



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DOCUMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y OPERACIÓN DE
PROCESOS DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE 225,000 LB-
VAPOR/HR EN UN INGENIO AZUCARERO (INGENIO
MAGDALENA S.A.)**

FREDY ARTURO VALLE ESTÉVEZ

Asesorado por Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, septiembre de 2003

2003 - DOCUMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y OPERACIÓN DE PROCESOS DE NA CALDERA ACUOTUBULAR DE 225,000 LB-VAPOR/HR EN UN INGENIO AZUCARERO (INGENIO MAGALENA S.A. - USAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**DOCUMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y OPERACIÓN DE
PROCESOS DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE 225,000 LB-
VAPOR/HR EN UN INGENIO AZUCARERO (INGENIO
MAGDALENA S.A.)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FREDY ARTURO VALLE ESTÉVEZ

Asesorado por Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO
DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| DECANO: | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| VOCAL I: | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL II: | Lic. Amahán Sánchez Álvarez |
| VOCAL III: | Ing. Julio David Galicia Celada |
| VOCAL IV: | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| VOCAL V: | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva |
| SECRETARIO: | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| DECANO: | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| EXAMINADOR: | Ing. José Arturo Estrada Martínez |
| EXAMINADOR: | Ing. Raymond Ludwing Taylor Cruz |
| EXAMINADOR: | Ing. Edras Feliciano Miranda Orozco |
| SECRETARIO: | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DOCUMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y OPERACIÓN DE PROCESOS DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE 225,000 LB-VAPOR/HR EN UN INGENIO AZUCARERO (INGENIO MAGDALENA S.A.)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 28 de febrero de 2003.

Fredy Arturo Valle Estévez

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado sabiduría, humildad para seguir adelante y alcanzar una de mis metas más deseadas.

En especial a mis padres, Adela del Rosario Estévez López de Valle, Oscar Armando Valle Barillas, como un justo agradecimiento por todos sus esfuerzos, sacrificios y consejos, para darme un mejor futuro.

A mi esposa, Evelyn Marisol Vásquez de Valle, por su amor, apoyo, comprensión y motivación para seguir adelante.

A mis hijos, Fredy Armando Valle Vásquez, Mauricio Alejandro Valle Vásquez por ser mi mayor motivación y por su tiempo sacrificado.

A mis hermanos, Oscar Armando Valle Estévez, Nelly Ivonne Valle Estévez, Renato Valle Estévez, que mi éxito sea un ejemplo para ellos.

A mis amigos, en general, por brindarme su apoyo y compartir mi éxito.

A la sagrada universidad de San Carlos de Guatemala

ÍNDICE GENERAL

| | |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | IV |
| LISTADO DE SÍMBOLOS | V |
| GLOSARIO | VI |
| RESUMEN | VII |
| OBJETIVOS | VIII |
| INTRODUCCIÓN | IX |

