamente fácil de aplicar
- Bajo costo de inspección
- Muy sensible para la detección de discontinuidades expuestas a la superficie.

IMENDE, A.C

VENTAJAS ¹⁰⁸

- Requiere pocas horas de entrenamiento y experiencia inicial.
- Equipo portátil y aplicable en campo.

IMENDE, A.C

LIMITACIONES

- Sólo detecta discontinuidades superficiales.
- Una selección incorrecta del revelador o penetrante puede ocasionar una falta de sensibilidad.

IMENDE, A C

LIMITACIONES

- No es aplicable a materiales porosos.
- Se requiere de una buena limpieza de la superficie a examinar.

IMENDE, A C

CLASIFICACIÓN DE PT SEGÚN ASME SECTION V

Existen dos métodos:

- a) Líquidos contrastantes.
- b) Líquidos fluorescentes.

IMENDE, A C.

CLASIFICACIÓN DE PT SEGÚN ASME SECTION V

Existen tres tipos:

- 1) Removibles con agua.
- 2) Post-emulsificables.
- 3) Removibles con solventes.

IMENDE, A C

CLASIFICACIÓN DE PT SEGÚN ASME SECTION V

Combinando los 2 métodos y los 3 tipos, se obtienen los procesos siguientes.

- 1) A-1, A-2 y A-3.
- 2) B-1, B-2 y B-3.

IMENDE, A C

LÍQUIDOS CONTRASTANTES

Se aplican cuando se requiere:

- * Inspección con luz natural, blanca o artificial.
- * Sensibilidad normal (indicaciones 1 mm o mayores).
- * Inspección en campo.

IMENDE, A C

LÍQUIDOS FLUORESCENTES

Se aplican cuando se requiere:

- * Detectar discontinuidades menores a 0.5 mm de longitud.
- * Inspeccionar piezas críticas

IMENDE, A C

LAVABLES CON AGUA

Se aplican cuando:

- * La superficie es rugosa.
- * Presencia de cuerdas, foscas o cuñeros
- * Inspección masiva o automática.

IMENDE, A C

POST-EMULSIFICABLES

Se aplican cuando:

- * Se requiere mejorar la sensibilidad.
- * Existen problemas con el acabado superficial.
- * Aplicaciones especiales.
- * Muy alta sensibilidad.

IMENDE, A C

REMOVIBLES CON SOLVENTE

Se aplican cuando:

- * Existen superficies tersas o con maquinado final.
- * Existen inspecciones esporádicas.
- * Existen inspecciones por zonas localizadas.

IMENDE, A C

REMOVIBLES CON SOLVENTE

- * Existen inspecciones críticas que requieren alta sensibilidad.
- * No muy alta productividad.

IMENDE, A C

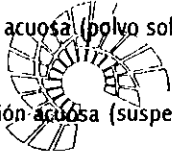
REMOVIBLES CON SOLVENTE

- * Son aplicados en inspecciones críticas que requieren de alta sensibilidad.
- * No muy alta productividad.

IMENDE, A C

TIPO DE REVELADOR

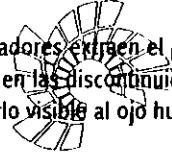
- Secos
- En solución acuosa (polvo soluble en agua).
- En suspensión acuosa (suspendido en agua)
- En suspensión no acuosa.



IMENDE, A C

FUNCIÓN DEL REVELADOR

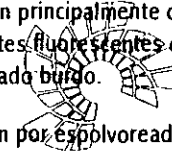
Los reveladores extraen el penetrante atrapado en las discontinuidades para hacerlo visible al ojo humano.



IMENDE, A C

USOS DEL REVELADOR EN POLVO SECO

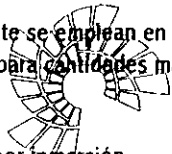
- Se utilizan principalmente con penetrantes fluorescentes en superficie con acabado burdo.
- Se aplican por espolvoreado manual o mecánico.



IMENDE, A C

USOS DE REVELADORES ACUOSOS

- Generalmente se emplean en sistemas de inspección para cantidades masivas de piezas.
- Se aplican por inmersión.



IMENDE, A C

USO DEL REVELADOR EN SUSPENSIÓN NO ACUOSA

- Para penetrantes contrastantes y fluorescentes.
- Se aplica sólo por aspersión o atomización.
- Posee alto poder de absorción y muy útil para descubrir discontinuidades finas o pequeñas.



IMENDE, A C

SECUENCIA DE PT

- 1) Limpieza inicial.
- 2) Secado
- 3) Aplicación del penetrante.
- 4) Tiempo de penetración
- 5) Aplicación del emulsificante*
- 6) Tiempo de emulsificación*.



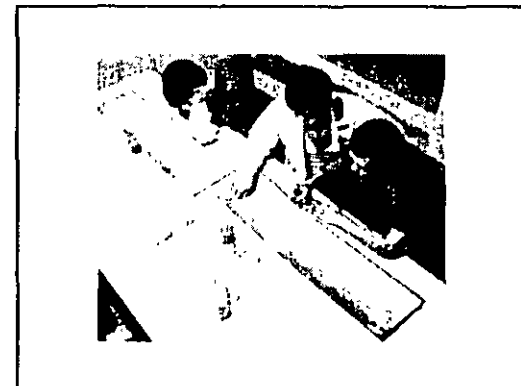
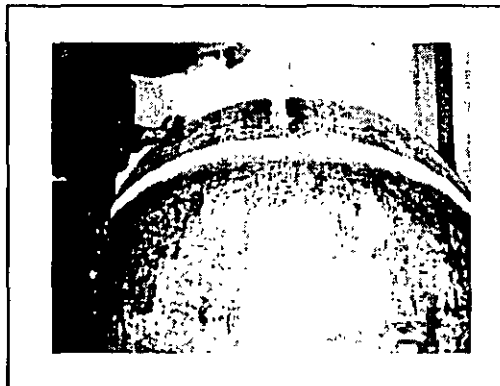
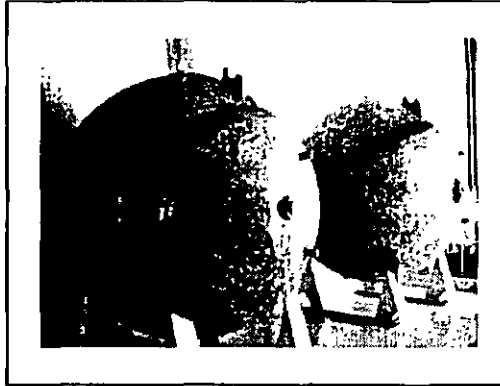
IMENDE, A C

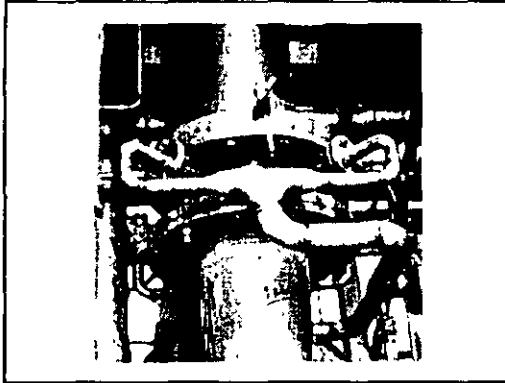
* Solo para penetrantes post-emulsificables

SECUENCIA DE PT

- 7) Remoción del exceso del penetrante.
- 8) Secado.
- 9) Aplicación del revelador.
- 10) Tiempo de penetración.
- 11) Interpretación y evaluación.
- 12) Limpieza final.

IMENDE, A C





REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-600 Introducción.

Aplicable a metales no porosos y otros materiales. Discontinuidades detectables, tales como grietas, costuras, traslapes, laminaciones y porosidades.

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-621.1 Procedimiento inicial

La inspección debe ser realizada de acorde con un procedimiento (indica la información mínima que debe contener).

IMENDE, A C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-641 Control de contaminantes.

El usuario debe obtener la certificación del contenido de contaminantes (sulfuros, cloruros y fluoruros).

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-642 Preparación de la superficie.

Pueden obtenerse los resultados satisfactorios cuando la superficie de la pieza está en la condición de: como soldado, rolado, fundición o forjado; podría requerirse esmerilado, maquinado u otros métodos de preparación.

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-642 Zona de interés

La superficie a ser examinada y todas las áreas adyacentes dentro de al menos 1" deben estar secas y libres de cualquier material extraño que obstruya las aperturas de las discontinuidades o que interfieran en la examinación

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-643 Secado después de la preparación.
Debe ser por evaporación normal o con aire seco a presión caliente o frío. Se debe establecer un periodo de tiempo mínimo.

IMENDE, A.C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-651 Técnicas.
Pueden usarse penetrantes contrastantes o fluorescentes con cualquiera de los tres procesos.

- Removible con agua.
- Post-emulsificable.
- Removible con solvente.

IMENDE, A.C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

La combinación anterior provee seis técnicas de líquidos penetrantes

IMENDE, A.C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-652 Temperatura para técnicas estándar.
La temperatura del penetrante y de la superficie a inspeccionar no debe ser menor a 60°F (15.5°C) ni mayor a 125°F (51.6°C). Se permite el calentamiento o enfriamiento local.

IMENDE, A.C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-653 Técnicas para temperatura no estándar.
Se debe calificar el procedimiento al rango de temperatura deseado, utilizando un bloque de aluminio agrietado (bloque comparador de VT)

IMENDE, A.C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-654 Restricciones técnicas.
No debe aplicarse un penetrante fluorescente si antes se utilizó un penetrante contrastante.

IMENDE, A.C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 6

T-654 Restricciones técnicas.

No se permite la mezcla de materiales penetrantes de diferentes familias o fabricantes; el repetir A-1 ó B-1 puede perder indicaciones debido a la contaminación.

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 6

T-671 Aplicación del penetrante.

Por inmersión, por aspersión o con brocha.

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 6

T-672 Tiempo de penetración.

De acuerdo a tablas (Norma SE-165) para temperatura estándar o cómo se haya calificado por demostración; este tiempo es crítico.

IMENDE, A C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 6

T-673 Remoción de exceso.

Después de haber ocurrido, el tiempo de penetración debe removerse el exceso del penetrante de la superficie.

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 6

T-675 Revelado.

El revelador debe aplicarse tan pronto como sea posible después de remover el exceso del penetrante; aplicar una capa fina y homogénea.

IMENDE, A C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 6

T-675 Revelado.

Solamente reveladores húmedos deben utilizarse en penetrantes contrastantes; en penetrantes fluorescentes se pueden utilizar reveladores húmedos o secos

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-676 Interpretación final.

Debe ser realizada después de transcurrido el tiempo de revelado (de 7 a 30 minutos).

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-676 Interpretación final.

Si la superficie de una pieza es grande y no puede examinarse completamente dentro del lapso establecido, la inspección debe hacerse por zonas.

IMENDE, A C.

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-676.3 Penetrantes contrastantes.

Una iluminación adecuada es requerida para obtener una sensibilidad adecuada durante la examinación y evaluación de las indicaciones.

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-676.3 Penetrantes contrastantes.

SE-165: Intensidad mínima en el sitio es de 32.5 candelas/pie (350 luxes).

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-676.4 Penetrantes fluorescentes.

La examinación es realizada en un área oscura, utilizando luz negra, en el caso de que el técnico use lentes, éstos no deben ser fotosensibles.

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASME SECTION V ARTICLE 6

T-676.4 Penetrantes fluorescentes.

Se requiere de una intensidad de al menos de 800 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ sobre la superficie.
SE-165: Máxima 3 cd/pie (32 luxes) de luz ambiental.

IMENDE, A C

REQUISITOS DE PT
ASMÉ SECCIÓN V ARTÍCULO 6

T-680 Evaluación.

Todas las indicaciones deben ser evaluadas en base al estándar de aceptación de la Sección del Código de referencia.

IMENDE, A.C.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
ASME SECTION VIII DIVISION 1

8-3 Evaluación de Indicaciones.

Indicaciones con dimensiones mayores a $1/16''$ deben considerarse relevantes.

IMENDE, A.C.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
ASME SECTION VIII DIVISION 1

- a) Indicación lineal. L/A mayor a 3.
- b) Indicación redondeada. L/A menor o igual a 3 (circular o elíptica).
- c) Deben reexaminarse cualquier indicación dudosa o cuestionable

IMENDE, A.C.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
ASME SECTION VIII DIVISION 1

8-4 Estándar de aceptación.

