



**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.

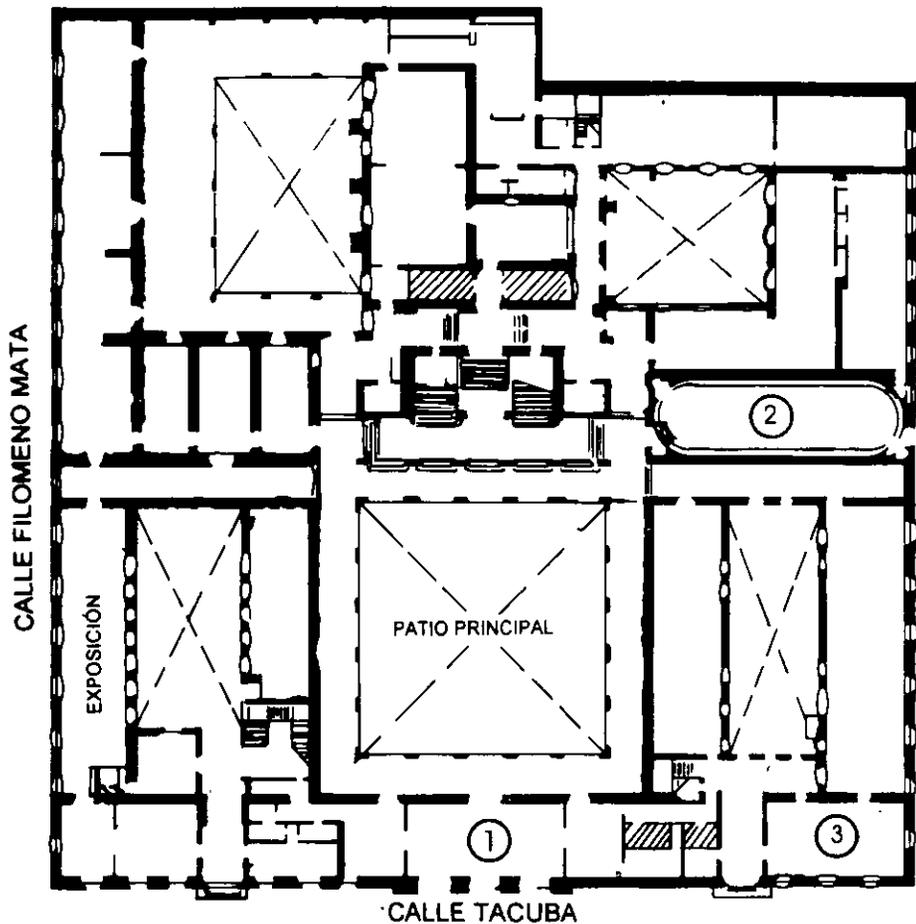
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

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.

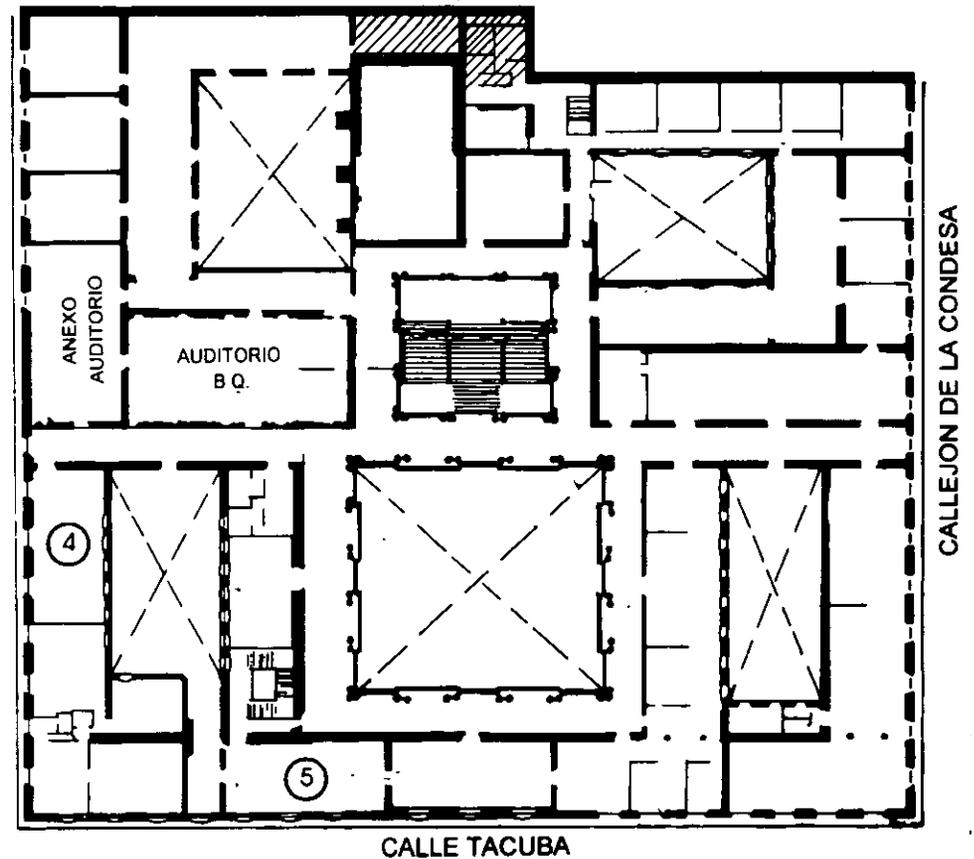
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

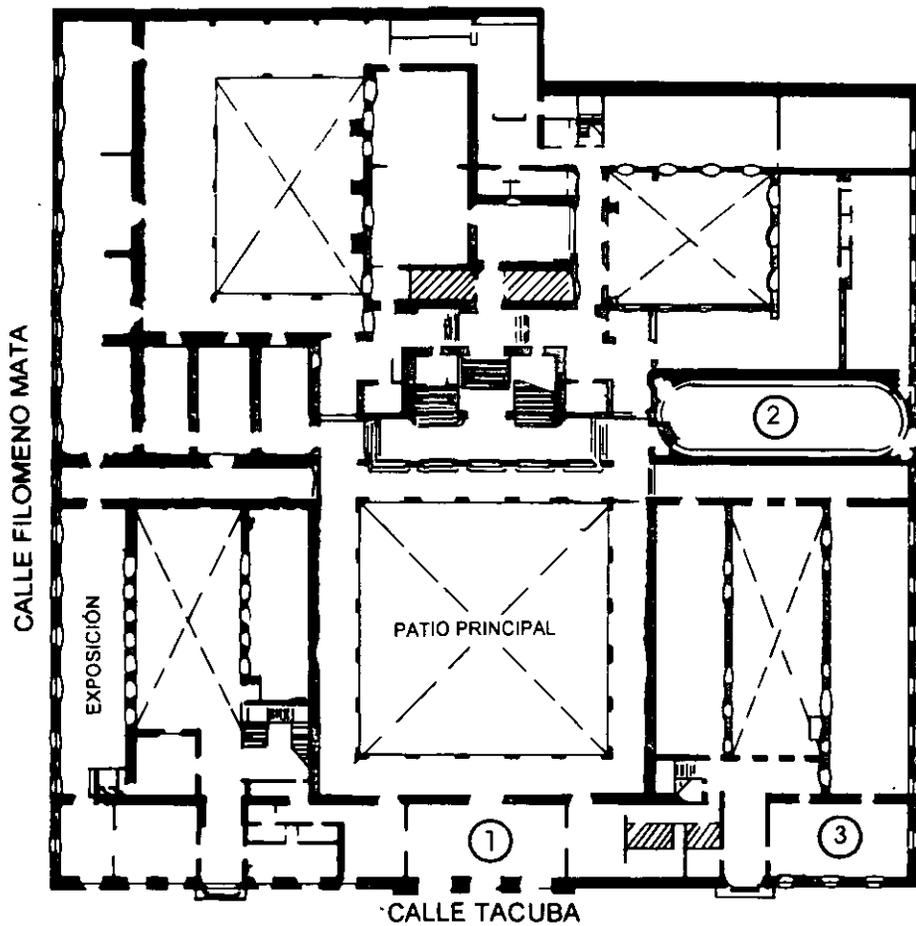


PLANTA BAJA

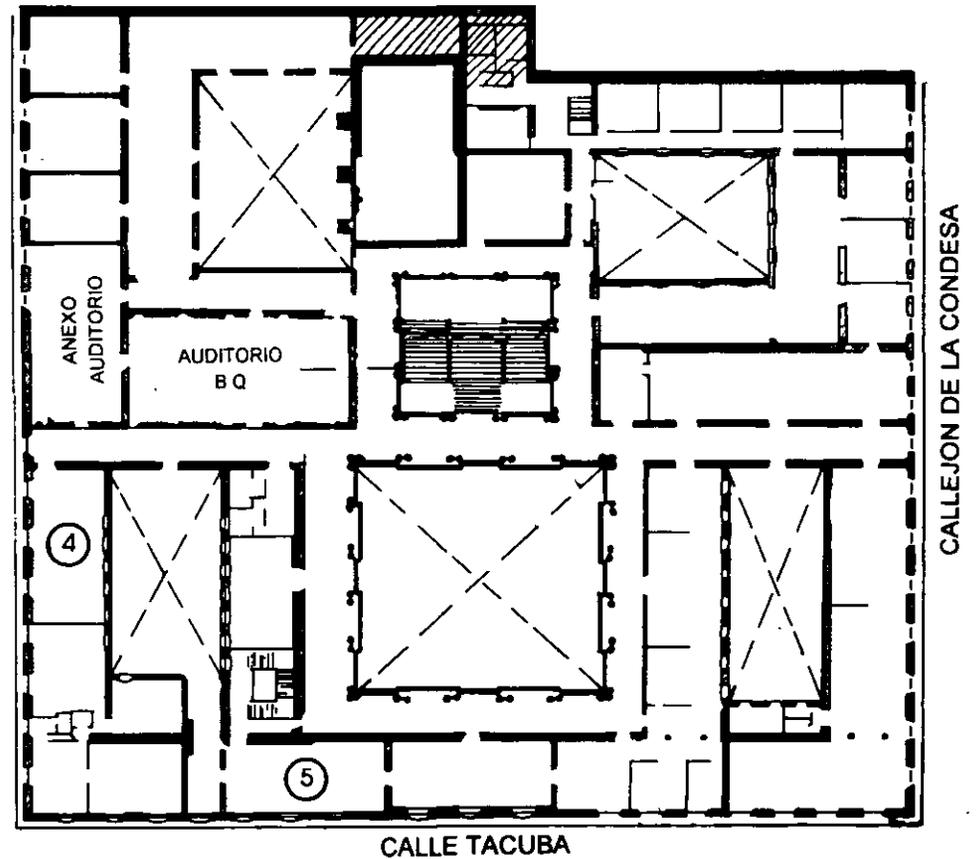


MEZZANINNE

PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



MEZZANINNE



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

CURSOS ABIERTOS

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

**MÓDULO IV: INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y
RECIPIENTES A PRESIÓN**

TEMA:

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

**ING. ALFREDO SÁNCHEZ FLORES
PALACIO DE MINERÍA
FEBRERO -MARZO 2000**

**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:

- 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

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.

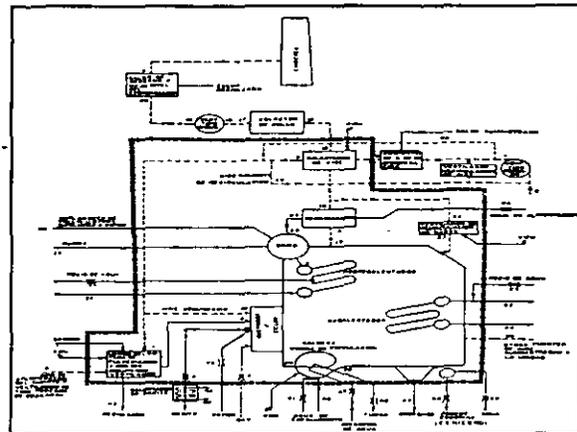
Sección 2 :

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 al 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 arbitro 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 :

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

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 reciprocantes.

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 entalpia, 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 :

$$\eta = 100 - \left[\frac{\text{Pérdidas de calor} \times 100}{\text{Calor del combustible} + \text{Calores suministrados}} \right] (\%) (3)$$

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.

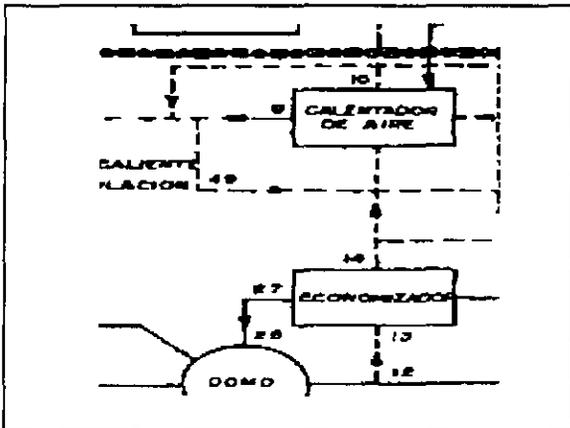
A continuación se explican los procedimientos que se siguen para obtener algunos de los datos anteriores :

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 hollin
- 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)

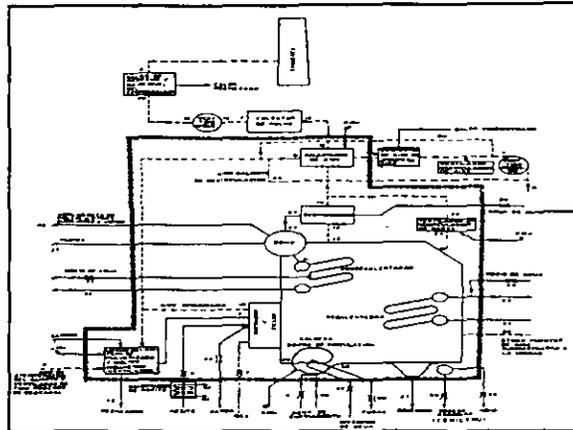
Suministros: Es el poder calorífico en el combustible, más calores suministrados al fluido de trabajo (figuras 1 y 2).

El cálculo correspondiente se realiza por la siguiente expresión:

$$\eta^0 = \frac{[W_{se21} (h_{s2} - h_{w24}) + W_{we25} (h_{s2} - h_{w25}) + W_{se33} (h_{s3} - h_{s31}) + W_{we28} (h_{s3} - h_{w28}) + W_{we33} (h_{w3} - h_{w24})]}{(H_f \times W_{fe}) + B_e} \times 100 \quad (4)$$

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

$$\frac{W_{we48} (h_{we48} - h_{we47}) + (W_{we47} - W_{we48}) \times (h_{w24} - h_{we47})}{(Hf \times Wf) + Bc} \quad (5)$$



$$Hr = Hf \left(\frac{100 - mf}{100} \right) \quad (6)$$

donde :

Hf : 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 :

$$Hfp = Hfv + \frac{\Delta \Psi \cdot Ru}{778.2} \cdot T \cdot Hfv + \Delta \Psi \frac{1545 \times 537}{778.2} \quad (7)$$

$$Hr = Hfv + \Delta \Psi \frac{1068}{4.032} \cdot H = Hfv + 264.4 \cdot H \quad (8)$$

donde :

Hfp : Poder calorífico superior del combustible a presión constante [Btu/lb]

Hfv : 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]

Ru : 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

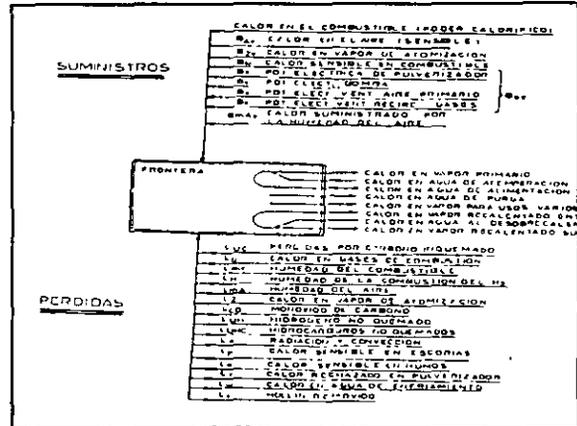
Si se emplean combustibles sólidos o líquidos, el peso es determinado por medición directa. Pero cuando se emplean combustibles gaseosos, se debe convertir el volumen medido a peso, para lo que se emplea la siguiente expresión.

$$Wfe = Qfe \times yf \quad (10)$$

Qfe: Consumo de combustible gaseosos quemado.
yf: 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

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



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.

$$BAe = (WA' \cdot WA'5) \cdot Wfe \cdot CpA' \cdot [T_{a2} - T_{a1}] +$$

$$+ WA'5 \cdot Wfe \cdot CpA' \cdot [T_{a2} - T_{a1}] \quad (12)$$

Donde:

WA': Flujo de aire seco por lb de combustible quemado (relación aire-combustible). [lb/lb c]

WA'5: Flujo de aire de atemperación para el pulverizador. [lb/lb c]

CpA': 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]

$$W_A = \frac{(W_C \cdot N_2 - N)}{0.7685} \quad (13)$$

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]

$$W_C \cdot N_2 = \frac{W_C \cdot 28.02 \cdot N_2}{44.01 \text{ CO}_2 + 32.00 \text{ O}_2 + 28.02 \text{ N}_2 + 28.01 \text{ CO}} \quad (14)$$

$$W_C = \frac{44.01 \text{ CO}_2 + 32.00 \text{ O}_2 + 28.02 \text{ N}_2 + 28.01 \text{ CO}}{12.1 (\text{CO}_2 + \text{CO})} \times \frac{32.07 \text{ Cb} + 12.01 \text{ S}}{32.07} \quad (15)$$

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

$$Bte = Wm \times Cpf (t f 3 - t RA) \quad (19)$$

Donde:

Cpf : 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 f 3 : Temperatura de entrada del combustible (figura 1)

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

$$Bse = Wse (hax - hix) \eta x \quad (20)$$

donde

Wse : Consumo de vapor de auxiliares [lb/hr]
 hax : Entalpia del vapor suministrado para operar los auxiliares [Btu/lb]

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

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

Cuando se trata de auxiliares que emplean energía eléctrica

$$Bse = 3413 \times (kWh) \eta x \quad (21)$$

donde

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

715 : Calor suministrado por el calor sensible de la humedad del aire.

$$BmAe = WmA' WA'e Cps (tA7, A8 - tRA) \quad (22)$$

$$WA'e = WA' \times Wfe \quad (23)$$

donde

WmA' : Contenido de humedad por lb de aire seco [lb/lb]

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

Cps : 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 :

$$\eta g = 100 \cdot \left[\frac{\text{Salida}}{\text{HI} + B} \times 100 \right] \quad (24)$$

bien

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

Para este método se deben considerar las siguientes pérdidas

$$L = Luc + Lc + Lmf + LH + LMA + Lz + Lco + LuH + LuNo + Lp + Lp + Ld + Lr + Lw \quad (25)$$

L : Pérdidas totales [Btu/lb]

Luc : Pérdidas debidas al carbono no quemado en los residuos totales secos [Btu/lb]

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

Lmf : Pérdidas debidas a la humedad del combustible quemado [Btu/lb]

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

LMA : 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_{UH}	Perdidas por hidrogeno no quemado	[Btu/lb]
L_{UHC}	Perdidas por hidrocarburos no quemados	[Btu/lb]
L_R	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_f	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	
$L_{UC} = W_d p \times H_d p$	(26)
$W_d p = \frac{W_d p e}{W_w}$	(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	
$L_{UC} = a + b + c + d + e$	(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 c]
e	

7.2.2 Pérdidas debidas a los gases secos de combustión	
$L_c' = W_c' \times C_{pc}' (t_c - 1 RA)$	(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 liquido saturado a la temperatura de referencia [Btu/lb]
$P_{mc} = \frac{P_A}{1 + \left[\frac{100 \times 1.8 C_b}{m_c (CO_2 + CO)} \right]}$	(31)
donde	
P_{mc}	Presión parcial de la humedad en los gases de combustión [lb/pg2]
P_A	Presión atmosférica

Para usos practicos P_{mc} es aproximadamente 1 psia para la presión parcial existente a la salida del Generador de Vapor. Para cálculos mas 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 Perdidas 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 Perdidas por la humedad en el aire	
$L_{MA} = W_{MA} \times W_A (h_{12,14,15} - h_{RV})$	(34)
7.2.6 Perdidas debidas a la atomización con vapor	
$L_z = \frac{W_{ZE}}{W_w} (h_{12,14,15} - h_{RV})$	(35)
donde	
W_{ZE}	Lb de vapor de atomización [lb/hr]
7.2.7 Perdidas por la formación de monóxido de carbono	
$L_{CO} = \frac{CO}{CO_2 + CO} \times 10160 \times C_b$	(36)

donde

10 180 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 (14 840 Btu) y el carbono quemado como se encuentra en el combustible para formar CO (4380 Btu) es decir 14 840-4380 = 10 180 Btu

7.2.8 Pérdidas por hidrógeno no quemado

$$L_{uH} = \frac{H_2 \text{ (pies)} \times W_C \times 318.9}{\text{peso específico de gases secos}} \quad (38)$$

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

$$0.0401 \left[\frac{HC}{35.11} + \frac{O_2}{48.28} + \frac{CO}{55.16} + \frac{N_2}{55.14} + \frac{SO_2}{42.12} + \frac{H_2}{768.36} \right] \quad (38)$$

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

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

donde

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

$\left[\frac{UHC \text{ (pies)}}{\text{pesos}} \right]$ Relación de hidrocarburos no quemados gases secos (pies) 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 B 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.