| | |
|--|----------|
| 1. ASPECTOS TEÓRICOS A CONSIDERAR | 1 |
| 1.1 Propiedades térmicas del agua | 1 |
| 1.2 Propiedades térmicas del bagazo | 4 |
| 1.2.1 La caña de azúcar = BIOMASA | 4 |
| 1.2.1.1 Poder calorífico del bagazo | 5 |
| 1.3 Principios de la combustión | 7 |
| 1.3.1 Tipos de combustión | 7 |
| 1.3.1.1 Combustión adiabática | 7 |
| 1.3.1.2 Combustión isotérmica | 8 |
| 1.3.1.3 Poder calorífico superior (pcs) | 8 |
| 1.3.1.4 Poder calorífico inferior (pci) | 8 |
| 1.3.2 Características de los combustibles | 9 |
| 1.4 Tratamientos de agua | 10 |
| 1.4.1 Desaireadores | 10 |
| 1.4.2 Tratamiento a la zeolita | 11 |
| 1.4.3 Tratamiento de osmosis inversa | 12 |
| 1.4.4 Los fines principales perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 1.5 Propiedades térmicas de vapores saturados y de la mezcla vapor y líquido | 14 |
| 1.6 Calor y trabajo | 14 |
| 1.6.1 El Vapor como Fluido termodinámica | 15 |
| 1.6.2 Ciclos de vapor de agua | 15 |
| 1.6.2.1 Ciclo de Ranking recalentado | 15 |
| 1.6.2.2 Ciclo de recalentamiento | 18 |
| 1.6.2.3 Ciclo regenerativo o de sangrado | 19 |
| 1.7 Calderas de vapor | 20 |
| 1.7.1 Combustibles disponibles para la generación de vapor | 20 |
| 1.7.2 Efecto del comestible en el diseño de la caldera | 20 |
| 1.7.3 La existencia de las calderas de vapor respecto a la época | 21 |
| 2. OPERACIONES DE PROCESOS | 23 |
| 2.1 Métodos de obtención de energía térmica | 23 |
| 2.1.1 Procedimientos de operación y proceso de la caldera de 225 lb-vapor/hr | 25 |
| 2.1.2 Generación de vapor en el departamento de Calderas | 27 |
| 2.1.3 Arranque de la caldera acuotubular que produce 225 lb-vapor/hr | 31 |
| 2.1.4 Parada de la caldera acuotubular que produce 225 lb-vapor/hr | 33 |
| 2.1.5 Mantenimiento la caldera acuotubular que produce 225 lb-vapor/hr. | 35 |
| 2.1.6 Recepción de turno de operadores de caldera de 225,000 lb-vapor/hr | 39 |
| 2.1.7 Generación de vapor en turno normal | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.8 Operación de la caldera acuotubular que produce 225,000 lb-vapor/hr | 43 |
| 2.1.9 Descripción de la caldera acuotubular y accesorios | 44 |
| 2.1.10 Componentes de la caldera | 45 |
| 2.1.11 Automatización de caldera que produce 225,000 lb-vapor/hr | 47 |
| 2.1.12 Ubicación de instrumentos de medición que se usan en la caldera que produce 225 lb-vapor/h | 49 |
| 2.1.13 Parámetros de seguridad aplicables en el entorno de la caldera | 52 |
| 2.2 Estructura organizativa y parámetros de seguridad del Ingenio Magdalena S.A., | 53 |
| 2.2.1 Estudio de riesgos | 54 |
| 2.2.2 Equipos de protección individual y colectiva de la caldera | 55 |
| 2.2.3 Regulación y controles de seguridad | 56 |
| CONCLUSIONES | 57 |
| RECOMENDACIONES | 58 |
| BIBLIOGRAFÍA | 59 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

1. Ciclo de ranking recalentado
2. Energía transformada en trabajo
3. Organigrama de distribución de puestos de la empresa

TABLAS

- I. Propiedades del agua
- II. Poder calorífico del Bagazo
- III. Relación vapor / bagazo

LISTADO DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------------|-----------------------------|
| lb-vapor/hr | Libras de vapor por hora |
| H₂O | Agua |
| °C | Grados centígrados |
| °F | Grados fahrenheit |
| amp. | Amperios |
| V. | Voltios |
| hp. | Caballos de potencia |
| rpm. | Revoluciones por minuto |
| psi. | Libras por pulgada cuadrada |
| N/A | No aplica |

GLOSARIO

Economizador de agua

Tubería en forma de serpentín que por medio de los gases de escape eleva la temperatura del agua antes de entrar a la caldera

Precaalentador de aire

Tubería en forma de serpentín que por medio de los gases de escape eleva la temperatura del aire antes de entrar a la caldera

Superheater

Tubería en forma de serpentín que por medio de la temperatura del hogar de la caldera convierte el vapor saturado a vapor sobre calentado

Masas

Son ejes cilíndricos dentados utilizados para la extracción del jugo de la caña

RESUMEN

En el Ingenio Magdalena S.A, no se contaba con la documentación de procedimientos y operación de procesos de las calderas que funcionan en el ingenio; en este se trata específicamente de la caldera que produce 225,00 lb-vapor/hr que es numerada como la caldera 7.

En tal sentido los operadores de la caldera 7 debían de operar la caldera basándose a la experiencia, pero cuando entraba un operador nuevo debía hacer horas extras con otros operadores para poder aprender a operar la caldera 7. Por tal motivo la gerencia decidió que debían de establecer procedimientos de operación y procesos y que estos debían de estar perfectamente documentados.

El presente trabajo de graduación trata acerca de la documentación de los procedimientos y operación de procesos de la caldera acuotubular que produce 225,000 lb-vapor/hr.

La documentación de los procedimientos y operación de procesos de la caldera son muy importantes ya que con ellos se puede establecer parámetros reales y eficientes de trabajo y esta documentación también sirve para instruir a personal de nuevo y antiguo ingreso, esta documentación tiene información de cómo operar, reparar, arrancar y parar la caldera 7 al mismo tiempo que describe cada equipo y accesorios de la caldera así como su ubicación y el funcionamiento de los mismos. En el trabajo de graduación también se encuentran la nomenclatura y términos desempeñados en el ámbito del departamento de calderas al igual que conceptos básicos y fundamentales que se deben de saber.