Todas las superficies examinadas deben estar libres de:

- a) Indicaciones lineales relevantes.
- b) Indicaciones redondeadas mayores a $3/16''$.

IMENDE, A.C.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
ASME SECTION VIII DIVISION 1

8-4 Estándar de aceptación.

Todas las superficies examinadas deben estar libres de:

- c) 4 o más indicaciones redondeadas relevantes en línea separadas por $1/16''$ o menos de borde a borde.

IMENDE, A.C.



CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
ASME SECTION VIII DIVISION 1

8-5 Reparaciones

Los defectos deben ser reparados y hacer una reexaminación para asegurar su eliminación o reducción a un tamaño aceptable.

IMENDE, A C

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
ASME SECTION VIII DIVISION 1

8-5 Reparaciones

La reparación con soldadura debe hacerse con un procedimiento calificado.

IMENDE, A C

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
ASME SECTION VIII DIVISION 1

8-5.1 Zonas explotadas.

Después de que un defecto ha sido removido y antes de reparar con soldadura, el área debe ser reexaminada.

IMENDE, A C

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
ASME SECTION VIII DIVISION 1

8-6.2 Áreas reparadas

Después de la reparación con soldadura, el área debe ser reexaminada con PT y por métodos aplicados inicialmente.

IMENDE, A C

GRACIAS

IMENDE, A C



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

LOS PROCESOS DE SOLDADURA

**EXPOSITOR:
TEC. JAIME MARQUEZ SILVA
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**

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 Prácticas 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 trasladarla 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 Prácticas de Manufactura se obtienen:

- ◆ Apegándose 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 de 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 pallería 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 fundente.

➤ 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 fundente 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 de 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 de 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 aplican 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 APOORTE
- ♦ 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 Guiada
- ♦ QW-170 Pruebas de Tenacidad
- ♦ QW-180 Prueba Flete 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.

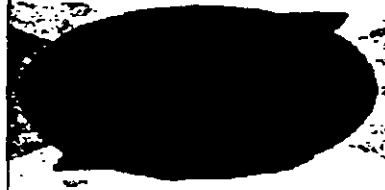
Requisitos Mínimos de un Sistema de Aseguramiento de la Calidad en Soldadura.

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 de 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
- ✓ **INSPECCION.** Se debe contar con un sistema de inspección, independiente del área 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

 E.I.A. S.A. de C.V.	Manual de Procedimientos		Página 1 de 4
	Nombre ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		Número OPE-020 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)	Fecha (Date)
Especificación de Procedimiento de Soldadura No (Welding Procedure Specification No)	Fecha (Date)
Proceso (s) de soldadura (Welding Process(es))	
Tipo (Manual Automático, Semi-Automático) (Type Manual Automatic or Semi-automatic)	

QW-402JUNTAS (JOINTS)

Diseño de la Union (Joint Design)	Ver los Dibujos de fabricación para detalles de la Union	
Respaldo (Backing)	Si (Yes)	NO (No)
Materia de Respaldo (Tipo) (Backing Material Type)		
Metalico (Metal)	, No Metalico (Non Metalic)	
Metal NO Fundible (Non Fusing Metal)	(See Fabrication Drawings for Actual Joint Design)	

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.)

A opción del Fabricante pueden anexarse croquis para ilustrar el diseño de union, la secuencia de las capas de soldadura tales como las usadas para procedimientos de tenacidad 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.)

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., 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**

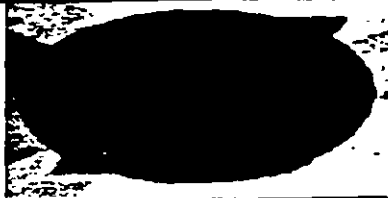
QW-403 METALES BASE (BASE METALS)					
No. P (P No)	Grupo No. (No. Group)	A (To)	No. P (P No)	Grupo No. (No. Group)	
Especificación del Material tipo y grado (Material Specification Type and grade)		A (To)	Especificación del Material tipo y grado (Material Specification Type and grade)		
Análisis Químico 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	Revisado por	Aprobado por
Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Fidel Barrón Tea Director de Calidad	Enrique Espinosa Velazquez 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.

 E.I.A. S.A. de C.V.	Manual de Procedimientos		Página 3 de 4
	Nombre ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		Número OPE-020 Revisión 1

QW-406 PRECALENTAMIENTO (PREHEAT)	
Temperatura de Precaentamiento (Preheat Temp)	
Temperatura Interpasos (Interpass Temp)	
Otros (Other):	

QW-407 TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR (POSTWELD HEAT TREATMENT)	
Temperatura (Temperature)	
Tiempo (Time)	
Otros (Other):	

QW-408 GAS (GAS)			
	Composicion en Por ciento (Percent Composition)		
	Gas(es) (Gas(es))	Mezcla (Mixture)	Rango de Flujo (Flow Rate)
Revestimiento (Shielding)			
Arrastre (Trailing)			
Respaldo (Backing)			

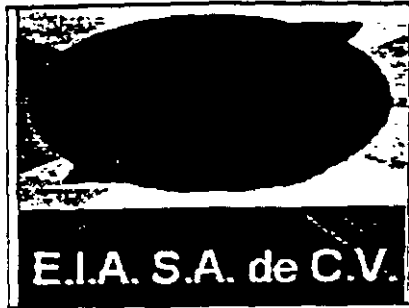
QW-409 CARACTERISTICAS ELECTRICAS (ELECTRICAL CHARACTERISTICS)			
Corriente (Current)			
Polaridad (Polarity)			
Amperes (Volts)	(Amps)	(Volts)	
Diametro del Electrodo de Tungsteno (Tungsten Electrode Size)			
Otros (Other)			

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 de electrodo de tungsteno (Tungsten electrode size and type)
Modo de transferencia de meta 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 Fide Barron 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.



Manual de Procedimientos

**Nombre
ESPECIFICACION
DE PROCEDIMIENTO DE
SOLDADURA**

**Número
OPE-020**

**Página
4 de 4
Revisión
1**


QW-410 TECNICA (TECHNIQUE)	
Progresion Soldadura (Recta u Oscilante) <i>(String or Weave Bead)</i>	
Orificio o tamaño de la boquilla de gas <i>(Orifice or cup size)</i>	
Limpeza inicial e interpasos (cepillado, esmerilado) <i>(Initial and interpass cleaning) (Brushing grinding)</i>	
Metodo de vaciado <i>(Method of back gouging)</i>	
Oscilación <i>(Oscillation)</i>	
Distancia de la boquilla a la pieza <i>(Contact tube to work distance)</i>	
Paso múltiples o sencillos (por lado) <i>(Multiple or single pass (per side))</i>	
Electrodo Sencillo o Multiple <i>(Single or Multiple Electrode)</i>	
Velocidad de avance (Rango) <i>(Travel Speed (Range))</i>	
Martillado <i>(Peening)</i>	
Otros <i>Other</i>	

Resumen de Parametros del Procedimiento						
Proceso	Capas de Soldadura	Metal de Abote		Corriente	Rango de Voltaje	Velocidad de avance
Process	Weld layer	Filler Meta		Current	Voltage Range	Travel speed
		Clase	Diam	Polaridad	Rango Amp	
		Class	Diam	Polarity	Amp range	
Otros <i>Other</i>						

(Consiguar p.e. observaciones o comentarios acerca de adición de alambre caliente, tecnica, angulo de la antorcha etc.) (e.g. *Remarks, comment, hot wire addition, technique, torch angle, etc.*)

Preparado por Manuel Cabrera Moreno Director de Operaciones	Revisado por Fidel Barron Tea Director de Calidad	Aprobado por Enrique Espinola Velazquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

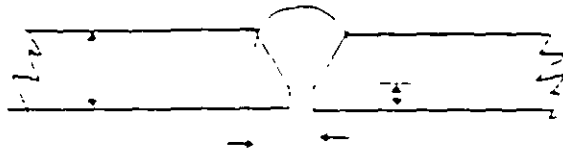
Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V. y esta prohibida su reproducción por cualquier medio.

 E.I.A. S.A. de C.V.	Manual de Procedimientos	Pagina 1 de 4
	Nombre REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	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 Process(es))	
Tipo (Manual, Automático, Semi-Automático) (Type: Manual, Automatic or Semi-automatic)	

QW-402 JUNTAS (JOINTS)



Diseño de la Ranura de la Probeta (Groove Design of Test Coupon)

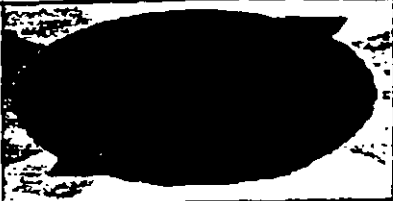
Para calificación de combinaciones debe registrarse el espesor de los depósitos de soldadura para cada meta de aporte o proceso usado (For combination qualifications the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal or process used)

QW-403 METALES BASE (BASE METALS)

Especificación del Material (Material Specification)	
Tipo o Grado (Type or Grade)	
No. P	No. P
a	b
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 Velazquez 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

 E.I.A. S.A. de C.V.	Manual de Procedimientos	Número OPE-021	Página 2 de 4 Revisión 1
	Nombre REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		

QW-404 METALES DE APORTE (FILLER METALS)	
Especificacion SFA (SFA Specification)	
Clasificacion AWS (AWS Classification)	
Numero F del Metal Aporte (Filler Metal F No)	
Numero A del Metal de Aporte (Weld Metal Analysis A-No)	
Diametro del Metal de Aporte (Size of Filler Metal)	
Otros (Other)	
Metal de Soldadura Depositado (Deposited Weld Metal)	

QW-405 POSICION (POSITION)	
Posicion de la Ranura (Position of Groove)	
Progresion Soldadura (Ascendente o Descendente) (Weld Progression (Uphill/ Downhill))	
Otros (Other)	

QW-406 PRECALENTAMIENTO (PREHEAT)	
Temperatura de Pre calentamiento (Preheat Temp)	
Temperatura Interpasos (Interpass Temp)	
Otros (Other)	


QW-407 TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR (POSTWELD HEAT TREATMENT)	
Temperatura (Temperature)	
Tiempo (Time)	
Otros (Other)	

QW-408 GAS (GAS)	
Composicion en Porciento (Percent Composition)	
Gases (Gases)	Mezcla (Mixture) Rango de Flujo (Flow Rate)
Revestimiento (Shielding)	
Arrastre (Trailing)	
Respaldo (Backing)	

QW-409 CARACTERISTICAS ELECTRICAS (ELECTRICAL CHARACTERISTIC)			
Corriente (Current)			
Polaridad (Polarity)			
Amperes (Amps)	Volts (Volts)	Amps (Amps)	Volts (Volts)
Diametro del 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 Velazquez Director General
Fecha	Fecha	Fecha

Este procedimiento es propiedad intelectual de E.I.A. S.A. de C.V., esta prohibida su reproduccion por cualquier medio

 E.I.A. S.A. de C.V.	Manual de Procedimientos		Página 3 de 4
	Nombre REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		Número OPE-021 Revisión 1


QW-410 TECNICA (TECHNIQUE)	
Velocidad de avance (Travel Speed)	
Progresion Soldadura (Ascendente o Descendente) (String or Weave Bead)	
Oscilacion (Oscillation)	
Paso Multiple o Sencillo (por lado) (Multipass Or Single (per side))	
Electrodo Sencillo o Multiple (Single or Multiple Electrode)	
Otros (Other)	

QW-150 Pruebas de Tension (Tensile Test)						
Probeta No	Ancho	Espesor	Area	Carga Total Ultima lb	Ultimo Esfuerzo Unitario psi	Fallas y Localizacion
(Specimen No)	(Width)	(Thickness)	(Area)	(Ultimate Total Load)	(Ultimate Unit Stress)	(Type of Failure & Location)

QW-160 Pruebas de Doblez Guiado (Guided-Bend Tests)	
Tipo y Figura Numero (Type and Figure No)	Resultado (Result)

QW-170 Pruebas de Tenacidad (Toughness Test)							
Probeta Nº	Posicion de la Ranura	Tipo Ranura	Temperatura de la Prueba	Cargas de Impacto	Expansión Lateral (Lateral Expansion)	Peso Aplicado (Drop Weight)	
(Spec No)	(Notch Location)	(Notch Type)	Test Temp	(Impact Values)	Desgarre % (Shear)	Granulado (Mils)	Fractura (Break) Sin fractura (No Break)

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

 E.I.A. S.A. de C.V.	Manual de Procedimientos	Número OPE-021	Página 4 de 4 Revisión 1
	Nombre REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		

QW-180 Prueba Filete de Soldadura (<i>Filet-Weld Test</i>)					
Resultado Satisfactorio <i>(Results Satisfactory)</i>	Si <i>(Yes)</i>	No <i>(No)</i>	Penetración en Metal Base <i>(Penetration into Parent Metal)</i>	Si <i>(Yes)</i>	No <i>(No)</i>
Macro Resultados (<i>Macro Results</i>)					
Otras Pruebas (<i>Other Tests</i>)					
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>	

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
(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)

Fabricante
(Manufacturer)

Fecha
(Date)

Emitido por
(By)

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 Espinoza 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.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

SOLDADURA DE ARCO

**EXPOSITOR:
TEC. JAIME MARQUEZ SILVA
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**

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 .