77.2.11 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

$$L_p = H_{pw} + H_{epw} + SH \quad (40)$$

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]

SH : 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]

$$H_{epw} = \left[\frac{W_{w38} + [W_{fe} \times P/100 \times Sww/SWR]}{W_{fe}} \right] \times [hw_{12,14,15} - hw_{39}] \quad (42)$$

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

SwR : Peso específico de residuos

hw₃₉ : Entalpía del agua descargada

$$SHL = \frac{C_{pp} W_{pe}}{W_{fe}} (tw_{39} - t_{RA}) \quad (43)$$

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/lb F]

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.

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

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
- b) Capacidad máxima de carga
- c) Temperatura del vapor
- d) Temperatura de gases de combustión
- e) Presión estática de gases y aire
- f) Pérdidas de tiro
- g) Pérdidas de presión
- h) Contenido de sólidos en el vapor

SECCIÓN 9

APÉNDICE

En esta sección se presentan algunas ecuaciones complementarias para determinar: peso de aire seco, exceso de aire y peso específico de gases de combustión.

Las ecuaciones que se mencionan de este capítulo, son complementarias a las citadas en las secciones precedentes. A continuación se muestran las ecuaciones que no se incluyeron anteriormente.

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

$$WA = \frac{28.02 (N_2) \times (C_b + \frac{12.01}{32.07} S)}{12.01 (CO_2 + CO)} \quad (49)$$

0.7685

Exceso de aire

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

$$A^0 = 11.51 C + 34.30 \left[\frac{H - O}{8} \right] + 4.335 S \quad (50)$$

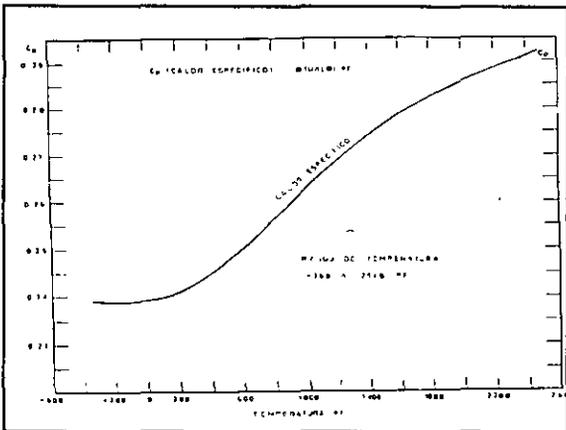
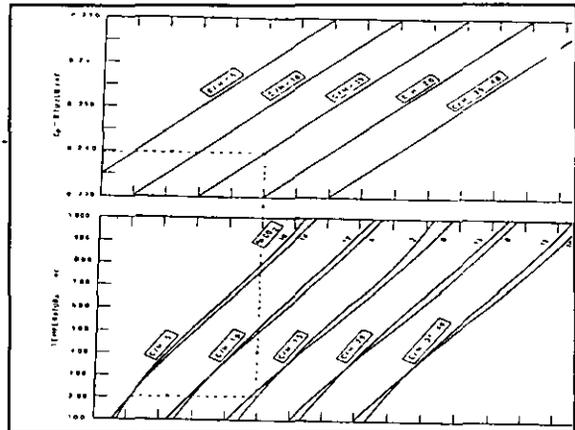
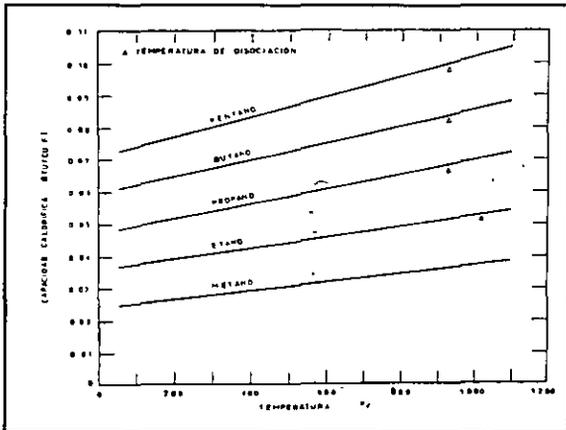
7.937

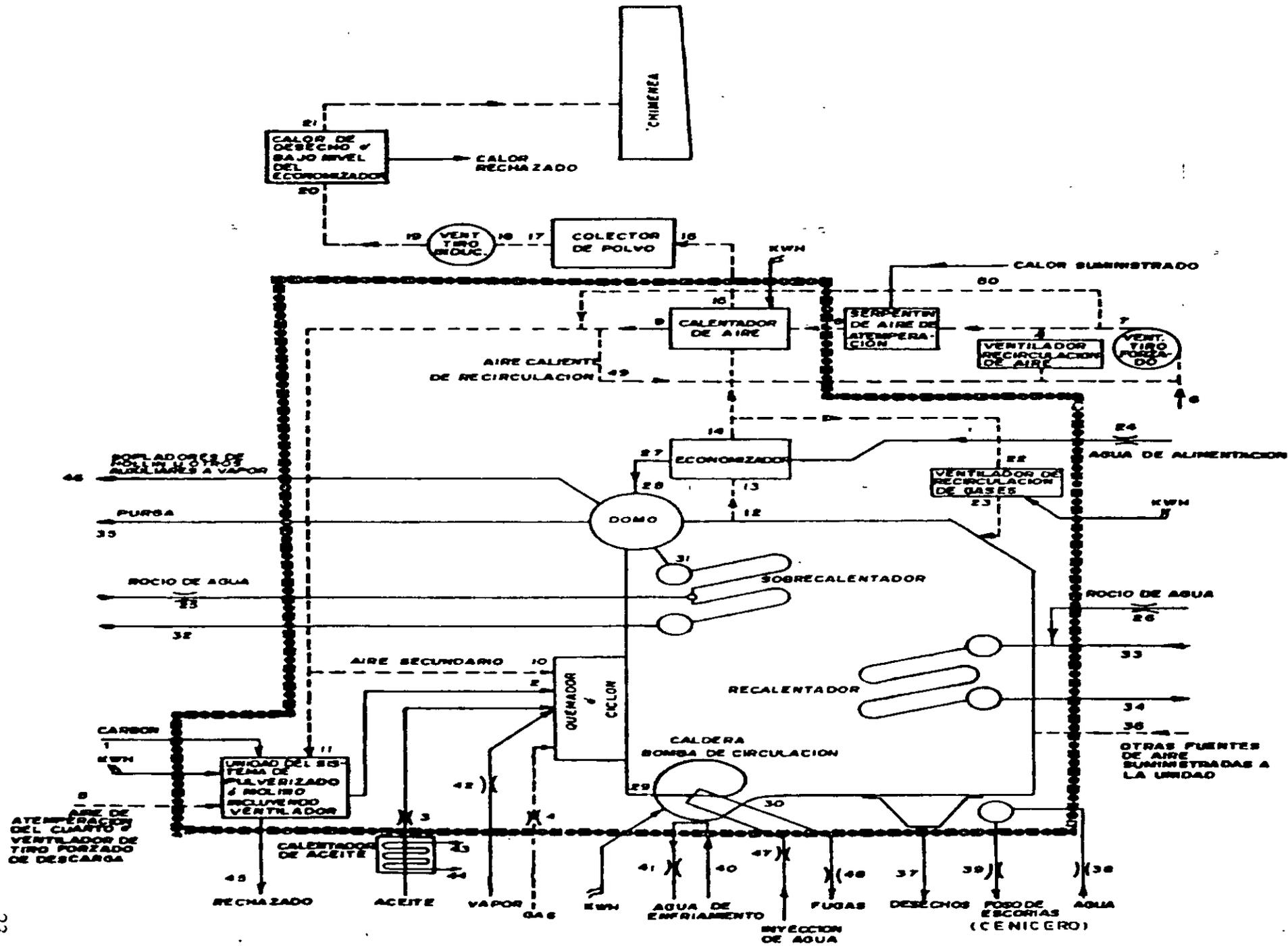
A⁰: lb de aire teórico requerido para quemar completamente 1 lb de combustible [lb/lb c]

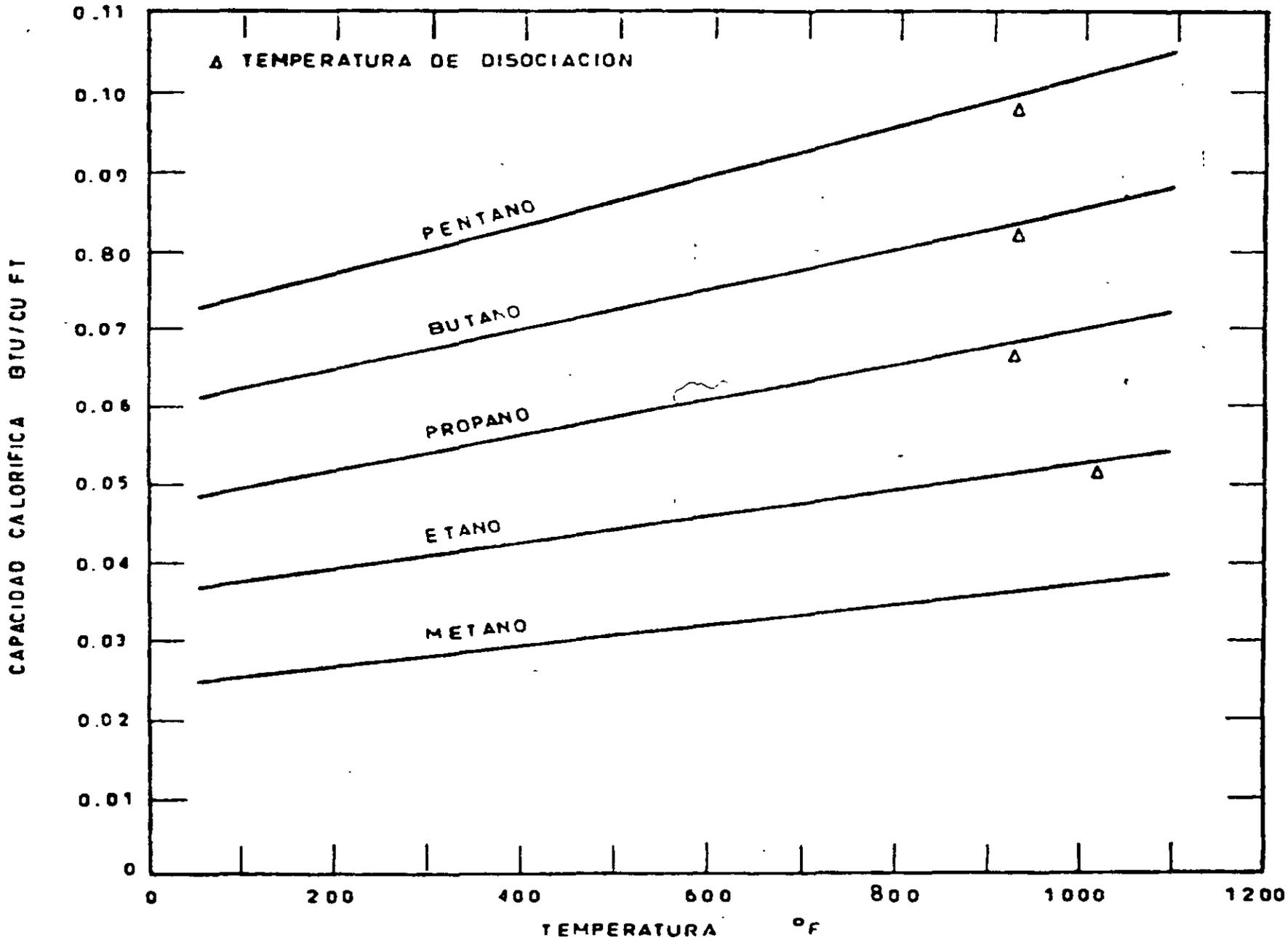
El exceso de aire se calcula como porcentaje:

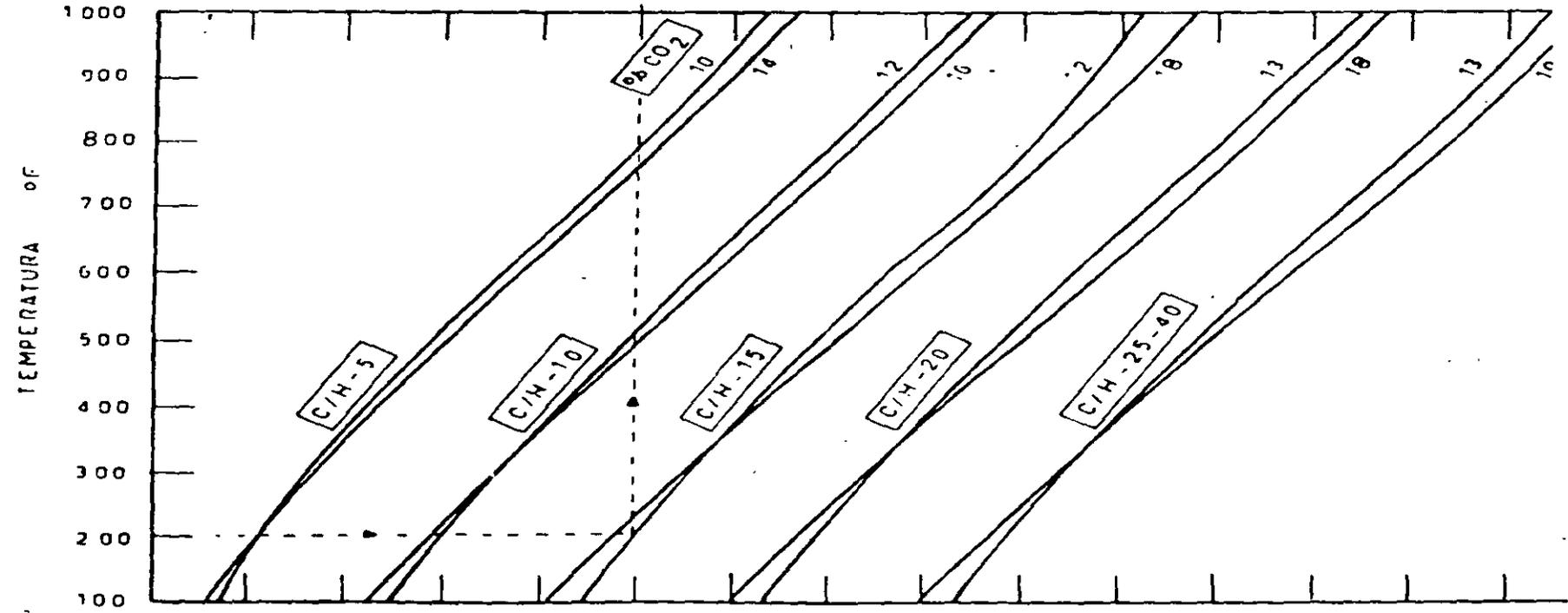
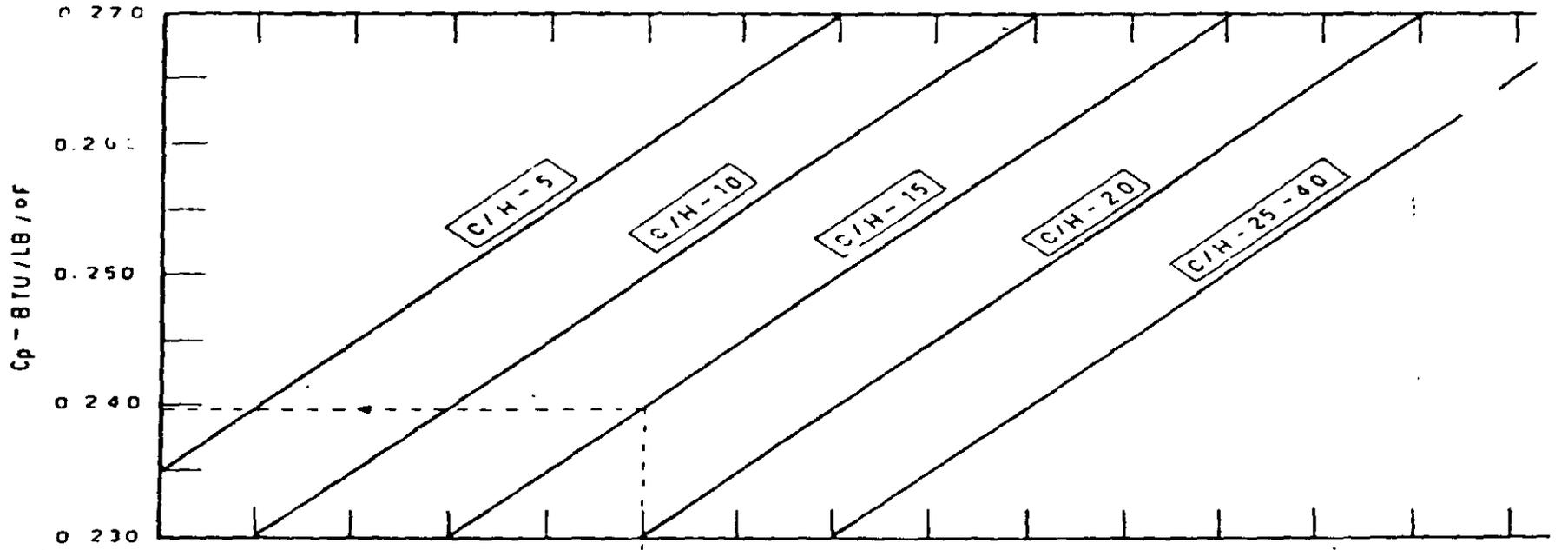
$$A'x = \frac{WA - A^0}{A^0} \times 100 \quad (51)$$