OBJETIVOS

- **Generales**

Documentar los procedimientos y operaciones de procesos en la caldera de 225,000 lb-vapor/hr marca Babcox & Wilcox en el Ingenio Magdalena S.A.

- **Específicos**

1. Elaborar estándares de operación basándose en los procedimientos y operación de procesos de la caldera.
2. Conocer el funcionamiento y la operación de la caldera.
3. Proporcionar información necesaria de la operación y funcionamiento de una caldera acuotubular.

INTRODUCCIÓN

La documentación de los procedimientos de operación de procesos sirve para optimizar y estandarizar la operación de la caldera, al documentar estos procedimientos y operación de procesos, se logra establecer los parámetros reales, eficaces y eficientes de operación de la caldera y su operación correcta y segura.

El siguiente trabajo consta de la documentación de cada procedimiento y operación de procesos de la caldera acuotubular de 225,00 lb-vapor/hr que se encuentra instalada en el ingenio Magdalena S.A., se encuentra descrito la forma adecuada y los pasos correctos para el arranque de la caldera, que hay que hacer para poder sacar de línea correctamente la caldera, cuál es la secuencia y forma de dar un mantenimiento correctivo, preventivo, adecuado y correcto a la caldera, indica los accesorios y equipos que utiliza esta, al mismo tiempo que su ubicación y funcionamiento.

1. ASPECTOS TEÓRICOS A CONSIDERAR

1.1 Propiedades térmicas del agua

El agua (H₂O) está presente en la atmósfera en sus tres estados básicos: vapor de agua, líquido y hielo, El agua hierve a baja temperatura de 0 a 100 °C, el 75 % de nuestro cuerpo es H₂O. Considerada "fríamente" como una combinación de los elementos químicos Hidrógeno (H) y Oxígeno (O),

Tabla I. Propiedades del agua

| HIDRURO | "PESO" MOLECULAR | PUNTO DE FUSIÓN | PUNTO DE EBULLICIÓN |
|------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| H ₂ O | 18 | 0° C | 100° C |

Cada molécula de la sustancia agua está formada por dos átomos de Hidrógeno, que son los más pequeños que se encuentran en la naturaleza, y uno de Oxígeno. Lo que diferencia a los átomos de cada elemento es la cantidad de neutrones, protones y electrones que poseen. Y lo que nos importa en cuanto a las uniones químicas, son los electrones externos.

En el átomo de Hidrógeno hay un solo electrón, y el de Oxígeno posee 8, de los cuales 6 son externos. Esto se representa así (diagrama de Lewis):



- La temperatura y la presión atmosférica determinan los diferentes estados del agua. Así, a una temperatura de 0°C se produce la congelación y el agua se convierte en hielo. En cambio, a una temperatura de 100°C , el líquido se transforma en vapor, este proceso se llama ebullición.

- La superficie del agua tiene una posición horizontal.

- El agua posee una tensión superficial producida por la fuerte unión entre moléculas. Ejemplo de la tensión superficial: Si tiras una aguja engrasada al agua, ésta no tendrá suficiente peso como para romper la tensión de las moléculas en la superficie del agua, por eso la aguja flotará.

- El agua es el medio donde se disuelven casi todas las sustancias y se producen muchas reacciones químicas.

- Dependiendo de la temperatura y la presión, el agua cambia muy fácilmente de un estado al otro. Puede aparecer como un líquido que fluye, o un gas que sube por la atmósfera o un sólido quieto guardado en el refrigerador.

1.2 Propiedades térmicas del bagazo

1.2.1 La caña de azúcar = BIOMASA

Por cada cien ton. Caña que llega a la fábrica se deja en el campo alrededor de cuarenta ton. de biomasa, de las cien ton. de caña se obtienen alrededor de 28 ton de bagazo, por cada ton. de bagazo se puede producir entre 2,0 y 2,3 ton. de vapor, la producción de energía eléctrica y potencia mecánica a partir del vapor, depende exclusivamente de la eficiencia de las turbo máquinas.

Existen proyectos en curso para generación de energía eléctrica a partir de la biomasa disponible en el campo.