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 puentes sencillos de un solo claro y las estructuras complicadas, o plataformas marinas de perforación, descargadores de mineral, palas gigantescas 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 hará 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 vida 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 peso y el costo. El diseñador debe seleccionar el nivel de resistencia y la relación resistencia-densidad del metal que va a 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 ^{para} 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 de vigas a esfuerzos térmicos y otras semejantes. La palabra carga se usa aquí en 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.

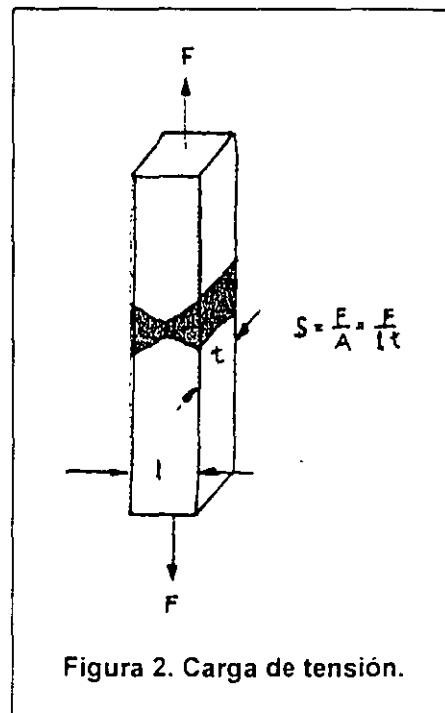
La mayor parte del trabajo del diseño se clasifica en estructural o de máquina. En general, el diseño estructural se refiere a estructuras grandes que generalmente están constituidas por secciones de acero rolado en caliente, como ángulos, barras, placas, vigas, etc, conectadas por soldaduras en sus 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.

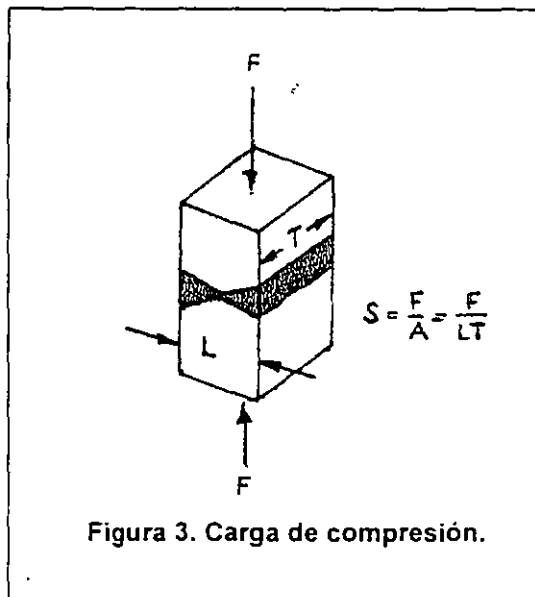


Figura 3. Carga de compresión.

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.

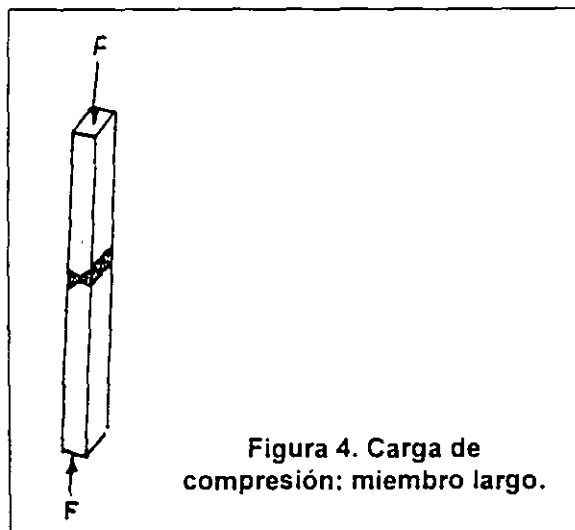


Figura 4. Carga de compresión: miembro largo.

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 una 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

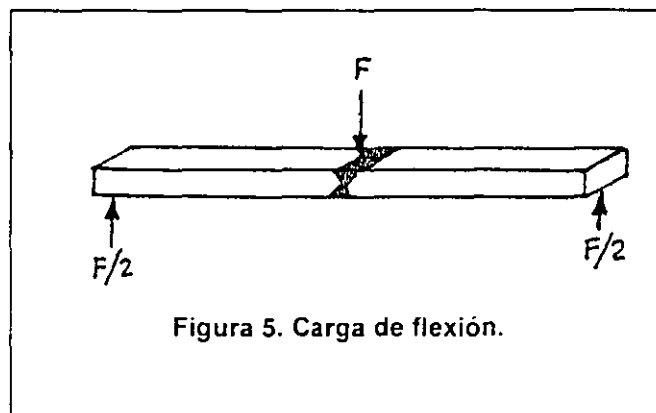
$$s = M/S$$

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 perfil laminados de acero estructural, y secciones preconstruidas 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

$$v = V/dt$$

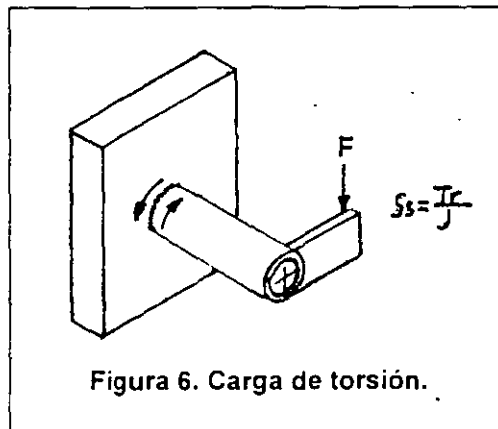
en donde v = esfuerzo de corte
 V = fuerza cortante vertical
 d = espesor de la viga
 t = espacio del alma, o sea de la parte vertical de la viga

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



El momento polar de inercia^{se} 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

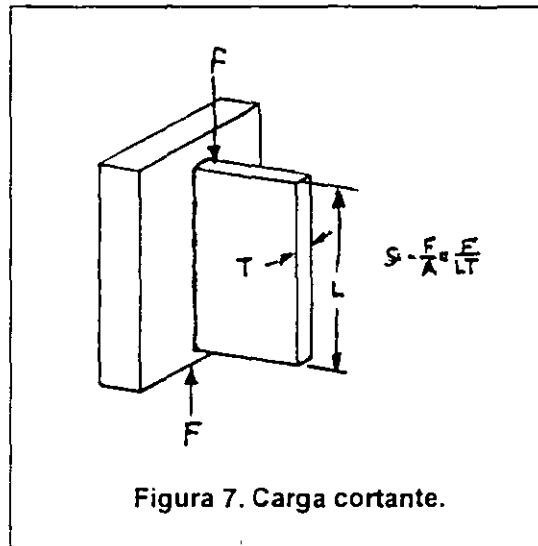
$$s = F/A$$

siendo s = esfuerzo de corte

F = fuerza cortante

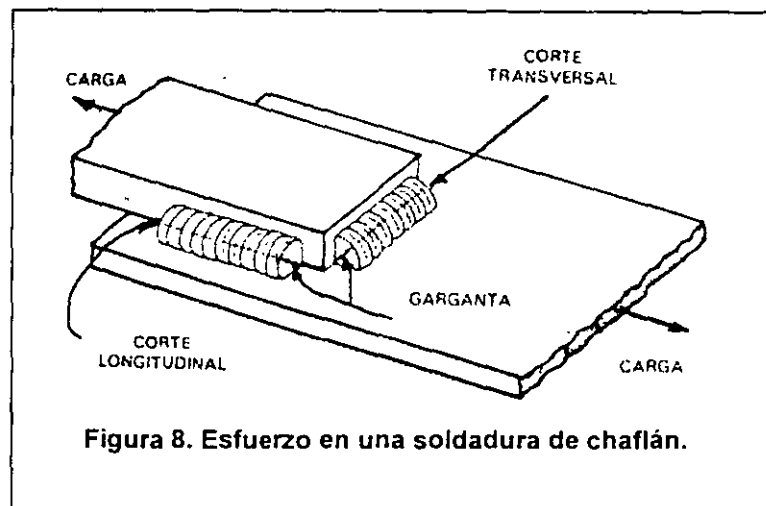
A = área, pero, como antes se mencionó, es un área paralela a la carga

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° a lo largo o a través de la sección de la garganta.



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

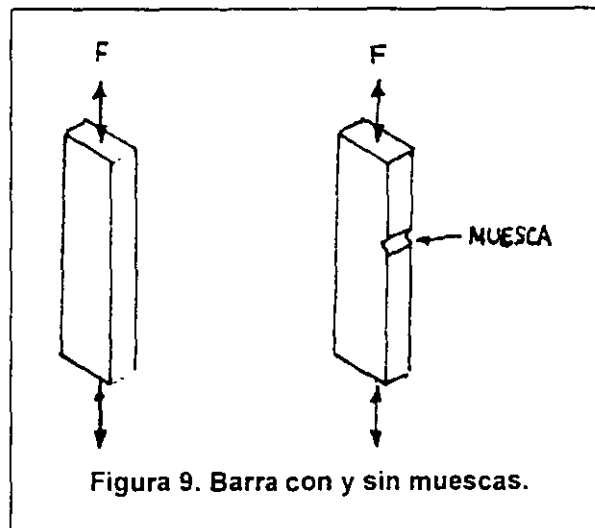
Al considerar los criterios de diseño de una construcción soldada, se debe hacer especial hincapié en las concentraciones de esfuerzo o distribución de los esfuerzos en muescas o discontinuidades. Cuando las partes de una construcción se sueldan entre sí, actúan como una estructura monolítica. Esto significa 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 dinámicamente 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.