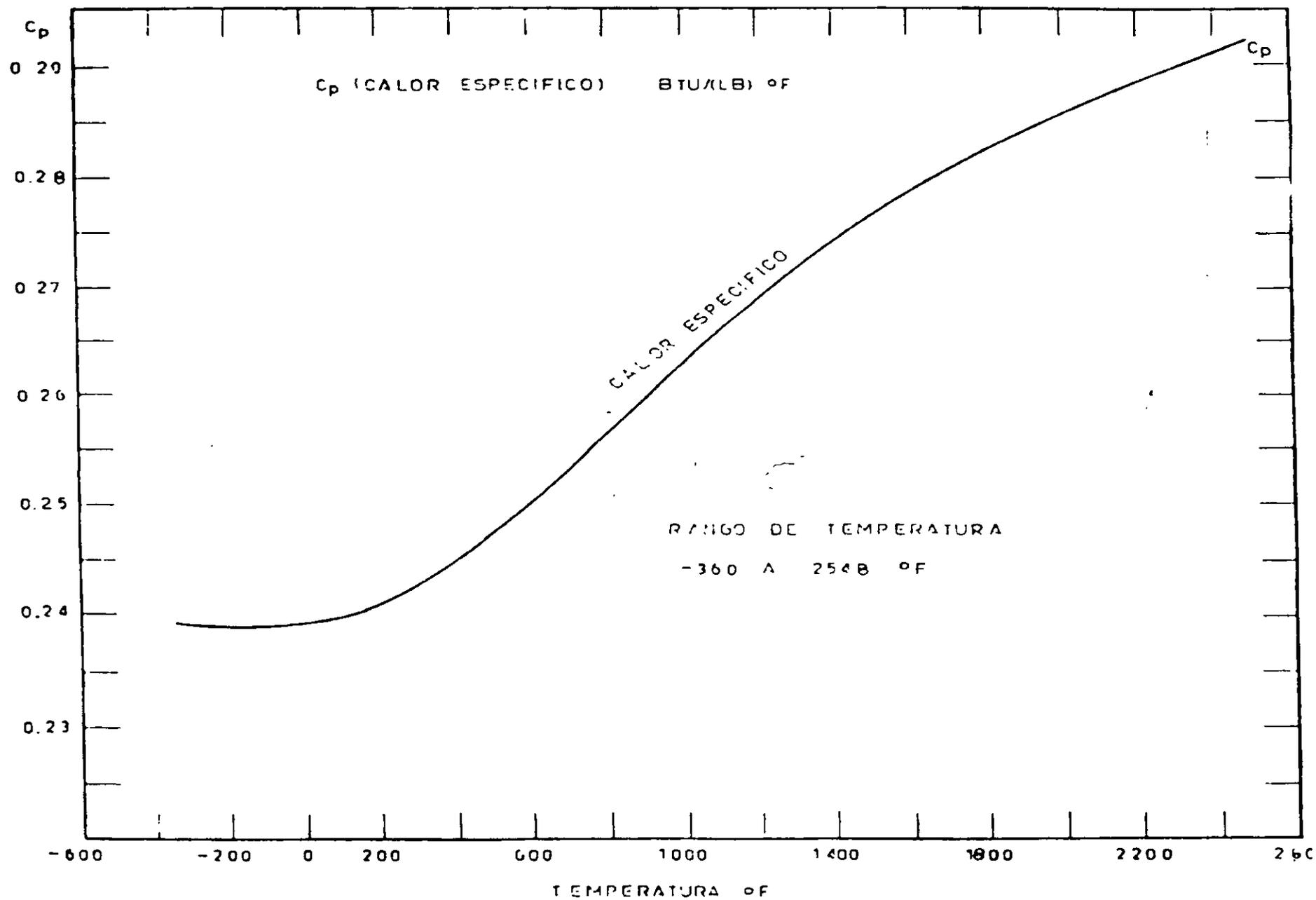
A'x: Porcentaje de exceso de aire [%]













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

CURSOS ABIERTOS

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

**MÓDULO IV: INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y
RECIPIENTES A PRESIÓN**

TEMA:

SOLDADURA

**ING. JOSÉ GUADALUPE TORRES ORTEGA
PALACIO DE MINERÍA
FEBRERO –MARZO 2000**

***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 ESTAN 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 ERICTOS 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, AUNADOS 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. FIENBA 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.

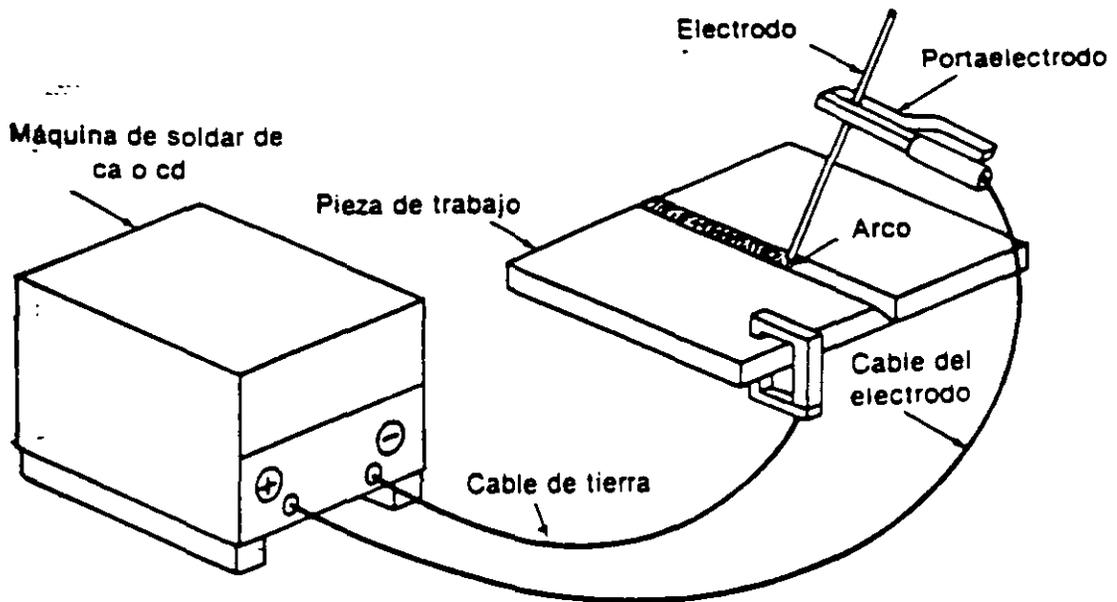
EN LA APLICACIÓN DE SOLDADURA POR ARCO, EL CONTROL DE TRES VARIABLES VELOCIDAD DE AVANCE, AMPERAJE Y VOLTAJE DEL ARCO ES EL PROBLEMA PRINCIPAL EN SOLDADURA MANUAL, EL SOLDADOR CONTROLA DOS DE ELLAS: VELOCIDAD DE AVANCE Y VOLTAJE DEL ARCO.

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.

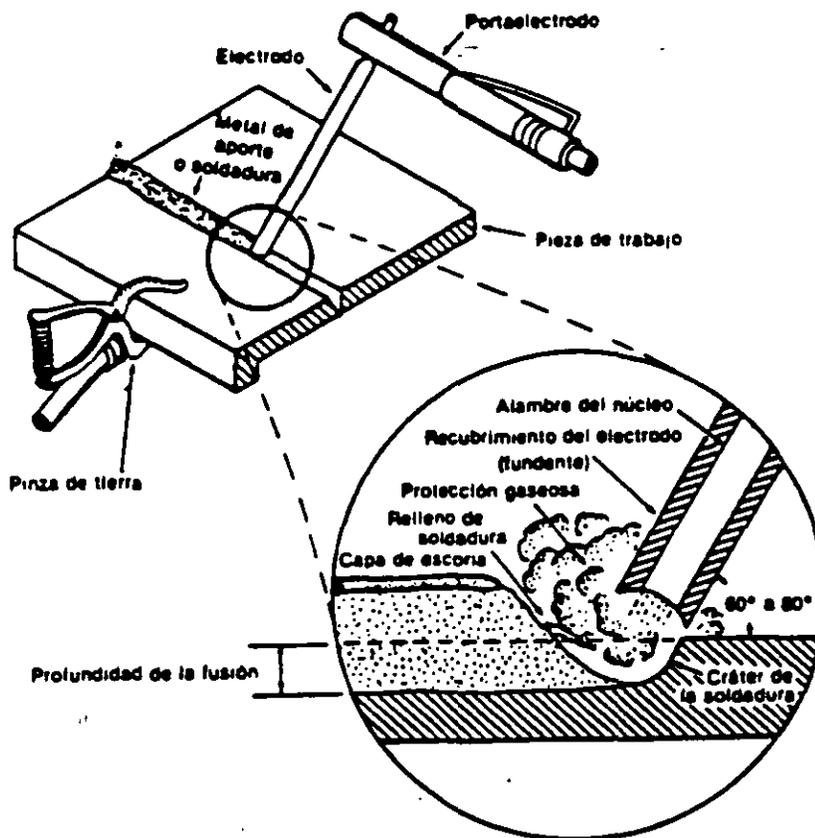
EL ARCO DESARROLLA UN INTENSO CALOR, QUE FUNDE EL METAL A SER SOLDADO Y FORMA UN "CHARCO" LIQUIDO, AL MISMO TIEMPO QUE LA PUNTA DEL ELECTRODO FUNDE Y ES TRANSPORTADA HASTA EL "CHARCO" A TRAVÉS DEL ARCO. EL RANGO DE CORRIENTE CASUAL PARA OPERACIÓN MANUAL ES DE 15 A 500 AMPERES.

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 FUSIÓN 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 X X

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 ULTIMO NUMERO DESCRIBE LA UTILIDAD DEL ELECTRODO, DETERMINADA POR EL RECUBRIMIENTO PRESENTE EN EL MISMO. ASÍ MISMO ESTE RECUBRIMIENTO 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 %
E0X10	DCEP	ELEVADA	CELUL.-SODIO	0-10
E00X1	AC-DCEP	ELEVADA	CELUL.-POTASIO	0
E00X2	AC-DCEN	MEDIA	RUTILO-SODIO	0-10
E00X3	AC-DC	BAJA	RUTILO-POTASIO	0-10
E00X4	AC-DC	BAJA	RUTILO-POLVO DE HIERRO	25-40
E00X5	DCEP	MEDIA	BAJO HIDR-SODIO	0
E00X6	AC-DCEP	MEDIA	BAJO HIDR-POTASIO	0
E00X8	AC-DCEP	MEDIA	BAJO HIDR-POLVO DE HIERRO	25-40
E00X0	AC-DC	MEDIA	OXIDO HIERRO-S.	0
E00X4	AC-DC	BAJA	RUTILO-POLVO DE HIERRO	50
E00X7	AC-DC	MEDIA	OXIDO HIERRO POLVO DE HIERRO.	50
E00X8	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 SUFLIO QUE SE AÑADE A LA DESIGNACIÓN ESTÁNDAR DESPUÉS DE UN GUIÓN. LA DESCRIPCIÓN DE ESTOS SUFLIOS SE INDICA ENSEGUIDA:

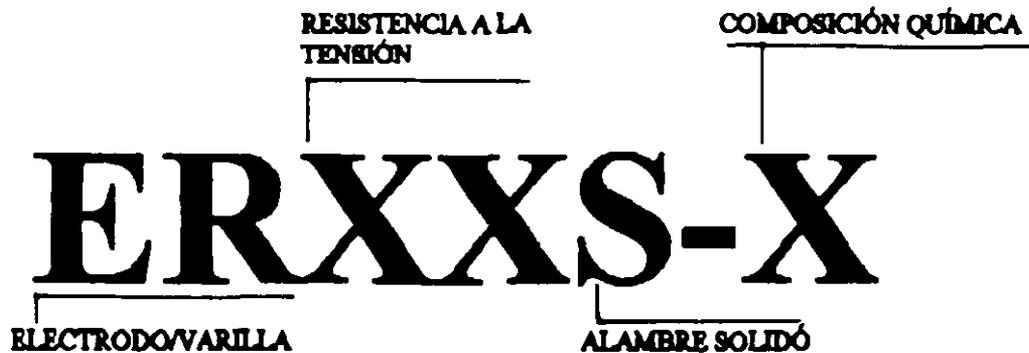
SUBFIDUO	ELEMENTO(S) ALEANTE (S)
A1	0.5% MOLIBDENO
B1	0.5% MOLIBDENO 0.5% CROMO
B2	0.5% MOLIBDENO 1.25% CROMO
B3	1.0% MOLIBDENO 2.25% CROMO
B4	0.5% MOLIBDENO 20% CROMO
C1	2.5% NIQUEL
C2	3.5% NIQUEL
C3	1.0% NIQUEL
D1	0.3% MOLIBDENO 1.5% MANGANESO
D2	0.3% MOLIBDENO 1.75% MANGANESO
G ^o	0.2% MOLIBDENO 0.3% CROMO 0.5% NIQUEL 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 GASEOSO 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 COMBINARÁN FÁCILMENTE CON EL METAL DE SOLDADURA LÍQUIDO DANDO COMO RESULTADO UNA SOLDADURA POROSA. UNA CARACTERÍSTICA 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).

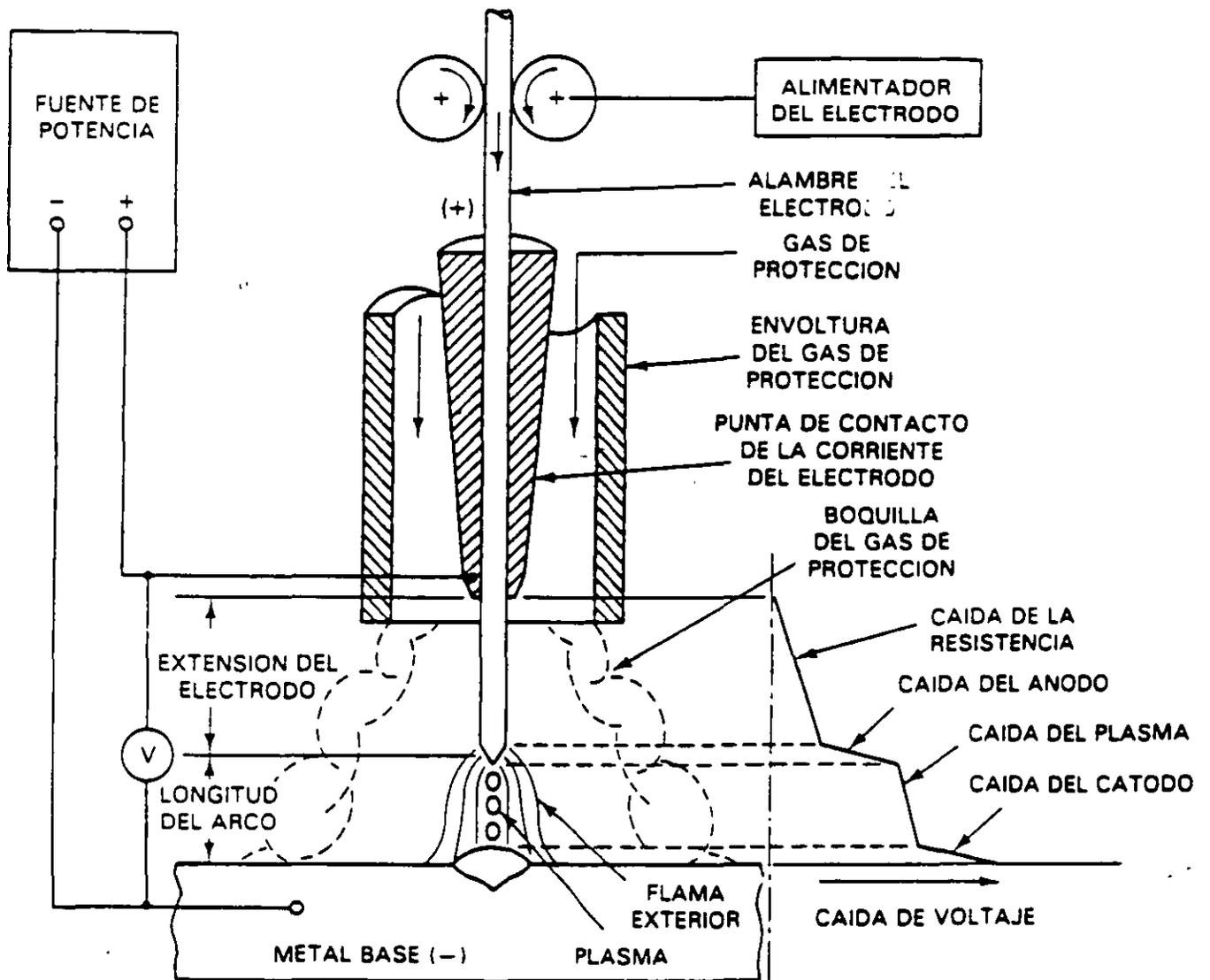
LOS ELECTRODOS UTILIZADOS PARA ESTE PROCESO SON ALAMBRES SÓLIDOS, QUE SON SUMINISTRADOS EN BOBINAS O CARRETES DE VARIOS TAMAÑOS. COMO ES EL CASO DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS, TAMBIÉN EXISTE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ESTABLECIDO, TAMBIÉN EXISTE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ESTABLECIDO POR LA SOCIEDAD 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 NÚMERO, 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 TENSIÓN DEL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO, EN MILES DE LIBRAS POR FULGADA CUADRADA. POR EJEMPLO, AL IGUAL QUE PARA ELECTRODOS REVESTIDOS, UN "70" DENOTA UN METAL DE APORTE QUE PRESENTA UNA RESISTENCIA MÍNIMA DE 70,000 PSL EN LA CONDICIÓN DE DEPOSITO. LA LETRA "S" INDICA QUE SE TRATA DE UN ALAMBRE SOLIDO. FINALMENTE EL NUMERO DESPUÉS DEL GUÓN 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

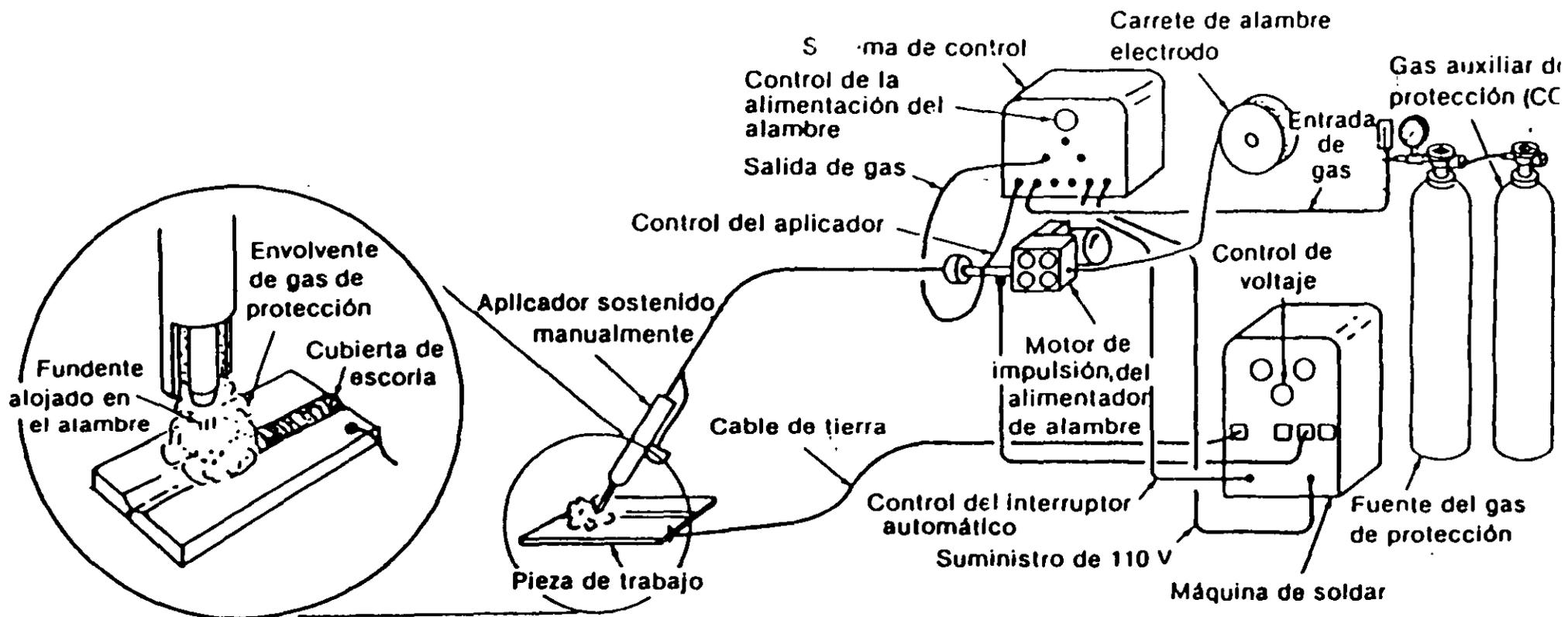
EL FACTOR MAS CRITICO ES QUE EL ALAMBRE DEBE CONSERVARSE LIMPIO. SI SE PERMITE QUE PERMANEZCA EN EL EXTERIOR PUEDE CONTAMINARSE CON OXIDO, ACETTE, HUMEDAD, POLVO, U OTROS ELEMENTOS PRESENTES EN UN TALLER. POR TANTO, CUANDO SEA POSIBLE, EL ALAMBRE DEBE CONSERVARSE EN SU ENVOLTURA PLÁSTICA ORIGINAL O EN 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 FLACAS 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 POCAS 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.