Existen estudios tendientes a la gasificación de la biomasa para obtención de energía, son una realidad los Ingenios Cogeneradores que han convertido la energía eléctrica en un subproducto de la caña de azúcar, esto a partir del bagazo.

1.2.1.1 Poder calorífico del bagazo

Es indispensable saber que entre las propiedades del bagazo la más importante es el poder calorífico de este o sea la cantidad de calor que puede producir, veamos un poco de esto

Tabla II. Poder calorífico del bagazo

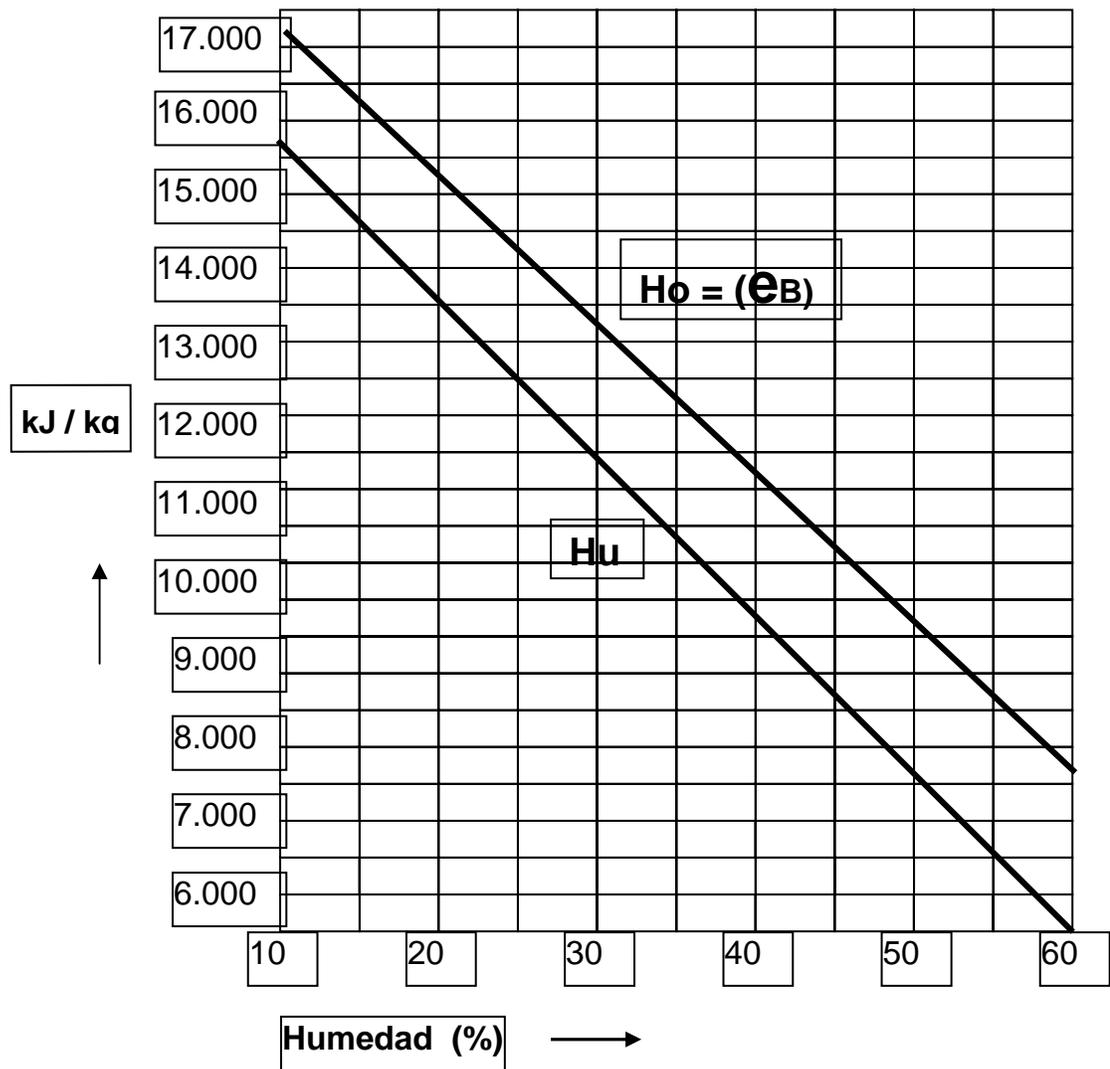
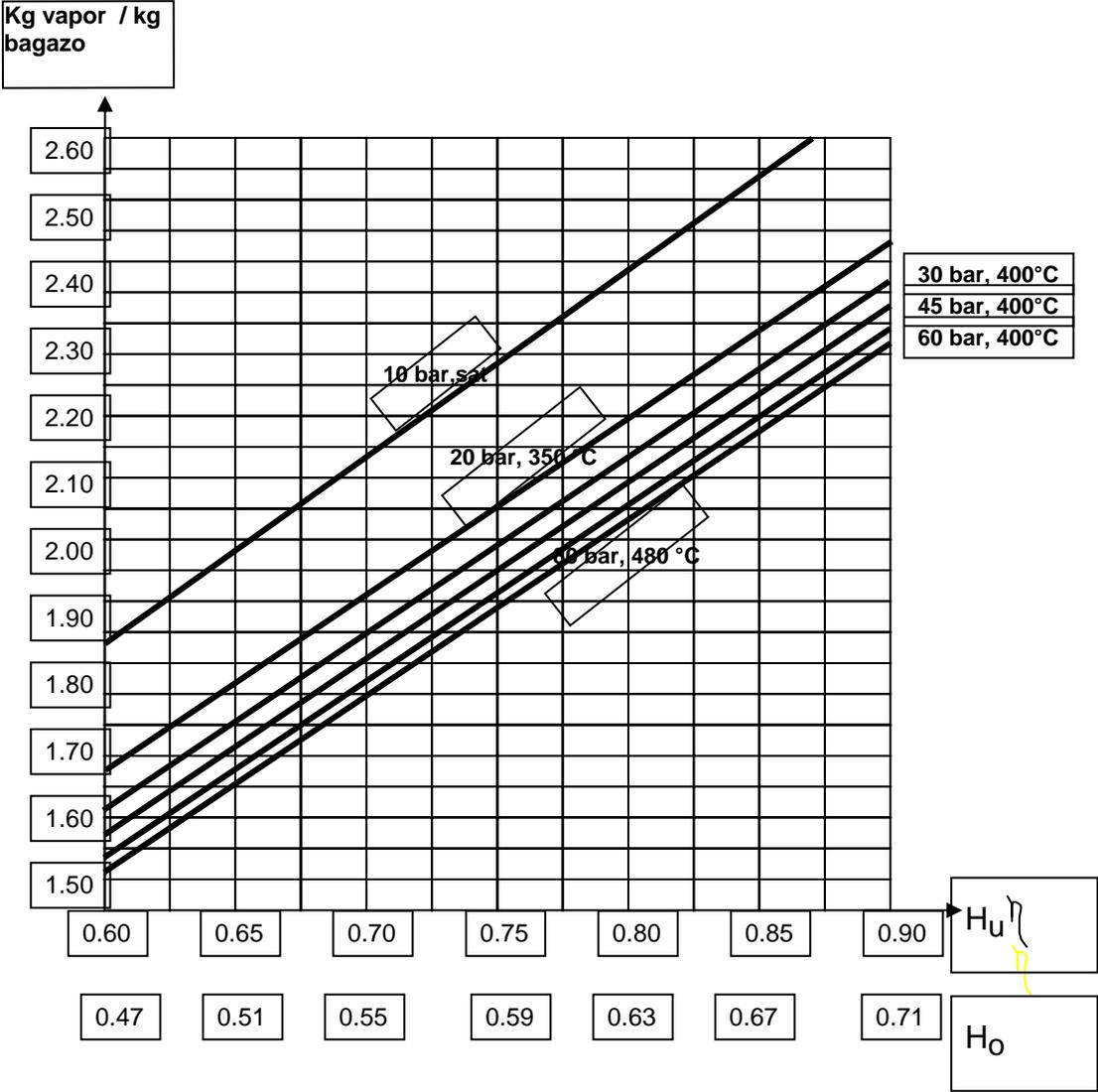