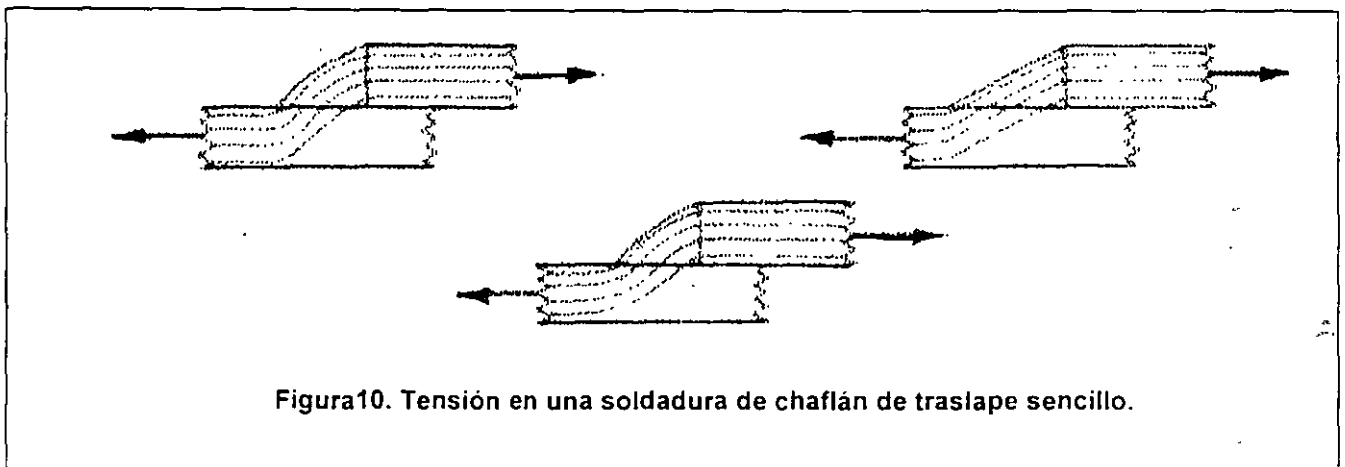


Los tres tipos básicos de muesca, que ocasionan concentraciones de esfuerzo, son:

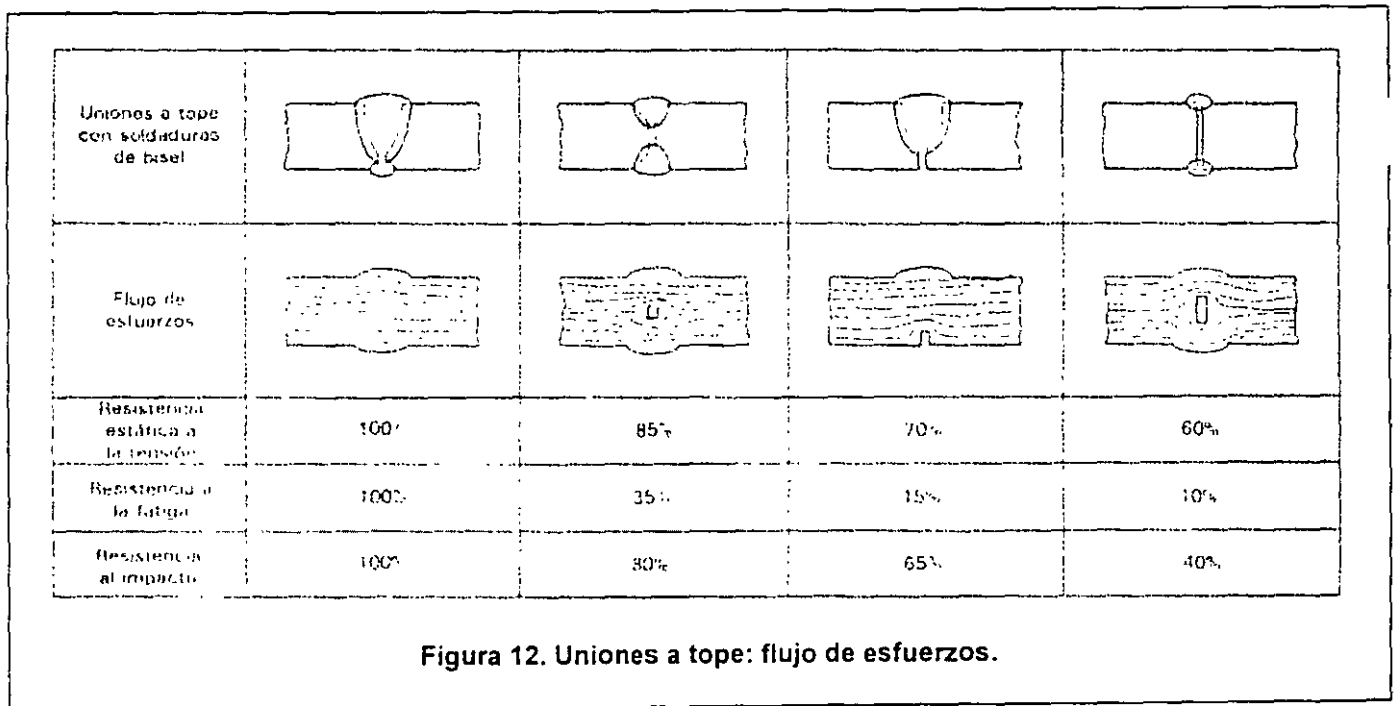
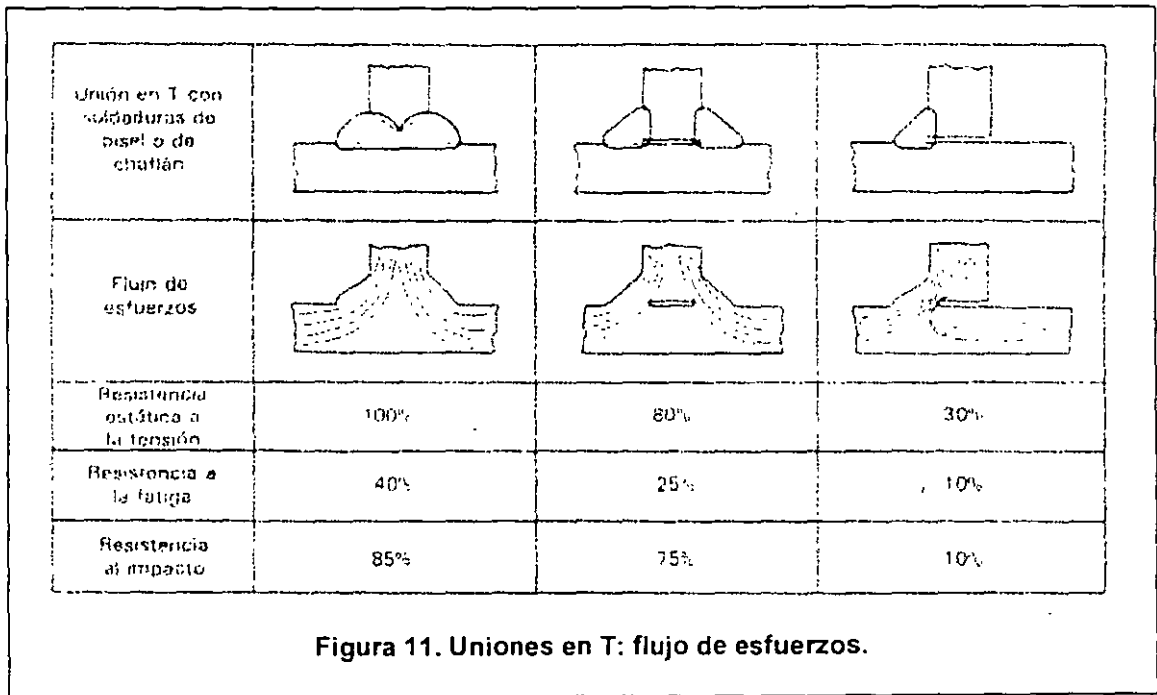
1. Muecas de diseño tanto en construcciones soldadas como en soldaduras.
2. Muecas por mano de obra de construcción, pero, más importante, en soldaduras.

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 la 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.



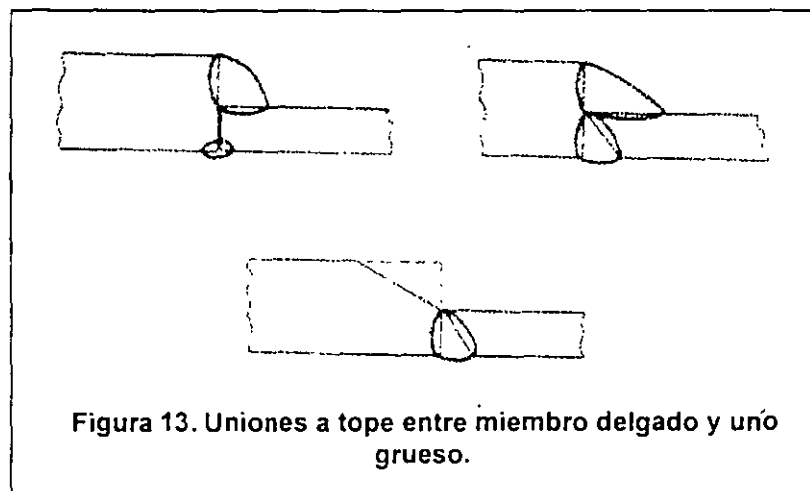
Las muescas también se pueden observar en uniones soldadas cuando los cambios de sección son abruptos. La figura 13 muestra estas uniones a tope entre un miembro grueso y una delgado. Hay varias maneras de proporcionar un flujo uniforme de esfuerzos a través de la soldadura. También hay un modo de provocar 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, 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 creara 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 sí, 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 permiten 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 queda 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.