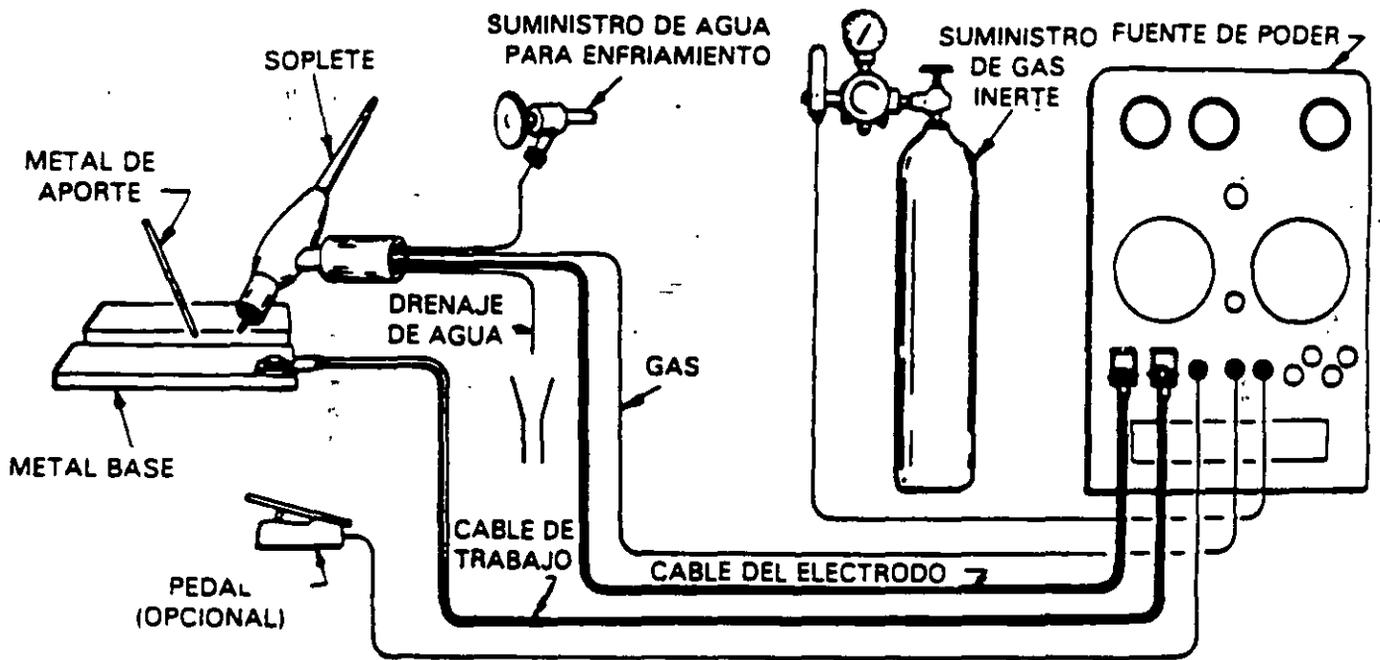
MIENTRAS QUE EL USO DE GAS DE PROTECCIÓN EN LUGAR DE FÚNDENTE PROPORCIONA ALGUNOS BENEFICIOS TAMBIÉN PUEDE SER UNA LIMITACIÓN. SI EL METAL BASE ESTA EXCESIVAMENTE CONTAMINADO, EL GAS DE PROTECCIÓN PUEDE NO SER SUFICIENTE PARA PREVENIR LA OCURRENCIA DE POROSIDAD. ES IMPORTANTE DARSE CUENTA QUE AUMENTAR EL FLUJO DE GAS ARRIBA DE LOS LÍMITE 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 MAS COMÚNMENTE UTILIZANDO UN SISTEMA DENOMINADO CÓDIGO DE COLORES. LA TABLA SIGUIENTE MUESTRA LAS CLASIFICACIONES Y EL CÓDIGO DE COLOR APROPIADO.

CLASIFICACIÓN AWS	COMPOSICIÓN TUNGSTENO	COLOR
EWP		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

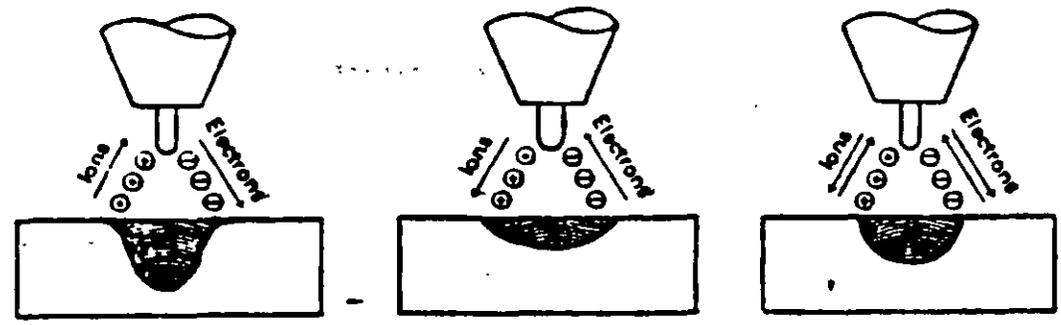
LA PRESENCIA DEL THORIO O ZIRCONIO AYUDA A MEJORAR LAS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS, HACIENDO QUE EL TUNGSTENO SEA LIGERAMENTE MAS EMISIVO. ESTO SIGNIFICA SIMPLEMENTE QUE ES MAS FÁCIL INICIAR UN ARCO CON LOS ELECTRODO DE TUNGSTENO PURO.

EL ELECTRODO TIPO EWTH-2 ES EL MAS 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 MAS EMPLEADA PARA LA SOLDADURA DE ACEROS. LA FIGURA 14 ILUSTRAS 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 MENCIONO, ESTE PROCESO DE SOLDADURA UTILIZA GASES INERTES PARA LA PROTECCIÓN DEL ARCO Y DEL METAL LIQUIDO. 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 MAS 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

13a

FIGURA 14

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").

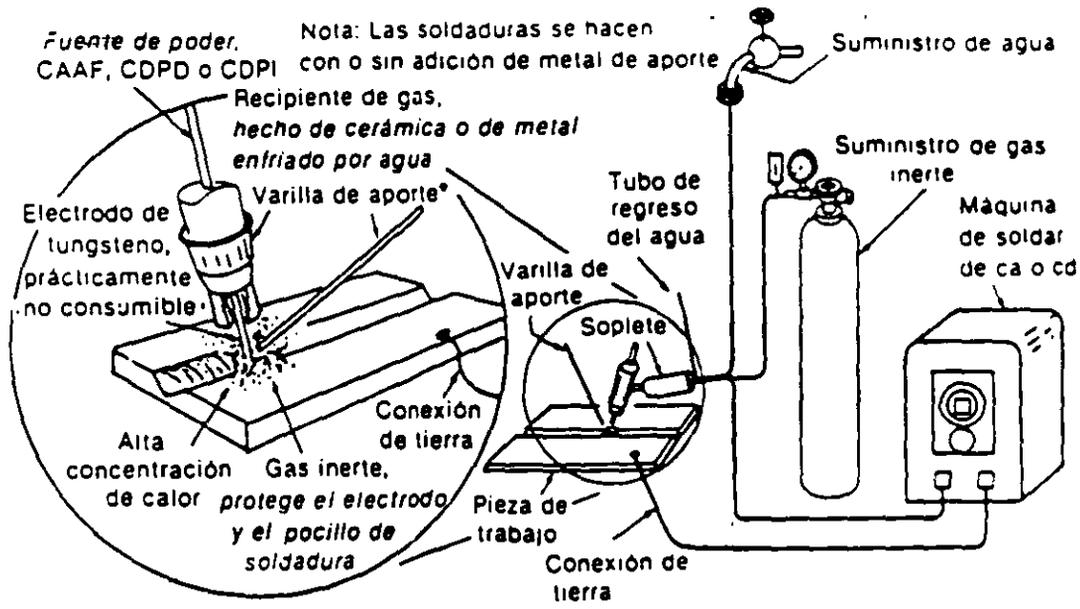
TÍPICAMENTE ES UN PROCESO LIMPIO Y DE OPERACIÓN CONTROLABLE LO CUAL INDICA QUE SEA EL ELEGIBLE PARA APLICACIONES EXTREMADAMENTE CRÍTICAS, TALES COMO EN LAS INDUSTRIAS AEROSPACIALES, PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS Y MEDICINAS Y QUÍMICA.

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.

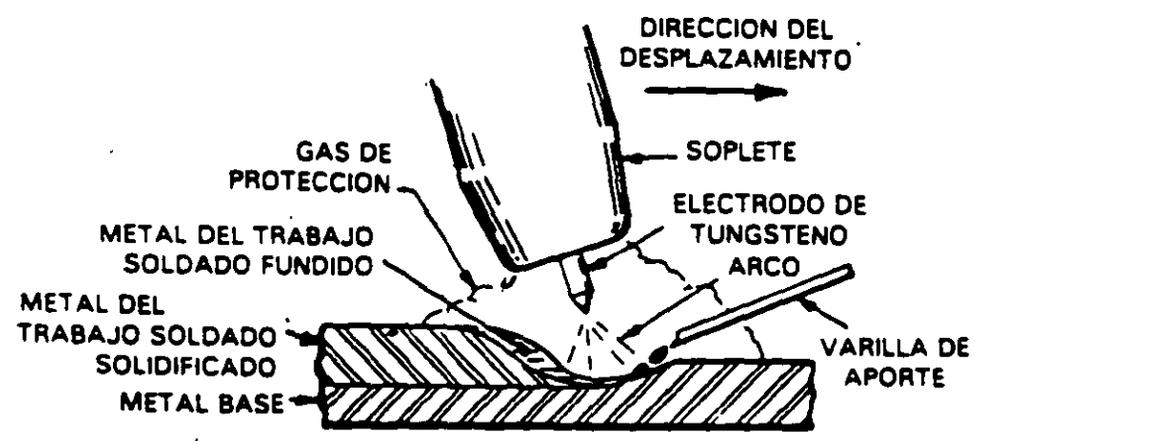
CUANDO OCURRE ESTO, ES UNA SEÑAL DE QUE EL PROCESO ESTA FUERA DE CONTROL Y SON NECESARIAS ALGUNAS MEDIDAS CORRECTIVAS. PARA ESTO DEBE REALIZARSE UN CHEQUEO PARA DETERMINAR LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN Y CON ESTO ELIMINARLA.

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

- 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

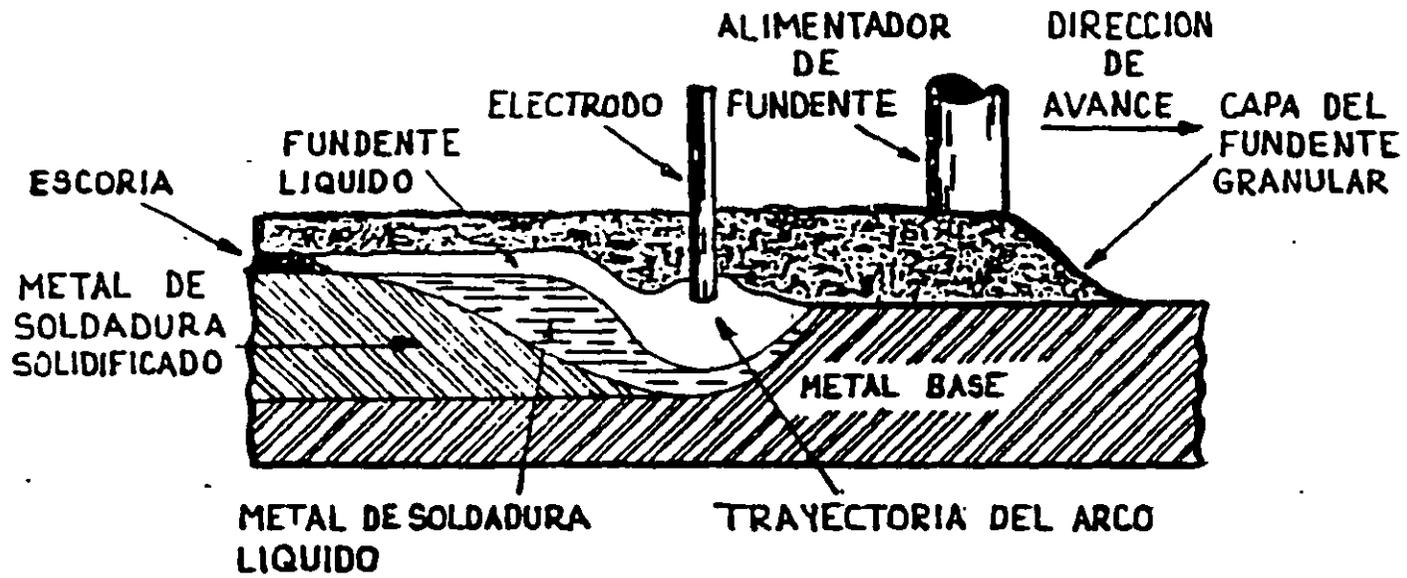
SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

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.

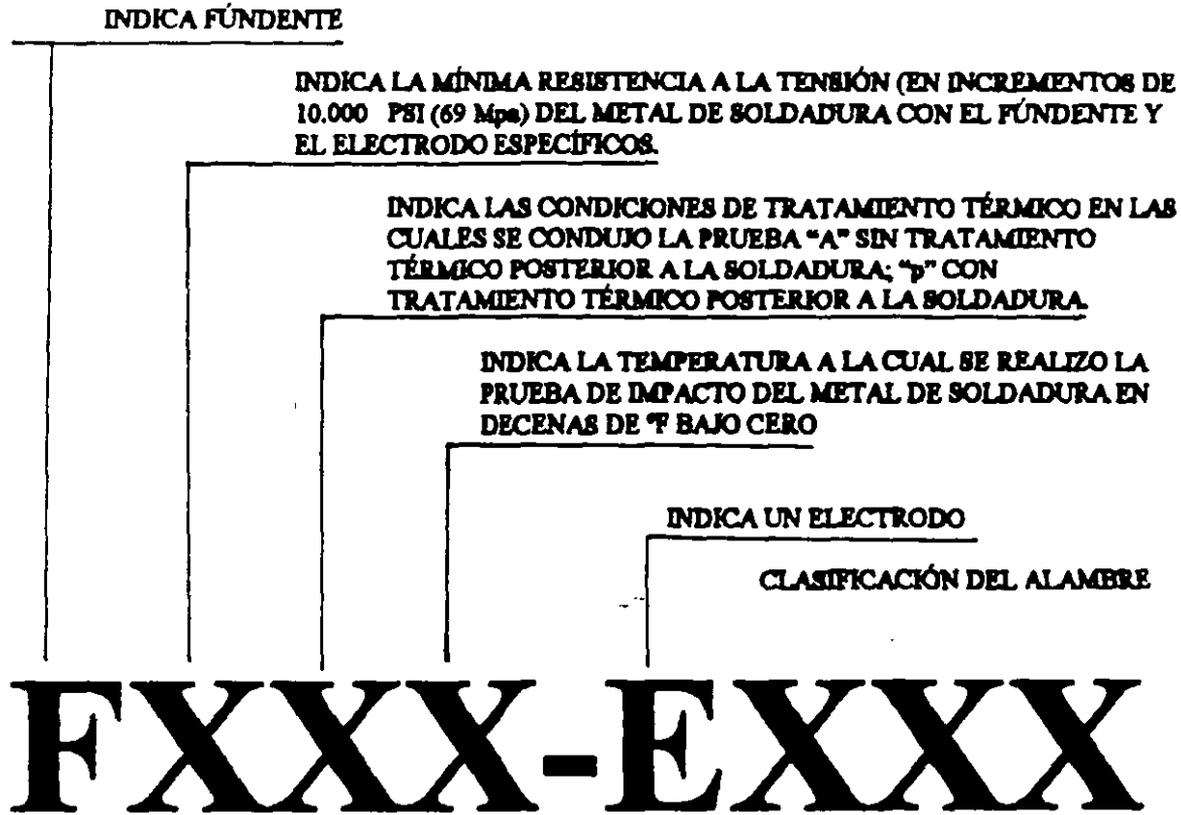


SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

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 PREFIERE UNA MÁQUINA 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.



EJEMPLO : F7A5-EM 13K

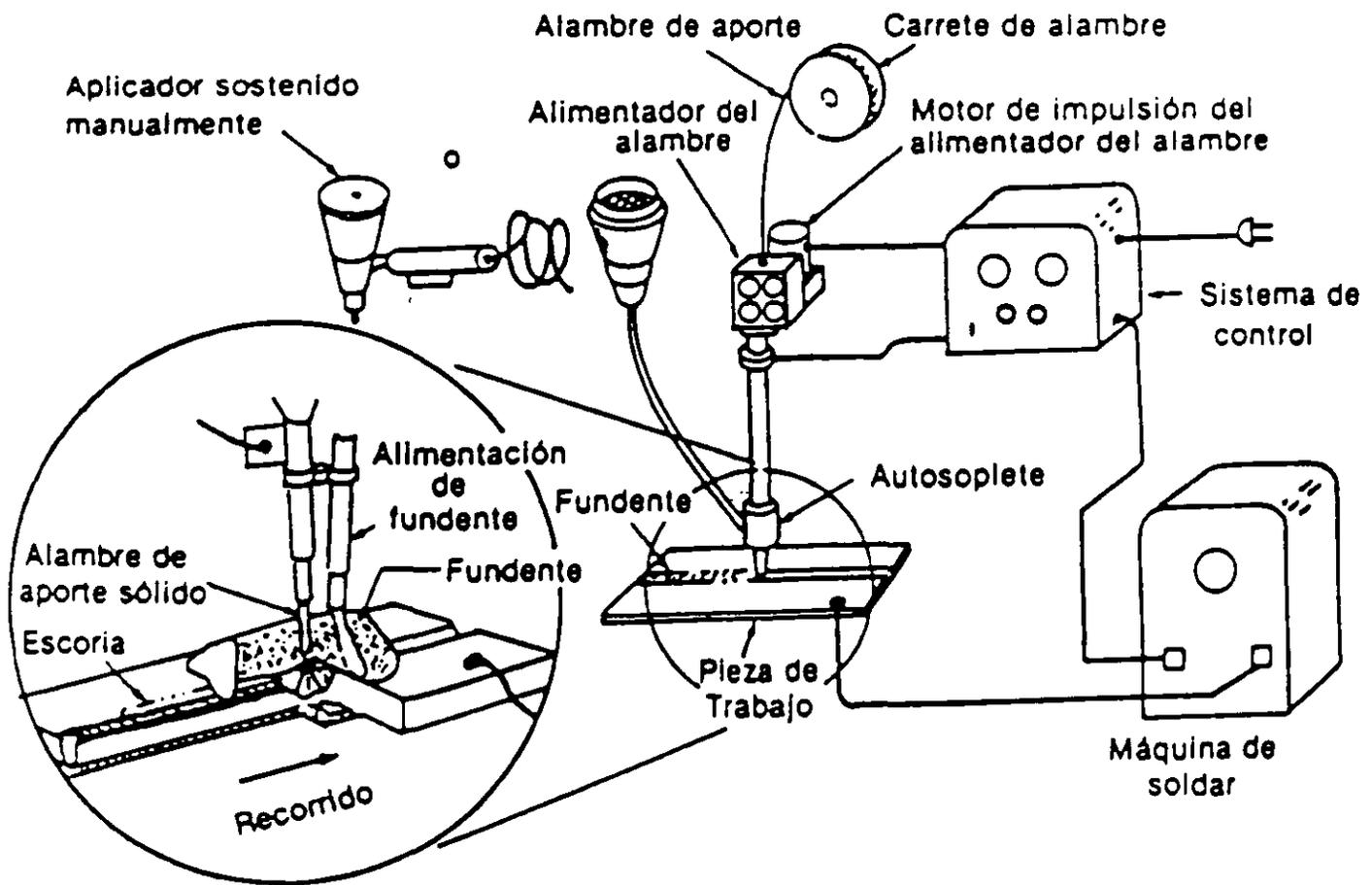
F- FÚNDENTE

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.

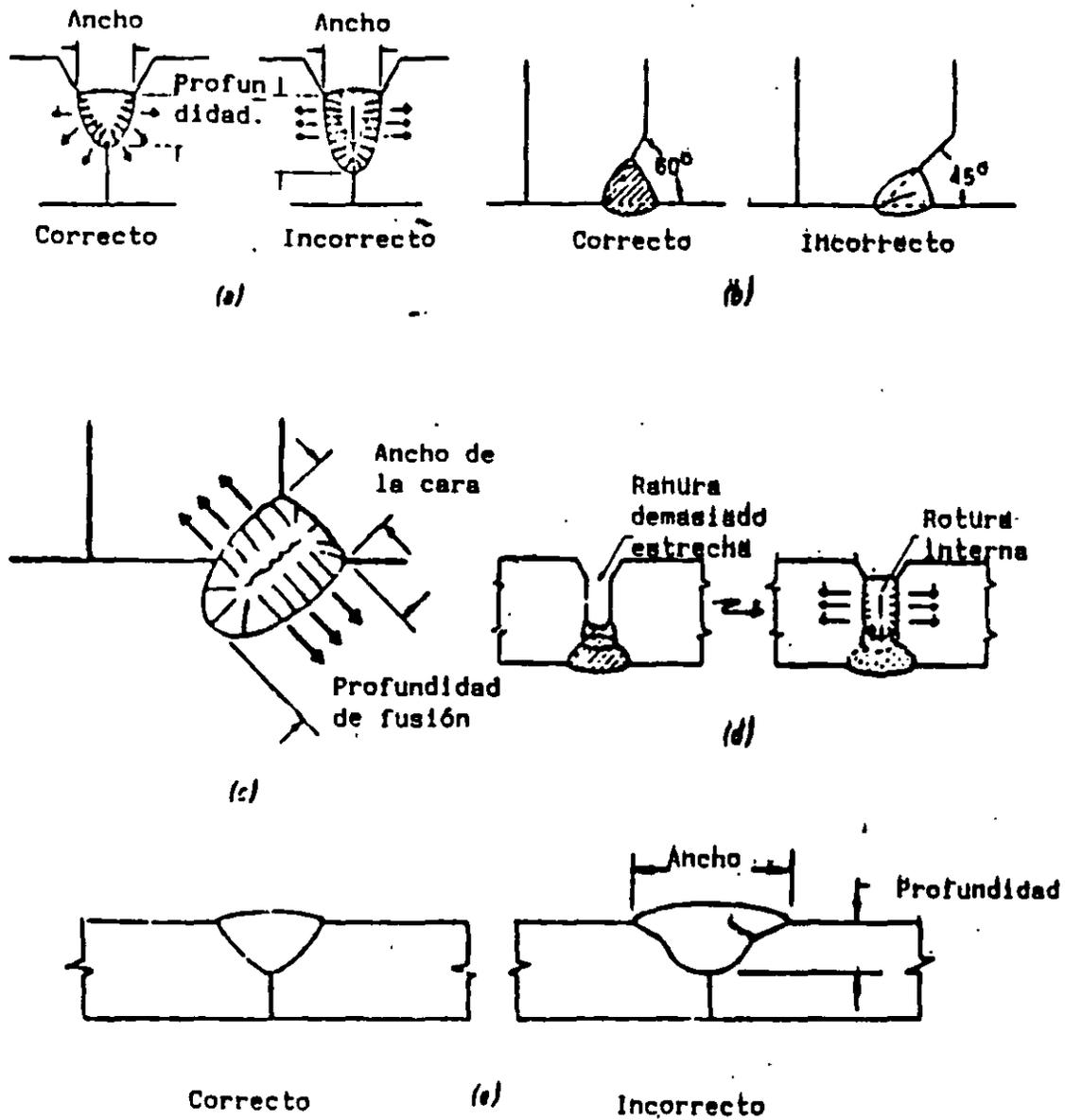
FIGURA 18

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 ECONOMICO APLICAR UN RECUBRIMIENTO 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 CUALESQUER 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 SEGUIR 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 LIMITES 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 REFERAN 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 TERMINOLOGÍAS Y DEFINICIONES DE CADA CÓDIGO DE SOLDADURA. EN VISTA DE LO ANTERIOR ES NECESARIO CONSULTAR LA ÚLTIMA EDICIÓN O LA EDICIÓN ESPECÍFICA DEL CÓDIGO Y SEGUIR AL DETALLE.

EN GENERAL " UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ES EL CONJUNTO DE MÉTODO Y PRÁCTICAS 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 ESPECÍFICA, 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 ESPECÍFICA 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 ESPECÍFICAS, 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 FUENTES Y EDIFICIOS Y LA SOLDADURA DE TUBERÍAS DE TRANSMISIÓN A CAMPO TRAVIESA 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 POR 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 FUA 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 DX DE LAS CALIFICACIONES DE METALES BASE Y LOS AGRUPAMIENTOS EN EL AWS B-2.1 VARÍAN 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 DX 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.

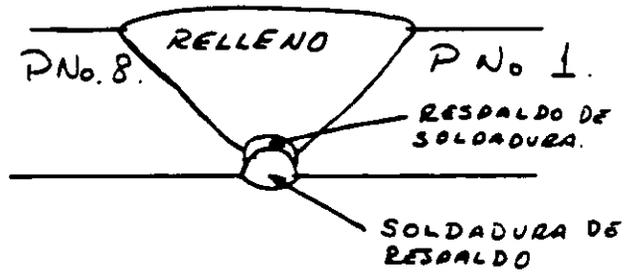
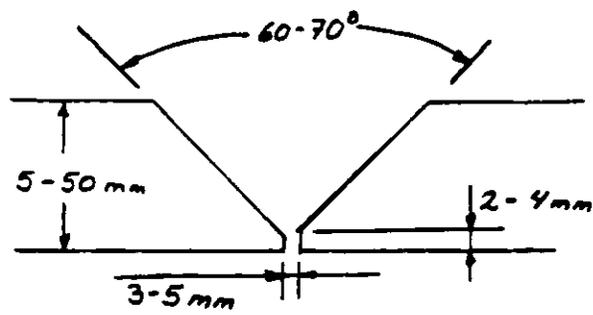
xxxNOMBRE DE LA COMPAÑIAxxxxxxxxx WPS No. XXXXXXXX
 xxxxxxDEPARTAMENTOxxxxxxxxxxxxxxxxx REV. XX FECHA:XXXXXXXXX
 ESPEC. DE PROC. DE SOLDADURA (WPS) SIMBOLO @= REVISION.

ELABORADO POR: Persona que elabora FIRMA: _____

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

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

JUNTAS (QW-402)



DISEÑO DE LA UNIÓN: 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		
ESESOR DE METAL DE SOLD DEPOSITADO: RANURA:	50.8mm máxima		
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 Amos. 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	-----

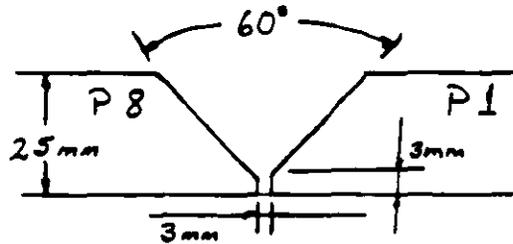
XX NOMBRE DE LA COMPAÑIA XXXXXXXXXXXX
 XXXXXX DEPARTAMENTO XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 REGISTRO DE CALIF. DE PROC. (PQR)

PQR No. XXXXXX
 REV. XX FECHA: XXXXXX
 SIMBOLO @= REVISION.
 WPS No. XXXXX
 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 5.4
 CLASE AWS E309
 No. F 5
 No. A 8
 TAMAÑO 3.2mm.
4mm
 METAL DEPOSITADO 25.4mm
 OTRO(S) -----

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 pri
 mer lado de la unión, fue ranura
 do desde el lado opuesto con
 arco-aire-carbón seguido de esme
 ril 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 n tur L.

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. Doble lateral QW-462.2	Satisfactorio
2. Doble lateral QW-462.2	Satisfactorio
3. Doble lateral QW-462.2	Satisfactorio
4. Doble 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: XXXXXXXXXXXXXXXXXX FICHA 17 MARCA G

PRUEBAS CONDUCCIDAS 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 PRUBADOS 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 ILUSTRA 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 NUMERO, 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 MAS 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 SELLO DE SÍMBOLO SON :

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



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

CURSOS ABIERTOS

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

**MÓDULO IV: INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y
RECIPIENTES A PRESIÓN**

TEMA:

**LIMPIEZAS QUÍMICAS POST OPERACIONALES DE GENERADORES DE
VAPOR**

**ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
FEBRERO – MARZO 2000**

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 removi6, etc.).
- 5.- Datos de tratamiento químico externo - interno y de la operaci6n de la caldera.
- 6.- Características de los dep6sitos (formados en la caldera o arrastrados a ella).
- 7.- Muestreo de tubos.-
(antes y despu6s de la limpieza química)
- 8.- Análisis de dep6sitos.
 - . 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 corrosi6n 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 remoci6n de calcio y magnesio; pero al encontrar en calderas recientes otro tipo de dep6sito (silice y cobre), se implement6 una segunda etapa para remover el cobre con tiourea o bromo, incorporado a la etapa ácida y asi se remueve fierro y cobre a la vez.

De la misma manera se utiliz6 el bifluoruro de amonio para la eliminaci6n de la sílice, mejorando a la vez la acci6n 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 soluci6n con amoniac 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 bifluoruro 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 amoniaco 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 INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

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

**MÓDULO IV: INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y
RECIPIENTES A PRESIÓN**

TEMA:

TRATAMIENTO DE AGUAS

**ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
FEBRERO – MARZO 2000**

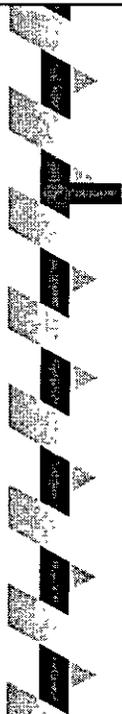
DIPLOMADO
EN
INGENIERIA DE CALDERAS Y
RECIPIENTES SUJETOS A PRESION

Tema:

TRATAMIENTO QUIMICO
DEL
AGUA

Expositor: Ing. Miguel Alonso Castillo Hoyl

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:

- 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.

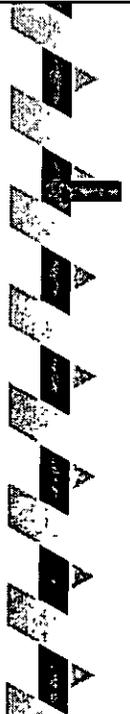
MACH/ 6



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.

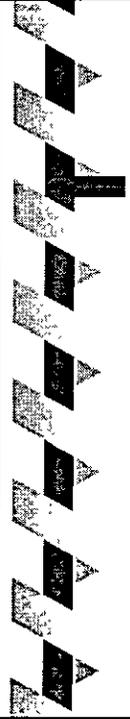
MACH/ 9



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).

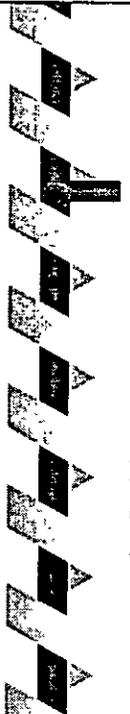
MACH/10



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/11



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).

MACH/12



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

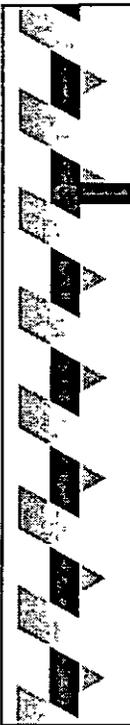


Los problemas de corrosión e incrustación o de depositación, debidos a las impurezas del agua se deben principalmente a: La solubilidad de cada impureza, a la temperatura, al pH y a las condiciones de oxidación o reducción presentes.

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 Manganeso (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 ppm = 1 mg /lt , o también

1 ppm = 1 gr/m³

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

1 ppb = 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 CaCO₃ , cuyo peso molecular es de 100.

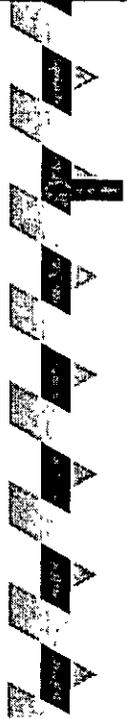
MACH/16



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).

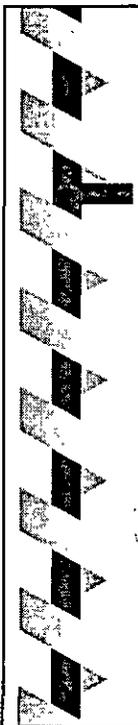
Finalmente se corregirán ciertas características.

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).

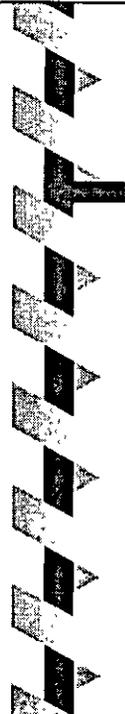
El cuadro siguiente, relaciona ciertos materiales y organismos, con su tamaño medio, así como el orden de magnitud del tiempo necesario para que estas partículas, recorran verticalmente un metro de agua, únicamente por la influencia de su peso.

MACH/20



Diámetro de la partícula (mm)	Material	Tiempo de sedimentación para 1m de caída

MACH/21



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.

MACH/22



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).

MACH/23



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.

MACH/24

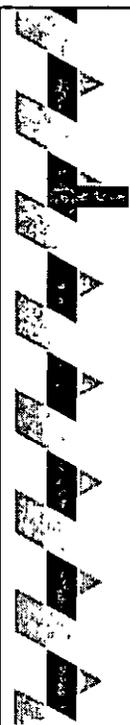


COAGULACION Y FLOCULACION

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:

MACH/25



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.

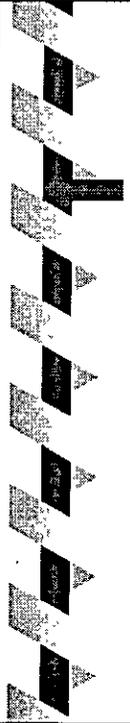
MACH/26



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).

MACH/27



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.

MACH/28



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.

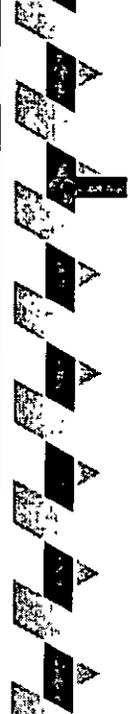
MACH/30



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.

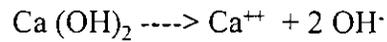
MACH31



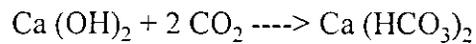
La dureza constituida por las sales de Ca y Mg, son reducidas en este tratamiento, por el proceso de precipitación, que predomina en este tratamiento, como CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ respectivamente.

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

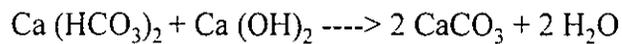
MACH32



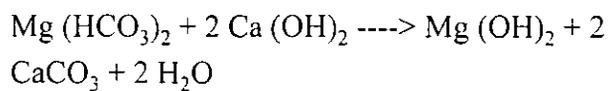
para el CO_2 :



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).

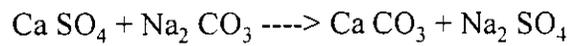
Dado que la dureza de Ca y Mg puede ser “de Carbonato” o “no Carbonato”, las reacciones anteriores convirtieron la “dureza Carbonato”.

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:

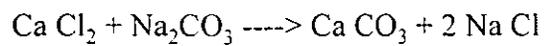
MACH34



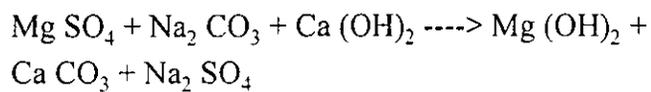
Para el Ca SO₄



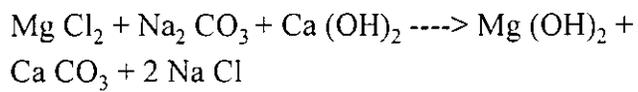
Para el Ca Cl₂



Para el Mg SO₄



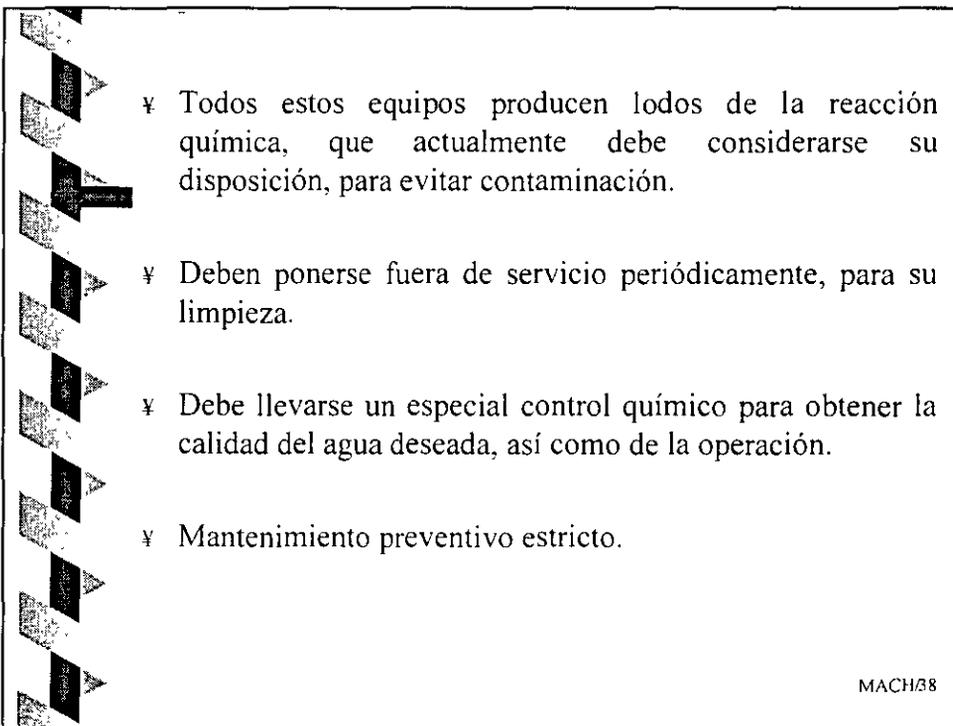
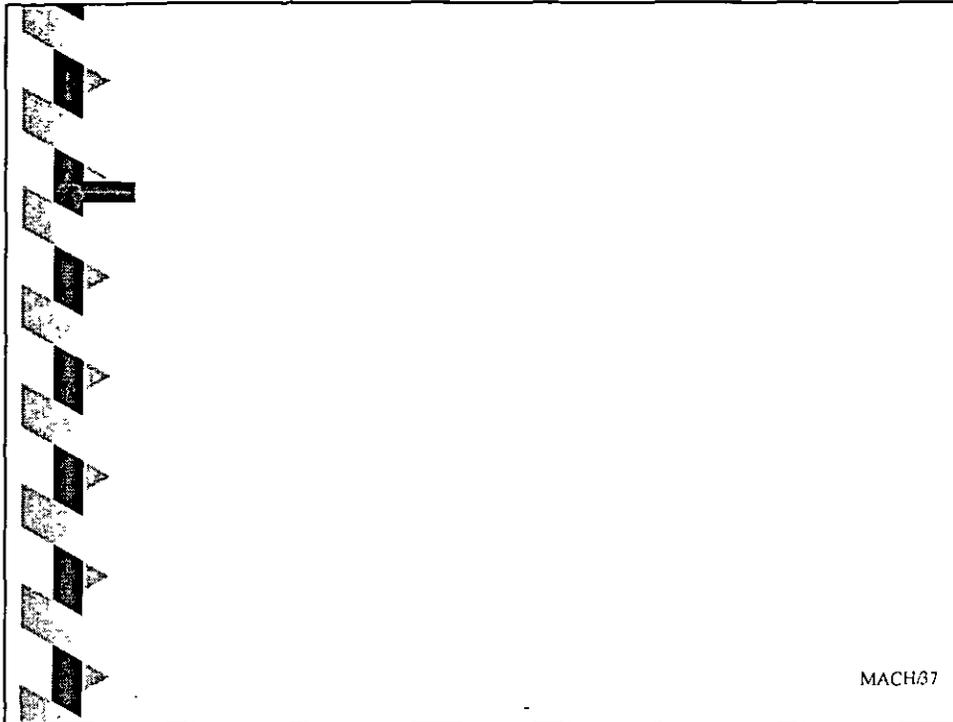
Para el Mg Cl₂



MACH65



MACH66





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 $Ca CO_3$ y $Mg (OH)_2$ hasta los filtros por lo que deben tomarse las medidas pertinentes.