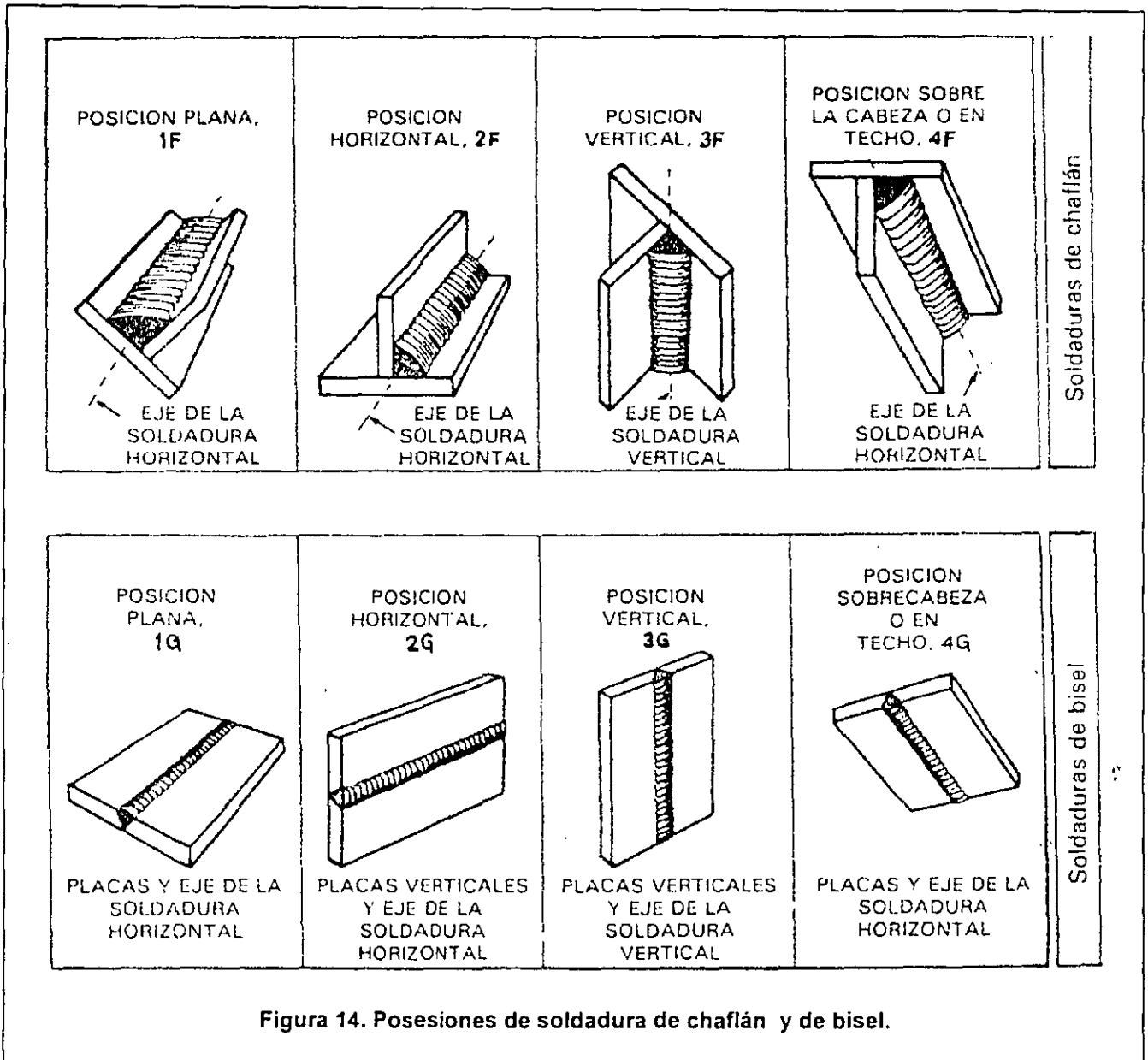
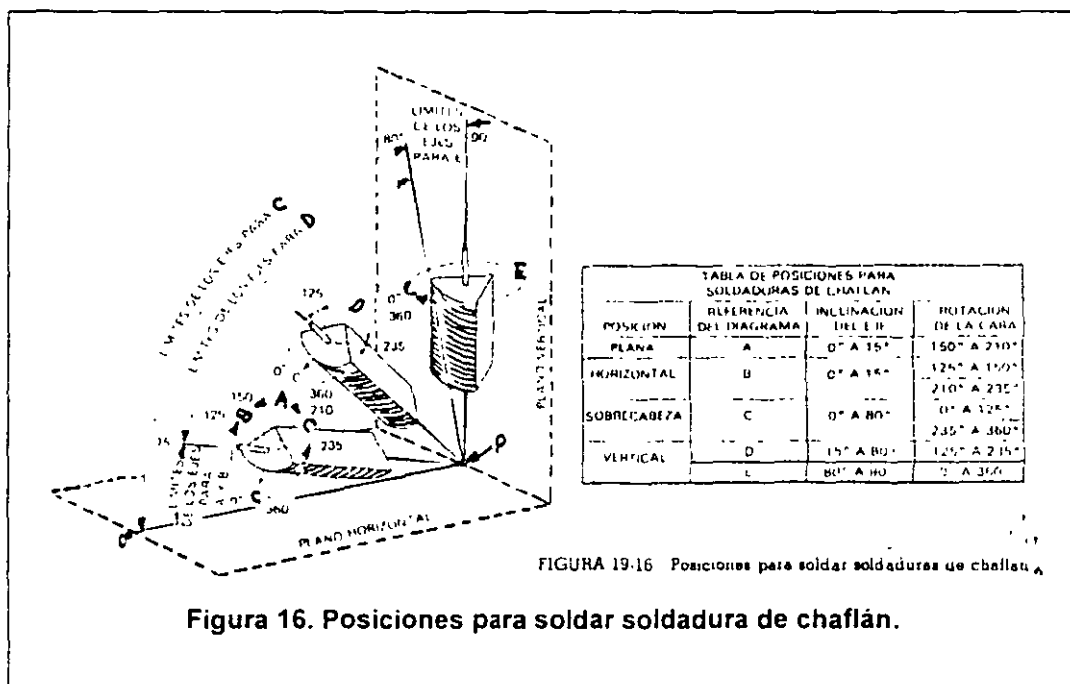
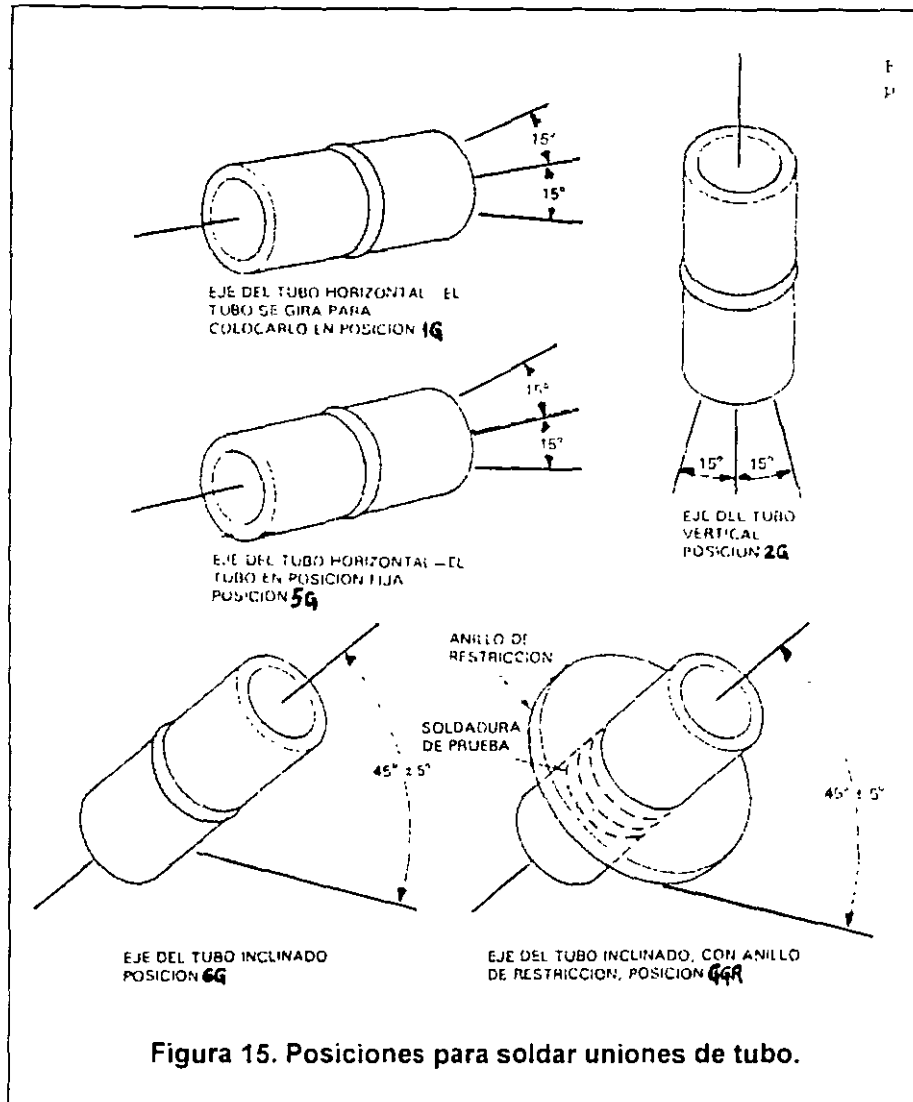


Figura 14. Posesiones de soldadura de chaflán y de bisel.

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° 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.

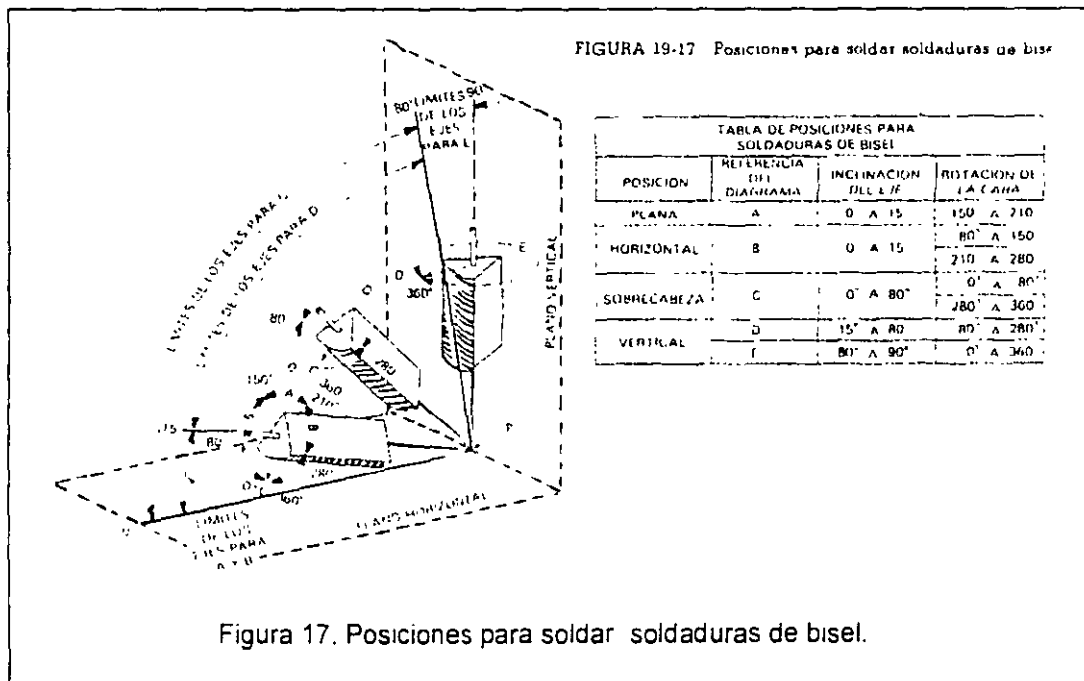


Los diagramas oficiales de la AWS para posiciones para soldar son precisos. Usan el ángulo del eje de la soldadura que es "una línea a través de la longitud de la soldadura perpendicular a la sección transversal, en su centro de gravedad". La figura 16 ilustra la soldadura de chaflán y los límites de 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.

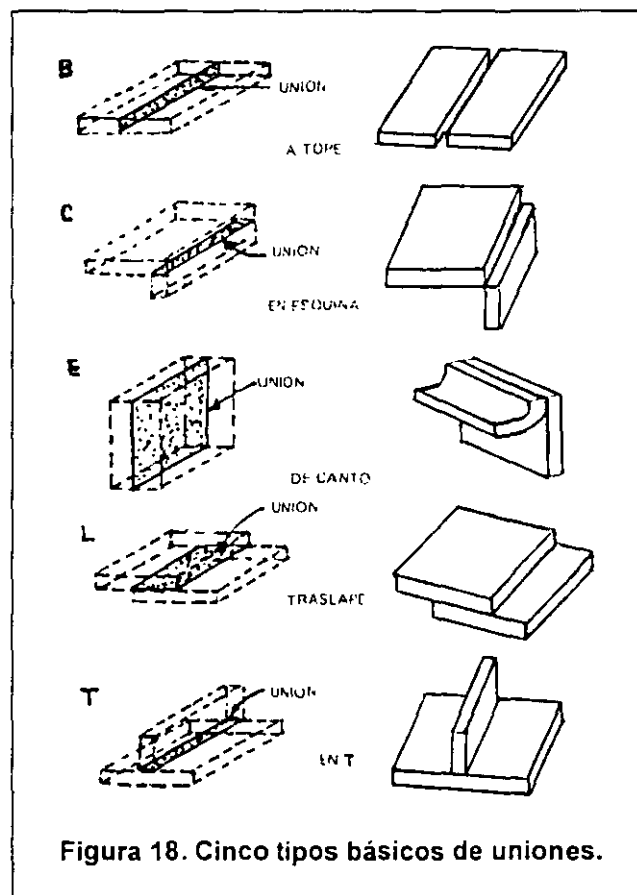


Tipos de uniones

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 rol 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.

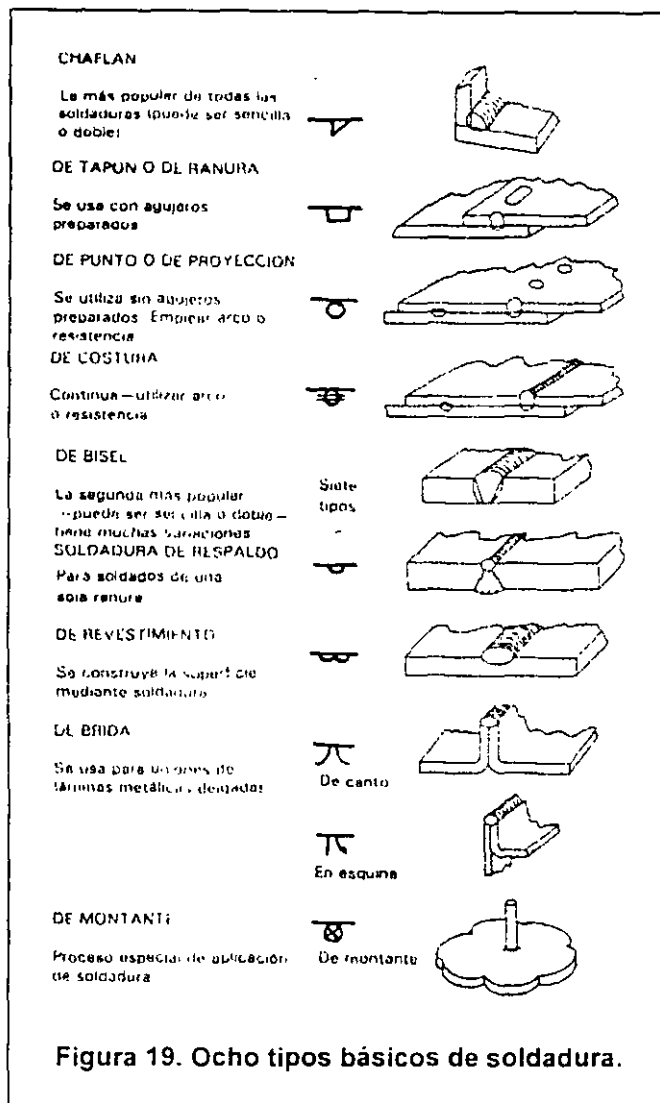


Figura 19. Ocho tipos básicos de soldadura.