MACH#1



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.

MACH#2



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:

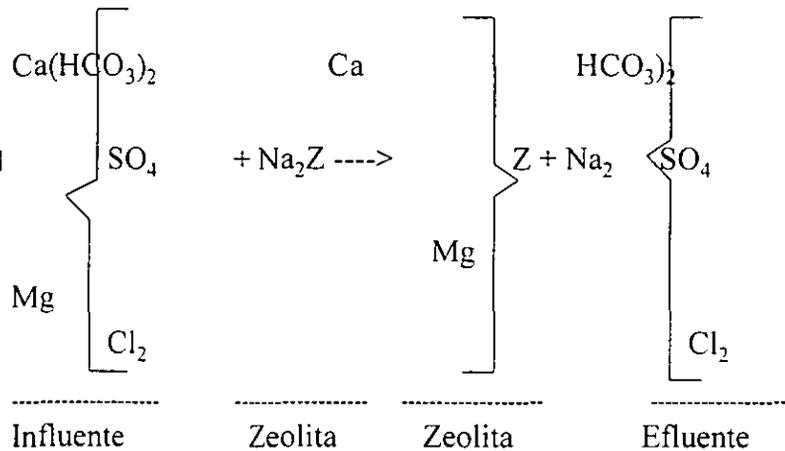
- Suavización
- Desalcalinización
- Desmineralización

MACH44

SUAVIZACION

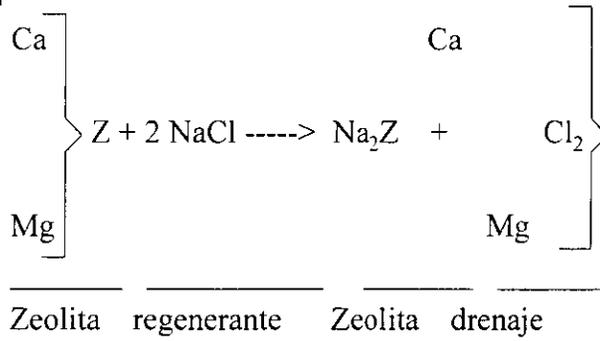
El intercambio que sucede durante la operación, produce un efluente con sales de sodio, en vez de las sales de Ca y Mg del influente. La dureza en el efluente puede llegar hasta 2 a 4 ppm, dependiendo de la dureza del influente. (Generalmente se obtiene agua de dureza cero). Las reacciones químicas que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

MACH#5



MACH#6

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^-)

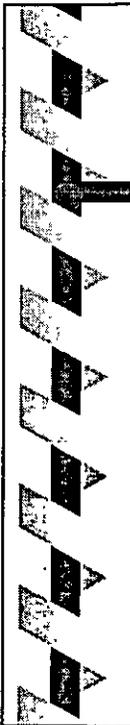
MACH/51



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.

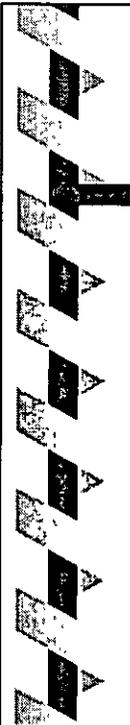
MACH/52



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).

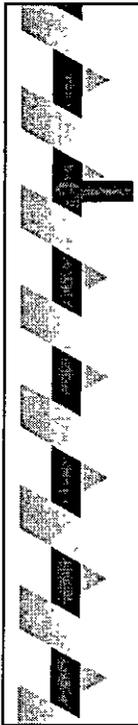
MACH/53



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

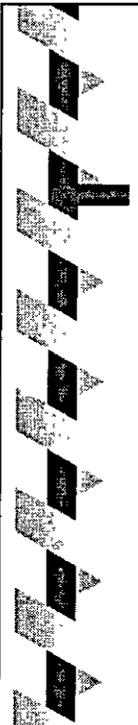


Otro tipo de fallas son las mecánicas en distribuidores y toberas.

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.

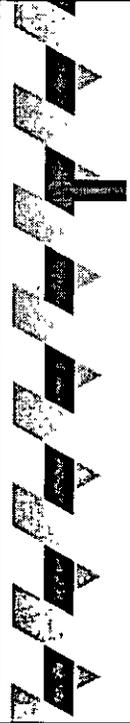
MACH/56



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.

MACH/57



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.

MACH/58



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 :

- 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.

MACH63



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.

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

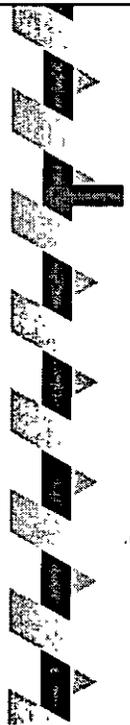


En un permeador de cuatro pulgadas de diámetro hay un millón de fibras aproximadamente, que soportan una presión de 400 lb/pulg² del agua de alimentación que entra por el tubo central y fluye radialmente pasando por las fibras para fluir por el interior hacia la placa epoxi como producto.

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/1

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:

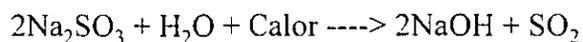
Este se efectúa con la finalidad de eliminar principalmente el oxígeno que trae consigo. La presencia de este oxígeno ya en la caldera, ocasionará la corrosión por picaduras. Aparte este oxígeno puede favorecer otros tipos de corrosión como la corrosión de cobre por amoníaco. Es esencial la eliminación del oxígeno para evitar la corrosión del generador de vapor.

MACH/2



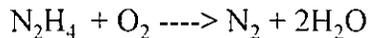
Sulfito de sodio:

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.



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

CURSOS ABIERTOS

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

**MÓDULO IV: INGENIERÍA DE SOPORTE A CALDERAS Y
RECIPIENTES A PRESIÓN**

TEMA:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS NORMAS ASME PTC 4.1 Y DIN 1942

**ING. ALFREDO SÁNCHEZ FLORES
PALACIO DE MINERÍA
FEBRERO – MARZO 2000**

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 empleó.

Los suministros o entradas de calor se definen como el calor en el combustible, más el calor agregado al fluido de trabajo, aire y/o gases que atraviesan la frontera del Generador de Vapor, tal como se muestra en la figura 4.1. ←

La salida de calor se define como el calor absorbido por el fluido o fluidos de trabajo.

El calor suministrado, es definido como aquellas otras cantidades de calor agregadas en los límites del Generador de Vapor, además del poder calorífico del combustible, tal y como se observa en la figura 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

concluiría, 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 METODO 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 máscos 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:

$$\eta_g = 100 - \left[\frac{\text{Pérdidas de Calor}}{\text{Calor del combustible} + \text{Calores suministrados}} \times 100 \right] \quad (\%) \quad (3)$$

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}	Entalpía del vapor a la salida del sobrecalentador	[Btu/lb]
h_{s33}	Entalpía del vapor a la entrada del recalentador	[Btu/lb]
h_{s34}	Entalpía del vapor a la salida del recalentador	[Btu/lb]
h_{w24}	Entalpía del agua de alimentación a la entrada de la unidad	[Btu/lb]
h_{w25}	Entalpía del agua de atomización del sobrecalentador	[Btu/lb]
h_{w26}	Entalpía del agua de atomización del recalentador	[Btu/lb]
h_{w35}	Entalpía del agua de purgas	[Btu/lb]
h_{w47}	Entalpía del agua de inyección	[Btu/lb]
h_{w48}	Entalpía 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]

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

- $H_{r'}$: Poder calorífico superior del combustible, obtenido por análisis de laboratorio (base seco) [Btu/lb]
- m_f : Porcentaje de humedad contenida en el combustible, determinada por análisis de la muestra [%]

Cuando el poder calorífico se obtiene a volumen constante, se debe convertir a presión constante, como sigue:

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

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

- 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:

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

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]

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

- W_{C, 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)

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

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

- $W_{C'}$: 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:

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

$$C_b = C - \frac{W_{d,p'} - H_{d,p'}}{14500} \quad (17)$$

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

4.9.1.1.3 Calor suministrado por el calor sensible del combustible

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

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

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

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:

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

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

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

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

$W_{mA'}$: 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

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

$h_{12,14,15}$: 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]

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

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

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

W_{z_c} : 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

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

H_2 : 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

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

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

$\frac{\text{UHC (pies}^3)}{\text{gases secos (pies}^3)}$ 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 perdidas 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]

$$H_{PW} = \frac{W_{w38} \times (t_{w39} - t_{w38})}{W_{fe}} \quad (41)$$

W_{we38} : Consumo de agua suministrada al foso de escorias [lb/hr]

t_{w39} : Temperatura del agua a la salida del foso de escorias [F]

t_{w38} : Temperatura del agua a la entrada del foso de escorias [F]

$$H_{EPW} = \left[W_{w38} + \left(W_{fe} \times \frac{P}{100} \times \frac{S_{WW}}{S_{WR}} \right) - W_{we39} \right] \left[\frac{h_{v12.14.15} - h_{w39}}{W_{fe}} \right] \quad (42)$$

P : Residuos en el foso. Se expresa como un porcentaje del combustible quemado [%]

S_{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]
- $W_{p'o}$: 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

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

- $c_{d'}$: 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

$$L_r = \frac{W_{r'e} \times H_r}{W_{r'e}} \quad (46)$$

- $W_{r'e}$: 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 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]

Además de las pérdidas señaladas anteriormente, hay que considerar los calores suministrados, como en el caso del método directo, por lo que se tiene:

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

- 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

$$W_{A.} = \frac{28.02 (N_2) \times \left[C_b + \frac{12.01}{32.07} S \right] - N}{0.7685} \quad (49)$$

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 [%]

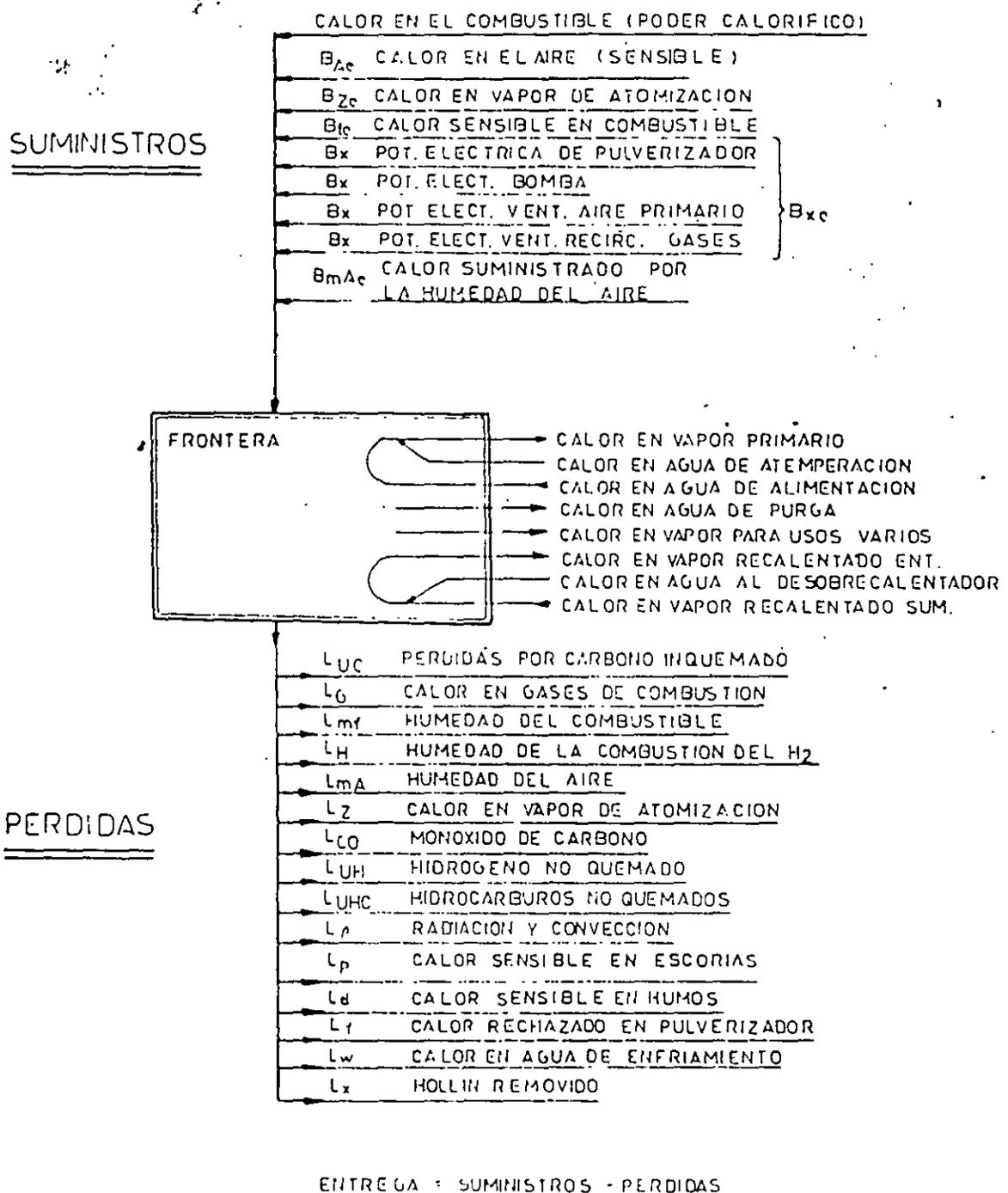


Figura 4.2. Balance de energia en un Generador de Vapor.

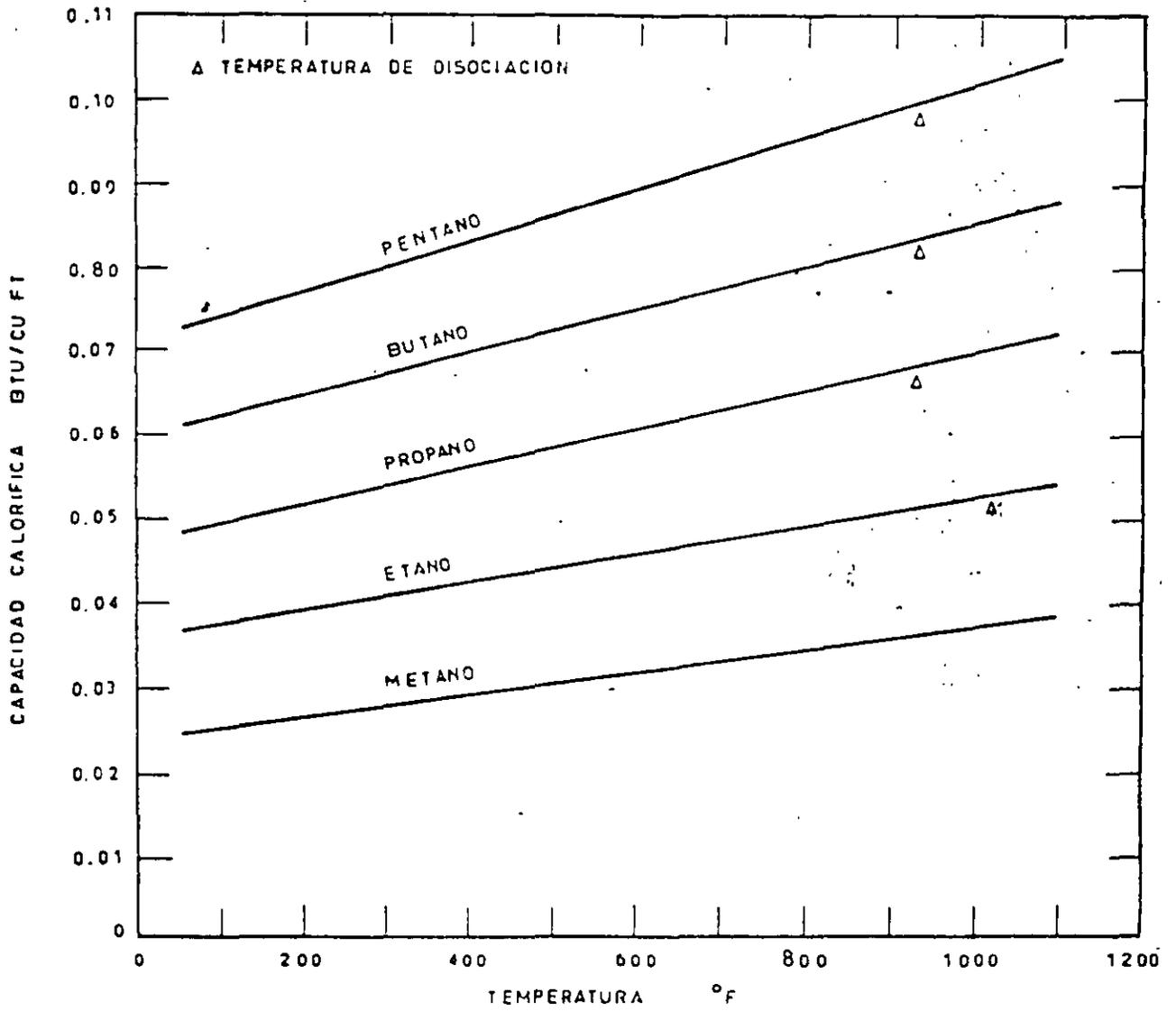


Figura 4.3. Calor específico de gases combustibles.

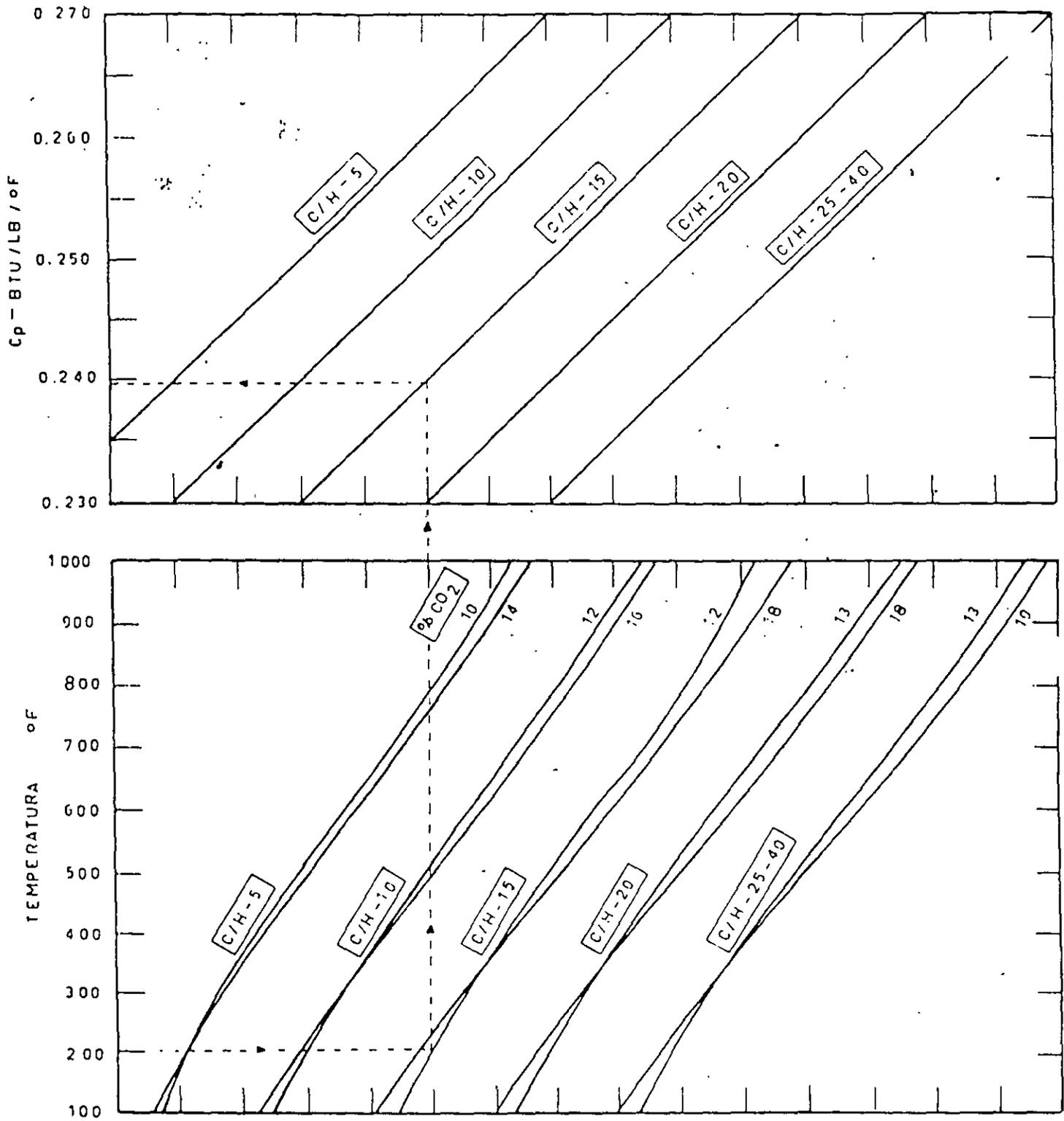


Figura 4.4. Calor específico de gases secos de combustión, para relaciones carbono-hidrógeno (combustible) de 5 a 40.

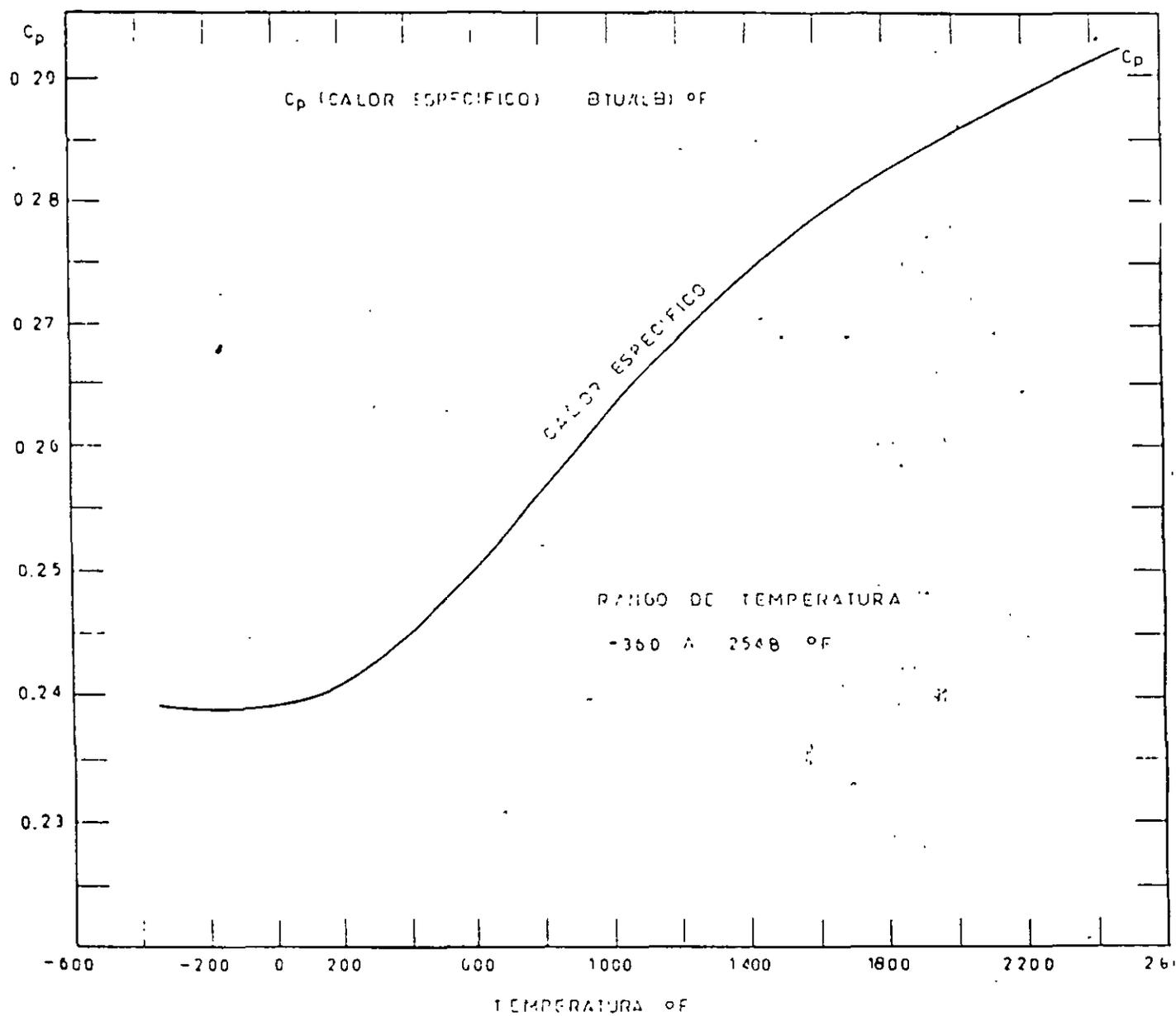


Figura 4.5. Calor específico del aire.

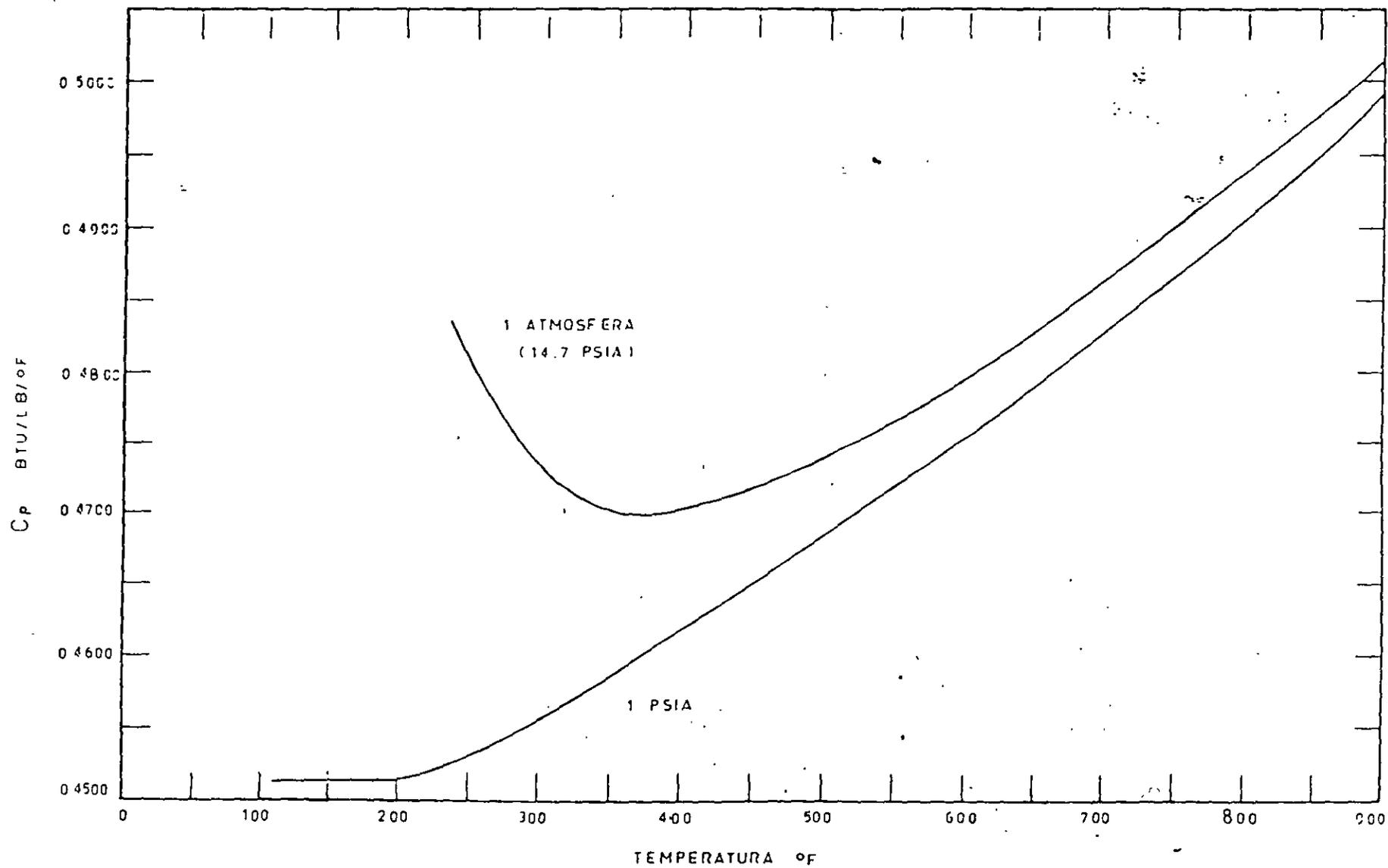


Figura 4.6. Calor específico del vapor de agua.

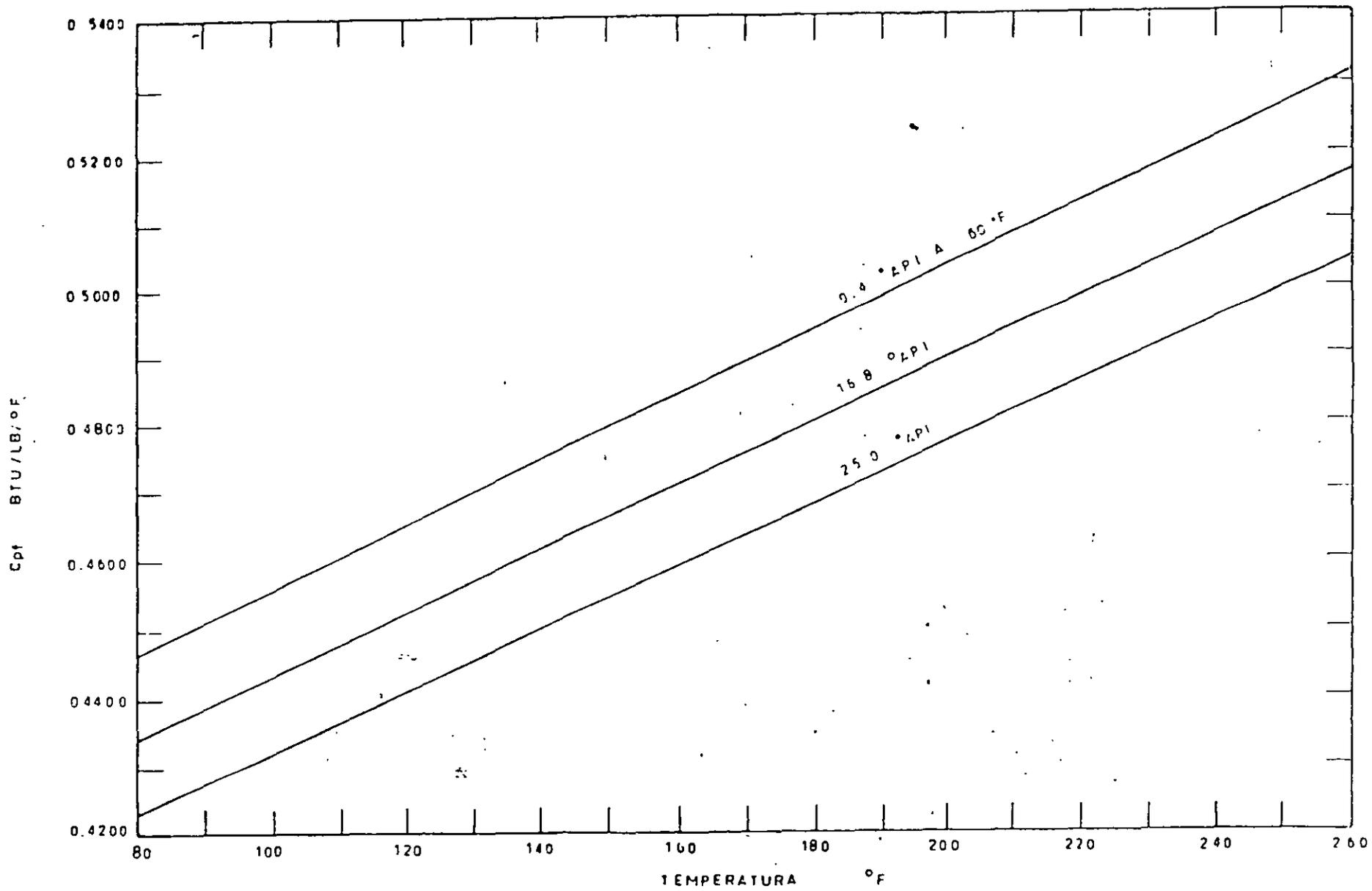


Figura 4.7. Calor específico del combustóleo a 1 atm.

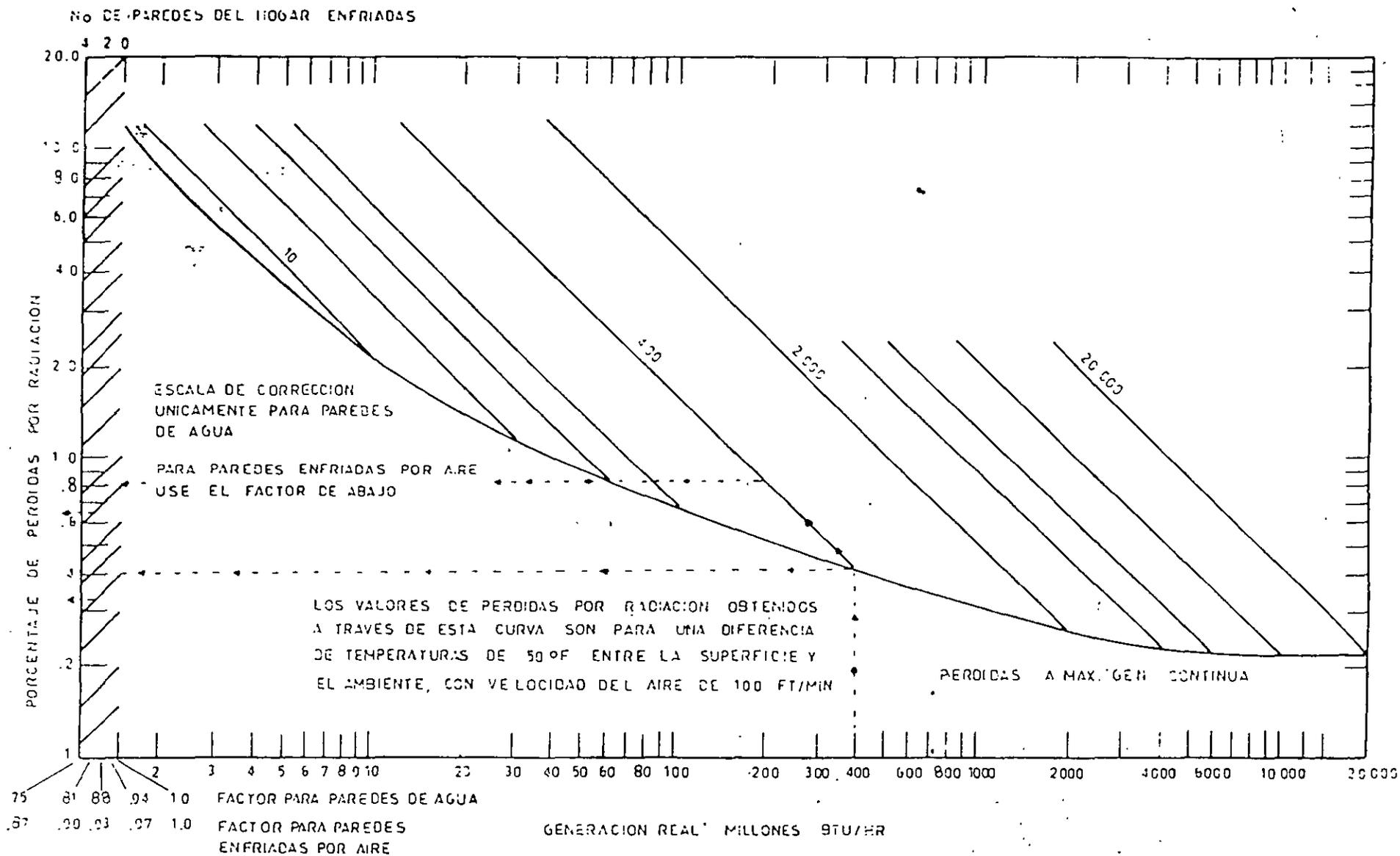


Figura 4.8. Grafica de pérdidas por radiación.

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 Proposito 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	$C_{Pm,D}$	1.884 kJ/kg K
Calor específico del aire entre 25 y 150 °C	$C_{Pm,L}$	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 atemperación 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: Cufas 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:

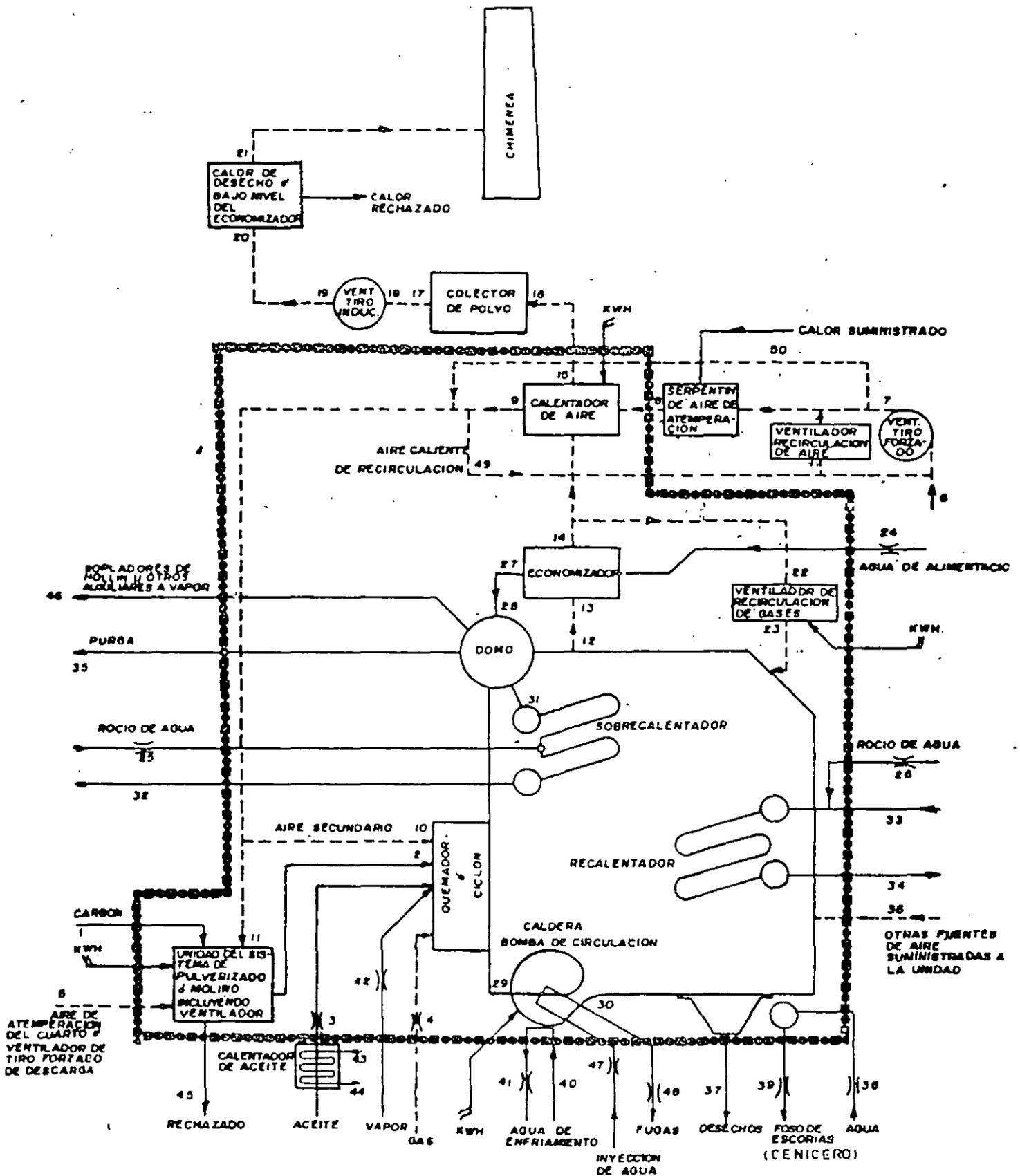


Figura 4.1. Diagrama de un Generador de Vapor según norma ASME PTC 4.1

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
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		