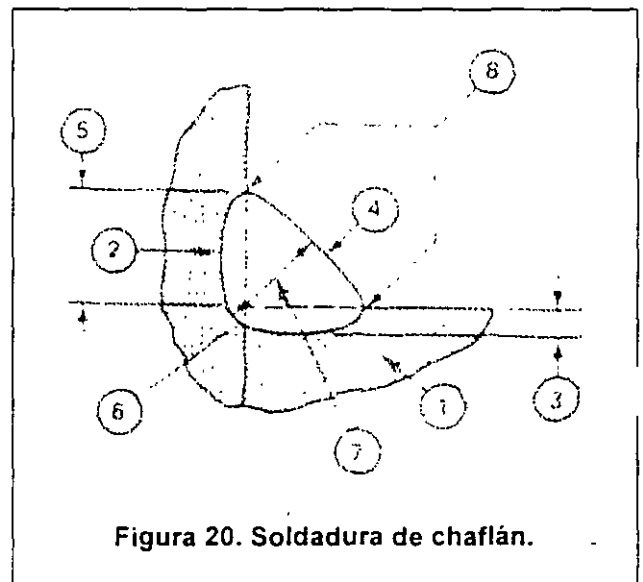


Figura 20. Soldadura de chaflán.

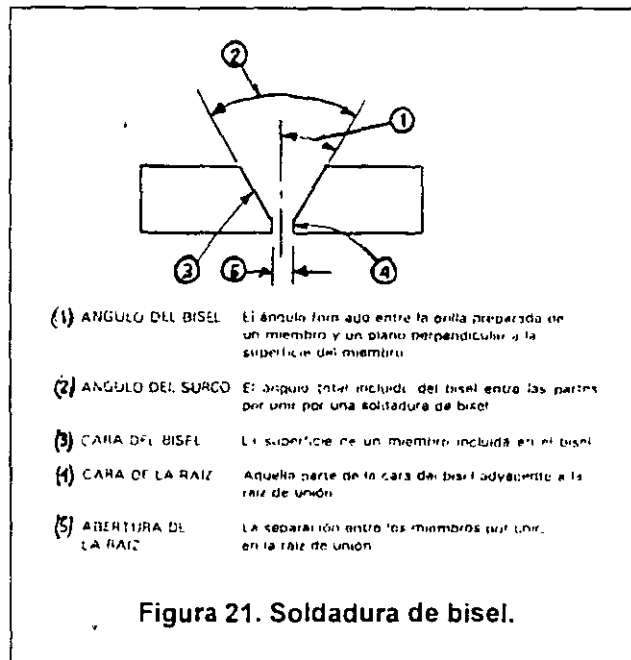
Soldadura de tapón o de Ranura se usa con agujeros o ranuras preparadas. El tapón y la ranura se consideran juntos porque el símbolo que lo especifica es el mismo. La diferencia importante es el tipo de agujero en el miembro preparado que se va a unir. Si el agujero es redondo, se considera como una 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 chaffán 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 espina	E De canto	L Trasl	T En T
Chafón		Especial	Si	Especial	Si	Si
Tapon 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 brida		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 trapezoidal doblado		Si	Si	-	Si	Si
Soldadura de respaldo		Combin	Combin	-	-	Combin
Soldadura en revestimiento		-	-	-	-	-
Soldadura lateral de onda		-	-	Si	-	-
Soldadura en resaca 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^2 . La resistencia de cedencia de un tipo normal E60XX de electrodo es por lo menos de 35.2 kg/mm^2 , 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.

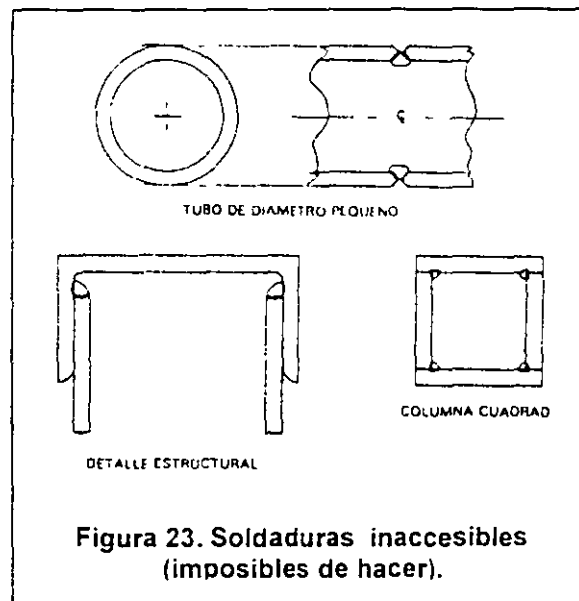
Otro factor económico tiene que ver con la preparación de las orillas, necesaria para producir el diseño particular de la producción soldada. Las uniones soldadas normalmente se preparan por tres métodos: corte, corte con soplete y maquinado. Su costo de preparación quede en este mismo orden. El corte 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 la 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 deba emplearse. 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.

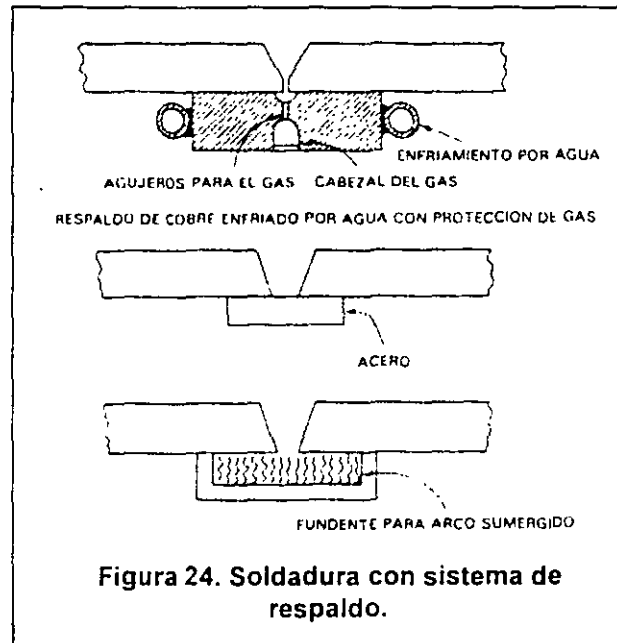
Otro factor relacionado con el problema de la accesibilidad es la soldadura de respaldo, que se puede ejecutar en una unión particular. El término *respaldo unilateral* se ha popularizado mucho porque indica que la soldadura se debe hacer completamente del lado de la unión. Un ejemplo de una soldadura 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.

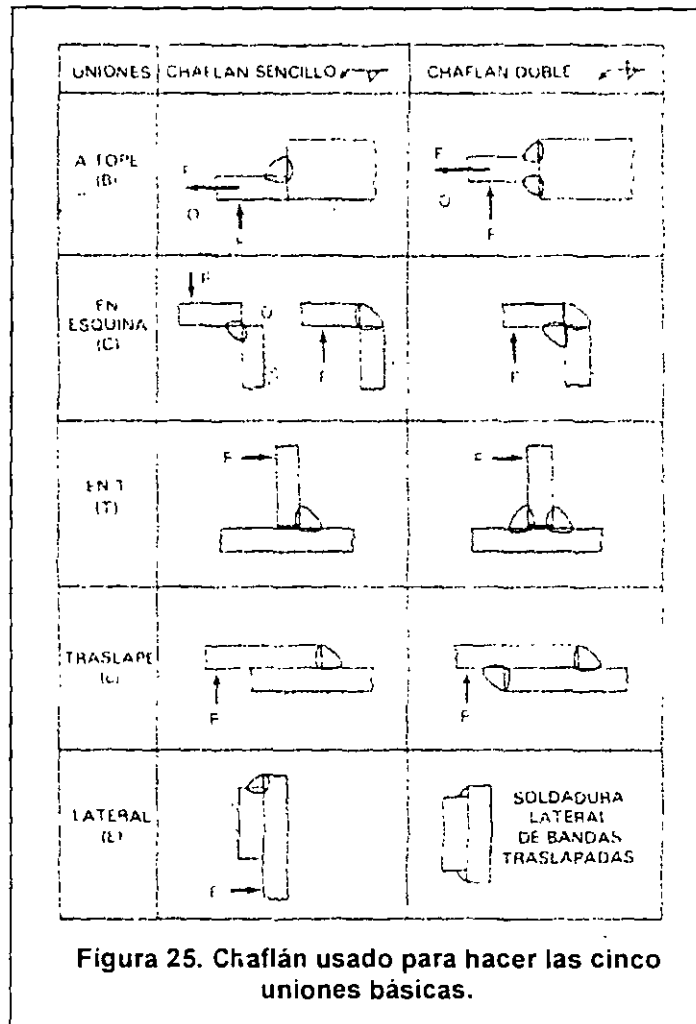


En el mismo tema general está el problema de los esfuerzos por soldaduras y el posible daño que pudiera suceder. Esto es importante al soldar los materiales de alta resistencia, en los cuales se puede presentar fractura frágil. Se debe dar importancia a la laminación del metal base directamente bajo 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

chafilán para efectuar las cinco uniones básicas. Las soldaduras de chafilán también se utilizan junto con las soldaduras de bisel, especialmente para las uniones en esquina o en T.



La soldadura de chafilán debe tener los dos lados iguales y entonces la cara del chafilán tiene un ángulo de 45° . Esto no sucede siempre porque un chafilán puede diseñarse para tener una base más larga que la altura, en cuyo caso se especifica por las dos longitudes de sus lados. En el tipo normal de chafilán de 45° , la resistencia del chafilán 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 chafilán por medio de la longitud de sus lados, mientras que en muchos países europeos se especifican por medio de la dimensión de garganta. Para chafilanes con distintas longitudes de lados se debe calcular la longitud de garganta, que es la distancia más corta entre la raíz del chafilán y la cara teórica del mismo. Al calcular la resistencia de las soldaduras de chafilán 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 chafilán, pero no obtendrá la misma resistencia igual. Esas reducciones se pueden utilizar sólo cuando se sigan procedimientos estrictos de soldadura. La resistencia de la soldadura de chafilán 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.

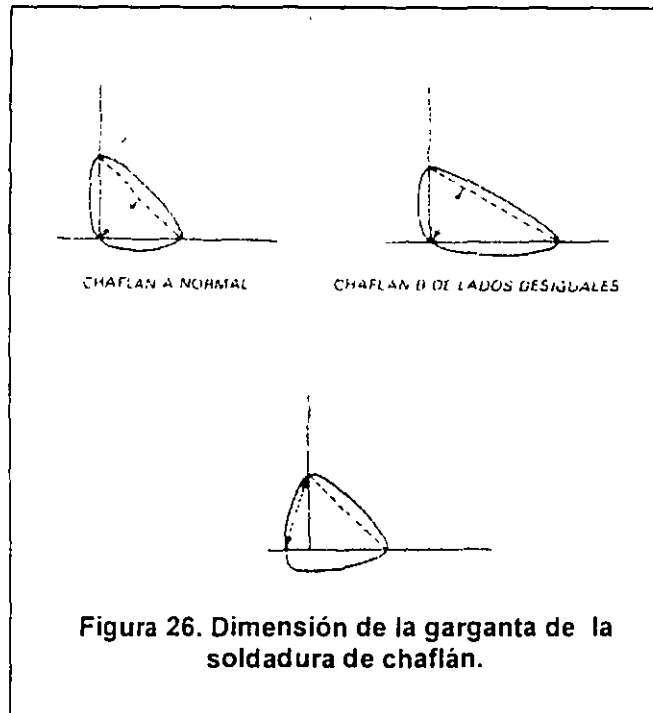
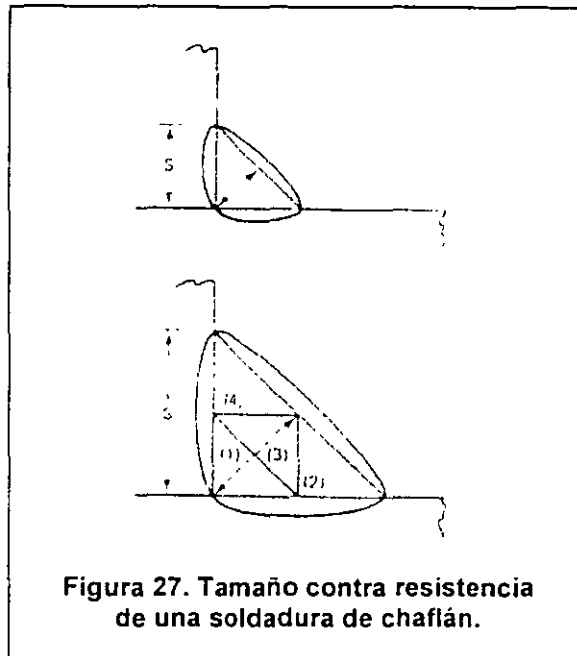


Figura 26. Dimensión de la garganta de la soldadura de chaflán.