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 _c
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 II	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) CARBÓN
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 capitulo 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
<p>4. Variables a medir para la aplicación del método directo</p>	<p>a) Poder calorífico superior del combustible</p> <p>b) Flujo de combustible</p> <p>c) Humedad del combustible</p> <p>d) Flujo de aire para la combustión</p> <p>e) Temperatura del aire para la combustión</p> <p>f) Flujo de vapor generado</p> <p>g) Temperatura del vapor generado</p> <p>h) Presión del vapor generado</p> <p>i) Flujo del agua de alimentación</p> <p>j) Temperatura del agua de alimentación</p> <p>k) Presión del agua de alimentación.</p>	<p>a) Poder calorífico inferior del combustible.</p> <p>b) Flujo de combustible</p> <p>c) Humedad del combustible</p> <p>d) Temperatura del combustible y aire para la combustión</p> <p>e) Flujo de vapor generado</p> <p>f) Temperatura del vapor generado</p> <p>g) Presión del vapor generado</p> <p>h) Flujo del agua de alimentación</p> <p>i) Temperatura del agua de alimentación</p> <p>j) Presión del agua de alimentación</p> <p>k) Análisis de gases de combustión</p> <p>l) Presiones, temperaturas y flujos para operar auxiliares</p> <p>m) Flujos de vapor de extracción</p>

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"> a) 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 varía dependiendo del tipo de unidad desde 2 hasta 6 hrs.</p> <p>Con el método indirecto varía 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 queman 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
	m) Pérdidas por el agua de enfriamiento	f) Otras pérdidas.
9. Equipos auxiliares considerados	a) Ventilador de recirculación de gases. b) Bomba de recirculación. c) Precalentador de aire d) Pulverizador.	a) Ventilador de recirculación de gases. b) Bomba de recirculación c) Precalentador de aire. d) Pulverizador. 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: e) Ventilador de tiro forzado f) Ventilador de tiro inducido. g) Separador de polvo.
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 PTC 4.1	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%.	<p>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%.</p> <p>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.</p>

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 especfico 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	TG	271.40 316.04	F
Calor específico de gases de combustión	CPG	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) CONBUSTOLEO	(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	29213.58	1691.43	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 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 DOSE 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 .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

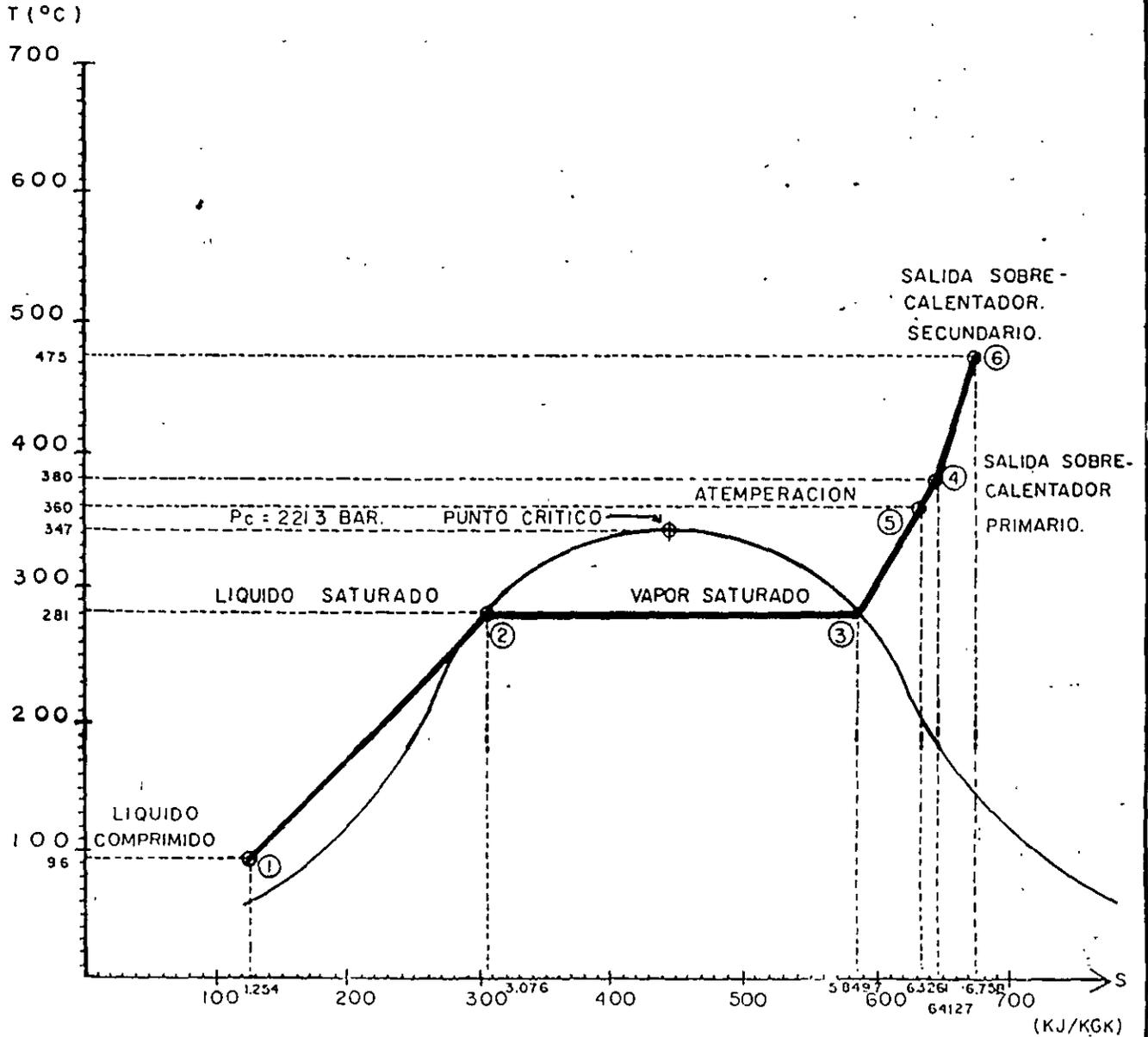
ESTE VALOR DEL CALOR TRANSMITIDO ES BASTANTE EXACTO PUES CONSIDERA EL CALOR PERDIDO AL ATEMPERAR EL VAPOR CON AGUA A 90 °C Y LAS PURGAS.

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

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

PETROLEOS MEXICANOS
REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"

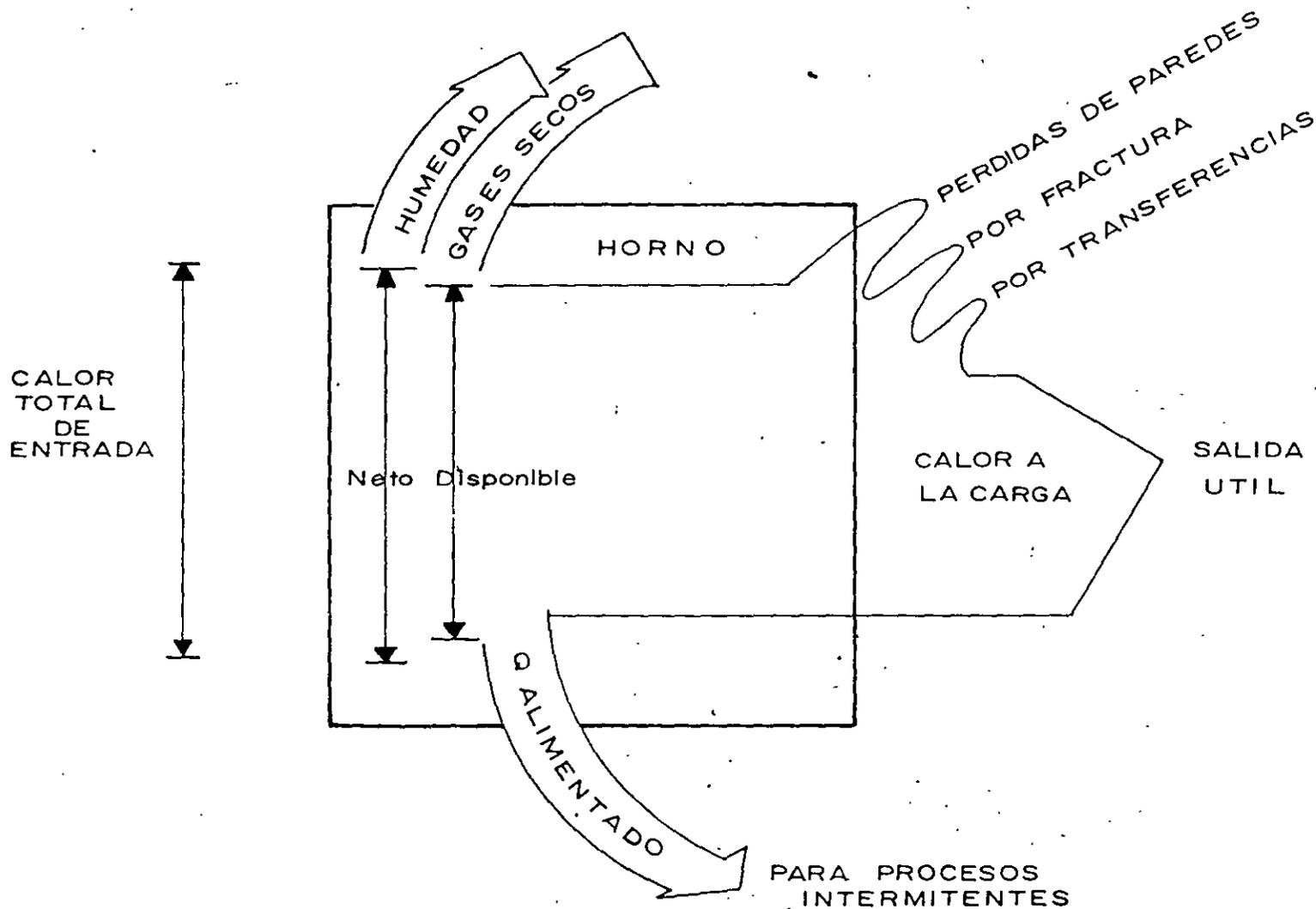
DIAGRAMA TEMPERATURA vs ENTROPIA
GENERADOR DE VAPOR



PETROLEOS MEXICANOS

REFINERÍA "MIGUEL HIDALGO"

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.

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

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

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

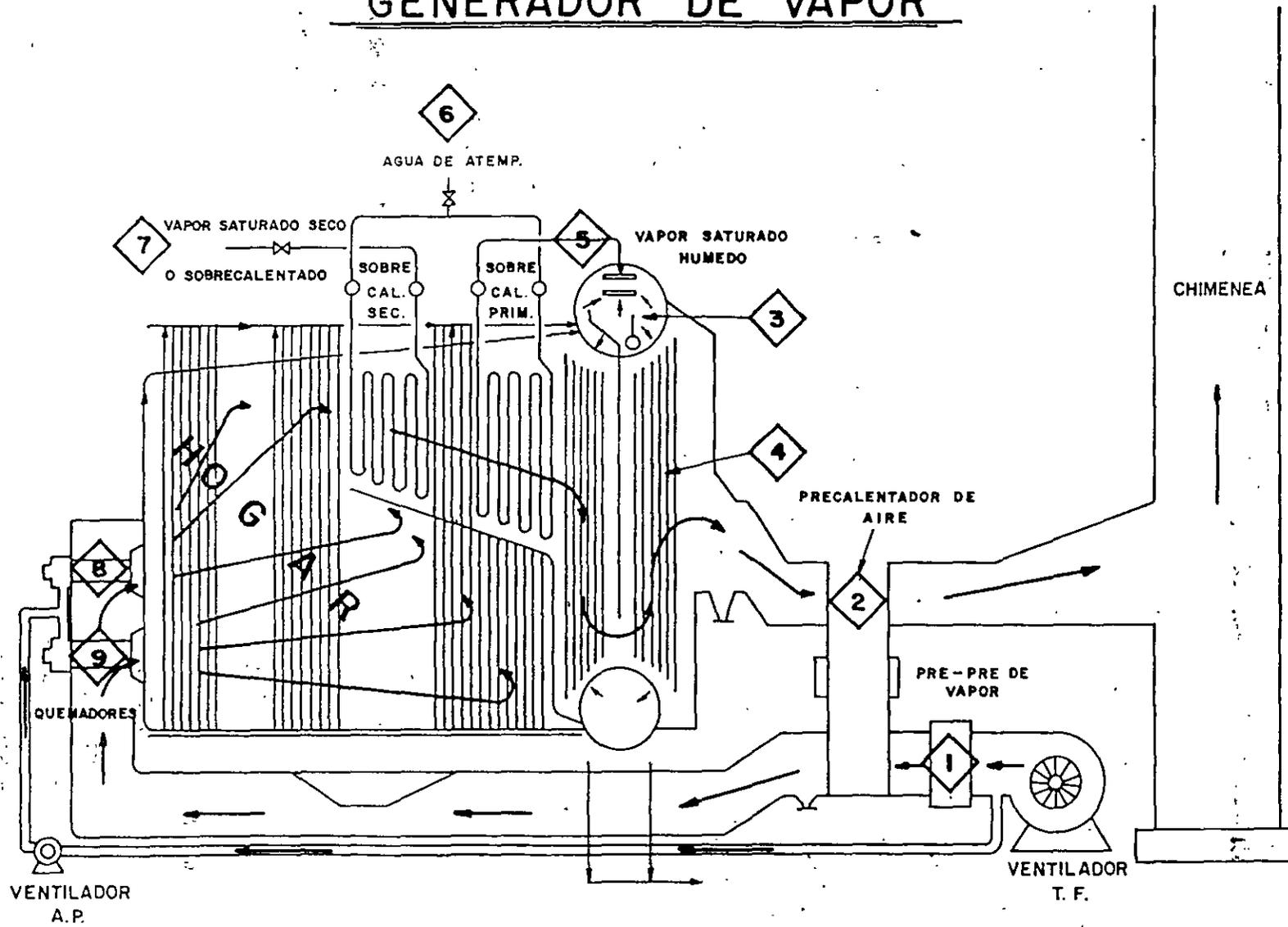
$$Q \text{ SUMIN.} = mf \times F$$

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

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

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

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 COMBUSTIBLE 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 CV

DATOS DE DISEÑO BASADOS EN EL 100% DE CARGA

CORRIENTES	DATOS DE DISEÑO			CORRIENTES	DATOS DE DISEÑO		
	OPERACION:	USO G/C	USO GAS		OPERACION:	USO GAS	USO COMB.
1.-CALENTADOR DE AIRE (PRE-PRECALENTADOR DE AIRE VS VAPOR DE BATH PRESTON)				7.-VAPOR DEL SOBRECALENTADOR SECUNDARIO			
A.-AIRE (SPLASH TIPO FORZADO)				FLUJO (KG/HR)	159958:	200000:	200000:
FLUJO (KG/HR)	183540.5:	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)		18.54:	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)	.363:	1.73/2.06:	
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	3.43:	3.44:	3.44:	TEMPERATURA A QUEMADORES (C)		15.5:	
PRESTION (BAR)		6738.6:	3738.6:	PODER CALORIFICO (KJ/MS)	45605:	37180.9:	
FLUJO (KG/HR)				RESO MOLECULAR (KG/KMOL)	16.2832:	17.39:	
2.-PRECALENTADOR DE AIRE (AIRE VS GASES DE COMBUSTION)				9.-COMBUSTIBLE			
A.-GASES DE COMBUSTION				FLUJO (KG/HR)	11452.3:		15727:
FLUJO (KG/HR)	183540.5:			TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	117:		115.6:
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	160:	132.2:	160:	PRESTION DEL QUEMADOR (BAR)	2.45:		8.82:
TEMP. SALIDA DE CALDERA (C)	334:			PODER CALORIFICO (KJ/MS)	41870.53:		42244.6:
PRESTION (BAR)	.0049:			DENSIDAD (KG/MS)	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 (MS/HR)	125784:						
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	72.2:	80:	80:				
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	273.3:	280:	271.1:	CALOR SUMINISTRADO AL VAPOR (MJ/HR)	71668.16:	582778.54:	589778.54:
PRESTION (BAR)	.025:			CALOR SUMINISTRADO POR EL HURNO (MJ/HR)	77106.69:	681553.8:	688954:
EXCESO DE AIRE (C)	11:	5:	5:				
3.-AGUA DE ALIMENTACION AL DOMO DE VAPOR				PERDIDAS DE CALOR POR:			
FLUJO (KG/HR)	151125:	196363.6:	197727.3:	GAS SECO (C)	11.46:	3.51:	4.8:
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	96:	104.4:	104.4:	GAS SECO (MJ/HR)	12.09:	23.298:	33.07:
TEMP. DE SALIDA DEL DOMO (C)	291:	275.4:	275.6:	POR COMBUSTION DE H2 (C)	37.27:	11.51:	5.67:
PRESTION DESCL. BOMBAS (BAR)	81.9:	65:	65:	POR COMBUSTION DE H2 (MJ/HR)	39.32:	78.449:	39.064:
PRESTION DOMO VAPOR	65.1:	59.69:	59.6:	POR RADIACION (C)	15.57:	.28:	.28:
4.-AGUA DE ALIM. DOMO DE AGUA + PURGA CONTINUA (KG/HR)	7229:	10000:	10000:	POR RADIACION (MJ/HR)	16.42:	1.908:	1.929:
PURGA (C)	4.25:	5:	5:	POR IMPREVISTOS (C)		.5:	.5:
5.-MISMOS DATOS PUNTO ANTERIOR				POR IMPREVISTOS (MJ/HR)		3.408:	3.440:
6.-VAPOR SOBRECALENTADOR PRIMARIO				POR HUMEDAD DEL AIRE (C)	35.68:		
FLUJO (KG/HR)	143896:	190000:	190000:	POR HUMEDAD DEL AIRE (MJ/HR)	37.64:		
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	281:	275.64:	275.66:	POR COMB SIN CONSUMIR (C)	.02:		
TEMPERATURA DE SALIDA (C)	380:			POR COMB SIN CONSUMIR (MJ/HR)	.022:		
PRESTION (BAR)	65.1:	62.03:	62.03:				
7.-AGUA DE ATEMPERACION				TOTAL DE PERDIDAS (C)	18.28:	15.8:	11.25:
FLUJO (KG/HR)	16062:			TOTAL DE PERDIDAS (MJ/HR)	105.492:	107.680:	77507.3:
TEMPERATURA DE ENTRADA (C)	30:	104.4:	104.4:				
PRESTION DESCL. BOMBAS (BAR)	83.44:	70.04:	70.04:	EFICIENCIA (C)	81.72:	84.2:	88.75:
TEMP. VAPOR ATEMPERADO (C)	360.3:	360:	360:				

EQUIPOS	SOBRECAL.	HORNO	PRECAL. AUM.	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-TORNO DE CONDENSADO: SOL. TOT. DIS. 1500 ppm; O2 10 ppm; ALCALINIDAD 300 ppm. BUCARHO EL AGUA TENGA 10000 ppm, SALIDOS EN VAPOR 1 ppm.
CANTIDAD DE CALOR INTERC. (MJ/HR)		816.28:	14253.8:		
VOLUMEN (M3)		851.66:			
LIBERACION CALOR VOL (MJ/HR/M2)					