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 preparar adicional del detalle de la unión. El bisel cuadrado es el más sencillo porque sólo necesita 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 electroslag 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 doblado 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.

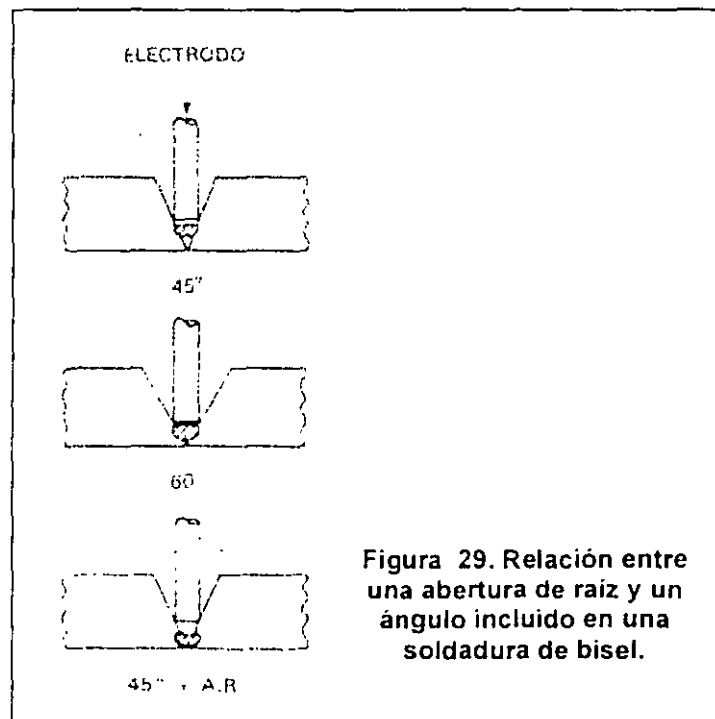
TIPOS DE SOLDADURAS DE BISEL	SOLDADURAS DE BISEL			
	SENCILLA	SIMBOLO	DOBLE	SIMBOLO
RECTA				
EN V				
BISELADA				
U				
J				
EN V DOBLADA				
EN BISEL DOBLADO				

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 de superficies en la orilla se requieren dos pasadas del soplete de corte a menos que se 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.



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.

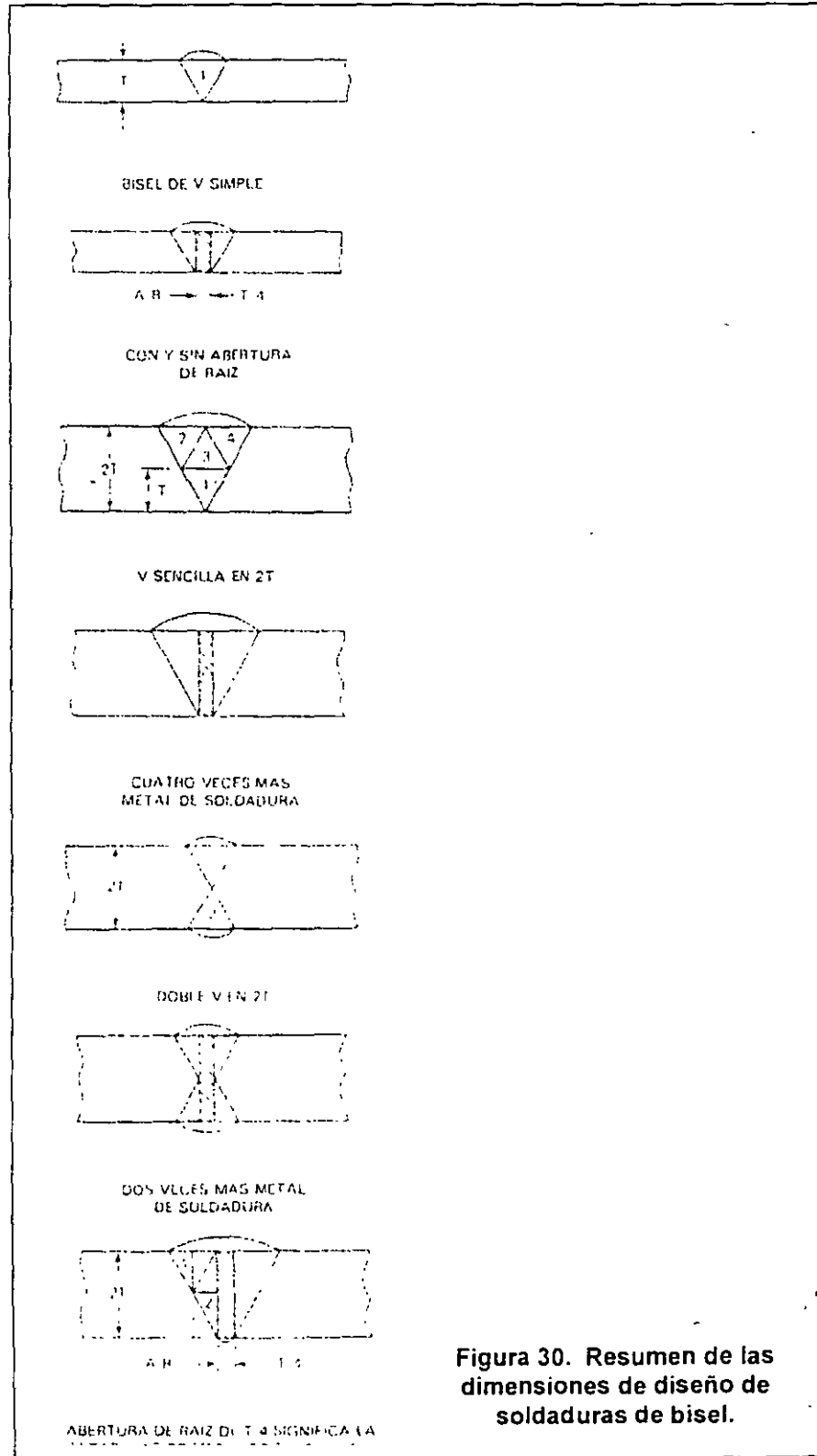


Figura 30. Resumen de las dimensiones de diseño de soldaduras de bisel.

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 concentración 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 cierre el circuito. La resistencia del metal al paso de la corriente genera calor suficiente para fundirlo.

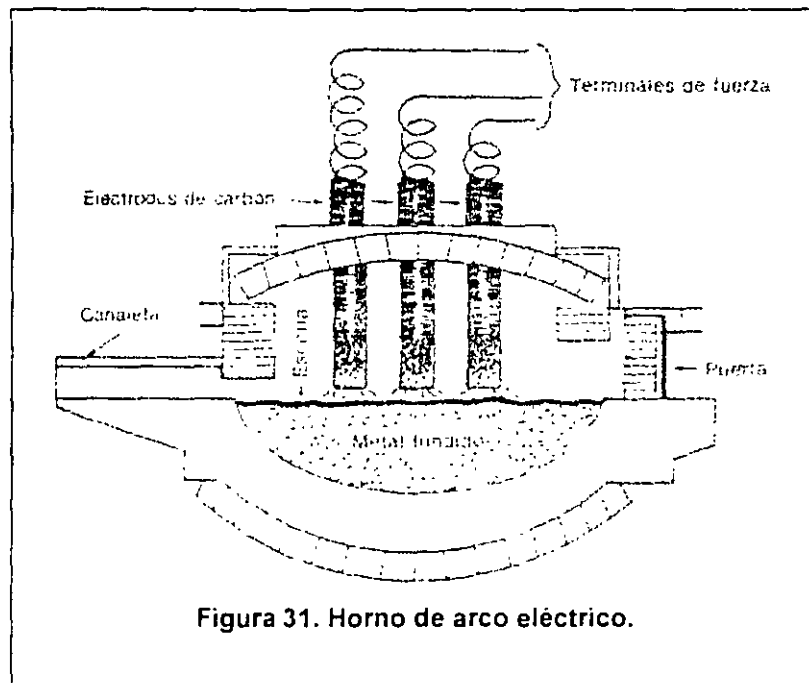


Figura 31. Horno de arco eléctrico.

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, desperdiándose en formas de calor en el cable.

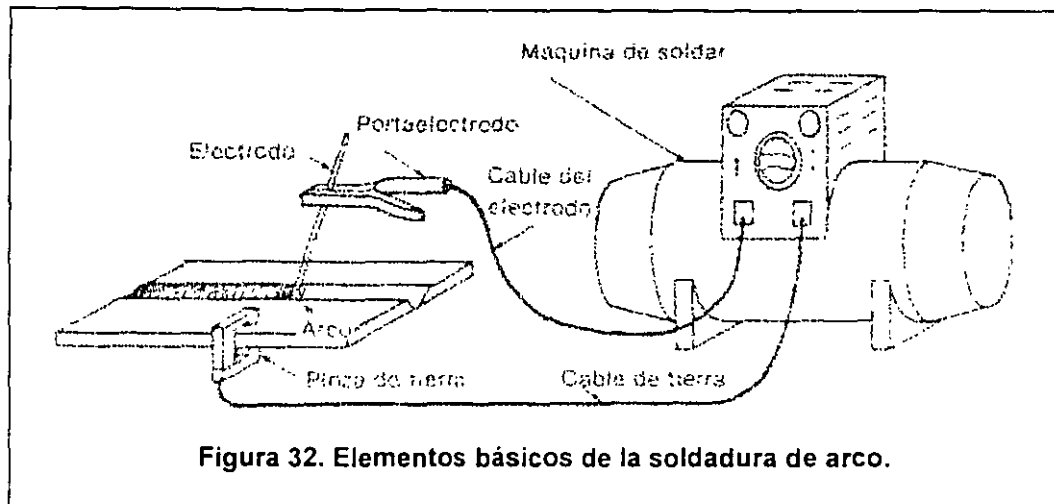


Figura 32. Elementos básicos de la soldadura de arco.

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 (-).

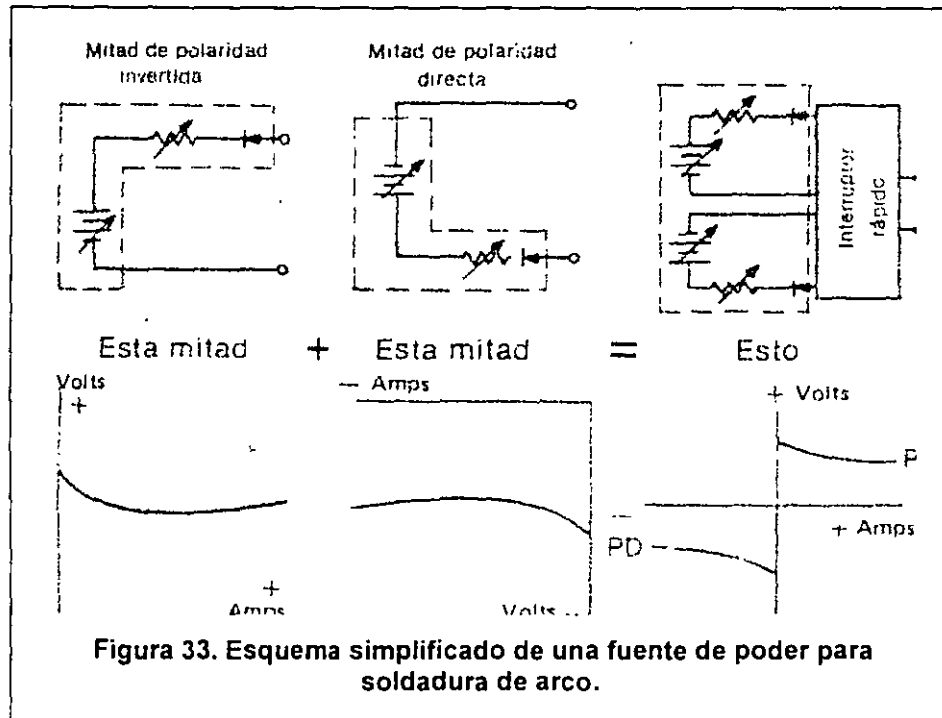
En algunas máquinas de soldar, la polaridad puede cambiarse por medio de un interruptor selector de polaridad instalado para tal objeto. En otras máquinas, el soldador tiene que desconectar ambos cables, el del electrodo y el de tierra, y reconectarlos a las terminales opuestas (el cable de tierra donde 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, manteniendo 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.

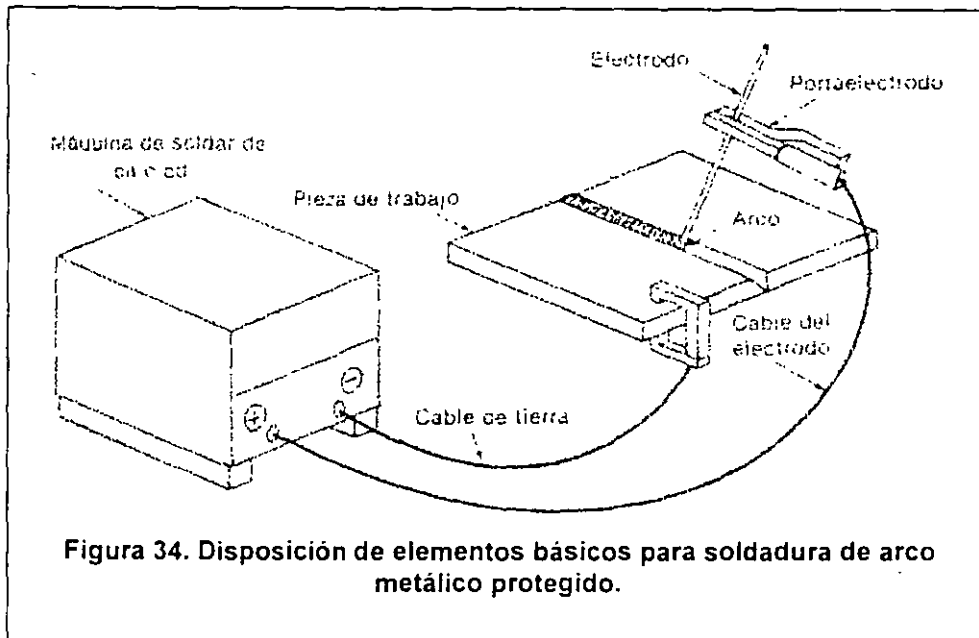


Figura 34. Disposición de elementos básicos para soldadura de arco metálico protegido.

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 INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERIA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO IV

CURSO

INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

TEMA

INSPECCIÓN DE CALDERAS Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN

**EXPOSITOR:
ING. JORGE IZAGUIRRE MONTIEL
PALACIO DE MINERIA
NOVIEMBRE DEL 2001**

**CONSTITUCIÓN
POLITICA DE LOS
ESTADOS UNIDOS
MEXICANOS**

LEY FEDERAL DEL
TRABAJO
LEY FEDERAL DEL
TRABAJO

REGLAMENTO FEDERAL DE SEGURIDAD, HIGIENE Y MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO

REGLAMENTO FEDERAL DE SEGURIDAD, HIGIENE Y MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO

Toda **persona tiene derecho al trabajo digno y socialmente útil**; al efecto, se promoverán la creación de empleos y la organización social para el trabajo, conforme a la ley.

El trabajo es un derecho y un deber sociales. No es artículo de comercio, exige respeto para las libertades y dignidad de quien lo presta y **debe efectuarse en condiciones que aseguren la vida, la salud** y un nivel económico decoroso para el trabajador y su familia.

El trabajo es un derecho y un deber sociales. No es artículo de comercio, exige respeto para las libertades y dignidad de quien lo presta y **debe efectuarse en condiciones que aseguren la vida, la salud** y un nivel económico decoroso para el trabajador y su familia.

Las empresas, cualquiera que sea su actividad, estarán obligadas a **proporcionar a sus trabajadores, capacitación o adiestramiento para el trabajo**, La ley reglamentaria determinará los sistemas, métodos y procedimientos conforme a los cuales los patrones deberán cumplir con dicha obligación;

Contar con el personal capacitado **para la operación y mantenimiento de los equipos**.

Difundir el manual entre los trabajadores encargados de la operación, mantenimiento y seguridad.

Los empresarios serán **responsables de los accidentes del trabajo y de las enfermedades profesionales de los trabajadores**, sufridas con motivo o en ejercicio de la profesión o trabajo que ejecuten; por lo tanto, los patronos deberán pagar la indemnización correspondiente, según que haya traído como consecuencia la muerte o simplemente incapacidad temporal o permanente para trabajar, de acuerdo con lo que las leyes determinen.

El patrón estará obligado a **observar**, de acuerdo con la naturaleza de su negociación, **los preceptos legales sobre higiene y seguridad** en las instalaciones de su establecimiento y adoptar las medidas adecuadas para prevenir accidentes en el uso de las maquinas, instrumentos y materiales de trabajo, así como a **organizar de tal manera éste**, que resulte la mayor garantía para la salud y la vida de los trabajadores y del producto de la concepción, cuando se trate de mujeres embarazadas. Las leyes contendrán, al efecto, las sanciones procedentes en cada caso;

ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

- AUTORIDAD Y RESPONSABILIDAD DEL PERSONAL
- FUNCIONES
- OBLIGACIONES
(OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SUPERVISIÓN)

OBLIGACIONES DE LOS PATRONES:

Cumplir con las disposiciones de las normas de trabajo aplicables a sus empresas o Establecimientos.

Fijar visiblemente y difundir en los lugares donde se preste el trabajo, las disposiciones conducentes de los reglamentos e instructivos de seguridad e higiene

Tener autorizados por la Secretaría los equipos y conservar su vigencia de autorización de funcionamiento durante la vida útil de los equipos.

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.

Instalar, de acuerdo con los principios de seguridad e higiene, las fábricas, talleres, oficinas y demás lugares en que deban ejecutarse las labores, para prevenir riesgos de trabajo y perjuicios al trabajador, así como adoptar las medidas necesarias para evitar que los contaminantes excedan los máximos permitidos en los reglamentos e instructivos que expidan las autoridades competentes. Para estos efectos, deben modificar, en su caso, las instalaciones en los términos que señalen las propias autoridades.

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 NOM-028 y 114-STPS.

Los equipos deben ser **instalados en lugares en donde los riesgos sean mínimos**, considerando los procesos, las condiciones de operación e instalación, los fluidos utilizados y las atmósferas circundantes al equipo, resguardados de impactos por maquinaria o equipo móvil, de acuerdo con los estándares industriales y las Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social NOM-005, 008 y NOM-009-STPS. En las subestaciones eléctricas las condiciones de seguridad e higiene se sujetarán a la NOM-001-SEMIP-1994.

Permitir la inspección y vigilancia que las autoridades del trabajo practiquen en su establecimiento para cerciorarse del cumplimiento de las normas de trabajo y darles los informes que ese efecto sean indispensables, cuando la soliciten, los patrones podran exigir a los inspectores o comisionados que les muestre sus credenciales y les den a conocer las instrucciones que tengan;

Inspección extraordinaria: La efectúa la Dirección o la Delegación de oficio, a solicitud del patrón o usuario, o de la comisión de seguridad e higiene del centro de trabajo.

Inspección inicial:Primera verificación por la Dirección o la Delegación o la Unidad de Verificación, a los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas, **para conocer de manera integral la seguridad de los aparatos de acuerdo a su diseño, elementos estructurales, accesorios, controles, equipo auxiliar e instalación, realizando las pruebas de operación correspondientes.**

Inspección periódica:La realiza la Dirección o la Delegación, a un recipiente sujeto a presión, generador de vapor o caldera **para constatar el estado de conservación de los equipos y comprobar el cumplimiento de la Norma, después de la inspección inicial.**

OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES:

Cumplir con las disposiciones de las normas de trabajo que les sean aplicables:

Comunicar al patrón o a su representante las deficiencias que adviertan, a fin de evitar daños o perjuicios a los interesados y vidas de sus compañeros de trabajo o de los patrones:

Participar en los cursos de capacitación y adiestramiento **para el manejo de los equipos.**

Realizar las anotaciones correspondientes, consignando y reportando **las condiciones de operación de los equipos, así como cualquier alteración que pueda causar algún accidente o desperfecto.**

Operar los equipos **de conformidad con lo establecido en los manuales de procedimientos de seguridad** proporcionados por el patrón.

Materiales y sustancias químicas peligrosas: Son aquellos que por sus propiedades físicas y químicas al ser manejados, transportados, almacenados o procesados, **presentan la posibilidad de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radiactividad, corrosividad o acción biológica dañina**, y pueden afectar la salud de las personas expuestas a causar daños materiales a instalaciones y equipos;

Seguridad e higiene en el trabajo: Son los **procedimientos, técnicas y elementos que se aplican en los centros de trabajo**, para el reconocimiento, evaluación y control de los agentes nocivos que intervienen en los procesos y actividades de trabajo, con el objeto de establecer medidas y acciones **para la prevención de accidentes o enfermedades de trabajo**, a fin de conservar la vida, salud e integridad física de los trabajadores, así como evitar cualquier posible deterioro al propio centro de trabajo;

Cuando las Normas expedidas por la Secretaría establezca el uso de equipos, procesos o tecnologías específicos, el patrón o sus representantes podrán **solicitar por escrito a ésta, autorización para utilizar equipos, tecnologías, y procedimientos o mecanismos alternativos**, mediante los cuales se de cumplimiento a los objetivos y finalidades correspondientes, acompañando las justificaciones respectivas.

PRUEBAS ALTERNAS:

- *RADIOGRAFIADO
- *ULTRASONIDO
- *PARTÍCULAS MAGNÉTICAS
- *LÍQUIDOS PENETRANTES

El cumplimiento de las Normas en los centros de trabajo **se podrá comprobar a través de los dictámenes que sean expedidos por las unidades de verificación, laboratorios de prueba y organismos de certificación acreditados** en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Lo anterior, sin perjuicio de las atribuciones de la Secretaría para realizar visitas de inspección conforme a la Ley y a las disposiciones reglamentarias.

En los centros de trabajo los niveles máximos permisibles de contaminantes, no deberán exceder los límites establecidos por las Normas correspondientes.

En los centros de trabajo en donde se realicen actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas, **los patrones elaborarán los programas para la prevención de accidentes** en la realización de tales actividades que puedan causar graves desequilibrios ecológicos, en términos del artículo 147 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

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.**

CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE

Las estructuras que soporten a los equipos, deben ser construidas para resistir los esfuerzos transmitidos a ellas por cargas o expansiones de los equipos. Cuando estén

expuestas a fuente de calor o corrosión, deben construirse y protegerse.

La presión de operación de los equipos, no debe exceder a la presión de calibración señalada en la autorización.

Los equipos deben instalarse libres de impactos y vibraciones, con iluminación y ventilación permanente, conforme a las NOM-015, 024 y 025-STPS.

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN LOS EQUIPOS.

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.

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.**

La presión de la calibración de las válvulas de seguridad utilizadas, **en ningún caso debe rebasar la presión de trabajo máxima permisible.**

Los accesos a los dispositivos de seguridad y equipos auxiliares deben **mantenerse libres en todo momento.**

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.

Los generadores de vapor o calderas deben ser **instalados en locales o áreas destinadas específicamente para ellos.**

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO.

El desarrollo de la memoria de cálculo debe efectuarse **de acuerdo al código utilizado en el diseño del equipo** y, a falta de éste, adoptando una metodología técnica que permita conocer y justificar las presiones de operación del equipo.

ALTERACIÓN: Cualquier **cambio de las partes que conforman** al recipiente sujeto a presión, generador de vapor o caldera, **que modifique su capacidad de diseño para soportar la presión a la temperatura de operación** y que **requiera pruebas mecánicas** adicionales.

DEFORMACIÓN PERMANENTE: **Cambio de dimensiones o forma** de un recipiente sujeto a presión, generador de vapor o caldera, con respecto a las originales de fabricación, **como consecuencia de haber sido rebasado el límite elástico del material.**

MODIFICACIÓN: Cualquier **cambio que afecte la instalación, reparación o ubicación del equipo.**

REPARACIÓN: Conjunto de **trabajos necesarios para restaurar** los recipientes sujetos a presión, generadores de vapor o calderas **a especificaciones técnicas originales bajo condiciones de seguridad.**