Tabla III. Relación vapor / bagazo



1.3 Principios de la combustión

La combustión es un proceso unitario donde se realiza la oxidación del Carbono, el Hidrógeno y el Azufre de una sustancia a través de la reacción directa con el oxígeno y con un notable desprendimiento de calor.

Cuando la oxidación es completa, se produce con la combustión el Máximo rendimiento energético y los productos finales no son Susceptibles de nueva combustión se producen:

CO_2 , H_2O , SO_2 y calor

Cuando la combustión es incompleta, saldrá bagacillo no quemado y CO por otra parte, perdiéndose un porcentaje del calor disponible

1.3.1 Tipos de combustión

1.3.1.1 Combustión adiabática

La energía desprendida en la combustión no sale del sistema y se destinará exclusivamente a elevar la temperatura de los productos de combustión. Con el exceso de oxígeno se obtiene una menor temperatura final del vapor, Al usar aire en vez de oxígeno puro tenemos una distribución molar así:

79 Mol N_2 / 21 Mol O_2

La temperatura final disminuye por la “Dilución” de nitrógeno que “roba calor”.

Si hay combustión incompleta o si parte del combustible no se quema no se consiguen iguales temperaturas.

Los combustibles más comunes producen temperaturas de llama entre 1,850 °C y 2,100 °C

1.3.1.2 Combustión isotérmica

Es una concepción hipotética en la cual todo el calor liberado por la reacción se va removiendo inmediatamente sin incremento en la temperatura.

1.3.1.3 Poder calorífico superior (pcs)

Se obtiene cuando el agua se condensa y básicamente se determinará por la composición del Hidrógeno del combustible inicial y las temperaturas finales de los humos.

1.3.1.4 Poder calorífico inferior (pci)

Es el que se usa puesto que por la corrosión, los humos no se dejarán bajar del punto de rocío y el agua escapa gaseosa por las chimeneas

Si el porcentaje de Azufre del combustible utilizado es apreciable, se puede tener una severa corrosión sulfúrica al bajar la temperatura al punto de rocío, en este caso se puede tener rocío ácido

La diferencia entre el pc_s y el pc_i en el Hidrógeno es:

$$pc_s = 2h_2o \ 61.000 \text{ btu/lb.}$$

$$\text{El } pc_i = 2h_2o \ 52.002 \text{ btu/lb.}$$

Para comparar los resultados del cálculo de la eficiencia de los procesos de combustión se debe tener en cuenta si se está haciendo basándose en el hhv o al lhv

1.3.2 Características de los combustibles

Gaseosos: (Peso gaseoso, composición química, contenido inertes, poder calorífico, inflamabilidad, velocidad de propagación de la llama, contenido de azufre, humedad) entre estos tenemos: gas natural, propano, crudo de castilla,.

Líquidos: (Densidad, viscosidad, punto de inflamación, punto de burbuja desprendimiento de volátiles, poder calorífico, contenido de agua libre, composición química, contenido de metales, vanadio y otros, contenido Azufre), velocidad de propagación de la llama, entre estos tenemos: *fuel oil* No. 6, *acpm* – *fuel oil* No. 2, kerosén- *fuel oil* No 1.

Sólidos: Forma física, densidad, contenido de humedad, composición de volátiles, composición química, poder calorífico, límites de explosividad, tiempo de combustión, contenido de cenizas, contenido de azufre, entre estos tenemos: cascarilla de arroz, bagazo de caña (Biomasa), carbón, aserrín, basuras.

1.4 Tratamientos de agua

El agua de lluvia al caer puede absorber oxígeno, CO₂, nitrógeno, polvo y otras impurezas contenidas en el aire, y también disolver sustancias minerales de la tierra. Esta contaminación puede acrecentarse además con ácidos procedentes de la descomposición de materias orgánicas, residuos industriales y aguas sépticas descargadas en lagos y ríos. Entre los tratamientos de agua podemos encontrar

1.4.1 Desaireadores

Se conocen como desaireadores (desgasificadores) aquellos dispositivos mecánicos empleados para liberar los gases contenidos en el agua de alimentación (aire, oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases).

Su funcionamiento consiste en dividir el agua de alimentación en finas gotitas, calentándolas a continuación para transformarlas en vapor dentro del desaireador, y separar el aire, anhídrido carbónico y otros gases del vapor a medida que este se va condensando. En los desaireadores el fluido calorífico acostumbra a ser el vapor, a presiones comprendidas entre valores altos, hasta otros inferiores a la presión atmosférica.

1.4.2 Tratamiento a la zeolita

Se conocen por zeolitas a los silicatos de sodio y aluminio, bien sean naturales o artificiales; su fórmula general es:



Esta sustancia tiene propiedad de absorber el calcio y magnesio de las aguas que atraviesan, debido a que sus bases son permutables. De esta manera, en el proceso del ablandamiento o rectificación, el sodio de la zeolita pasa a la solución en forma de carbonato, sulfato o cloruro, debido a que el calcio y magnesio del agua son absorbidos por zeolita.

El tratamiento con zeolita produce aguas con contenidos muy bajos de calcio y magnesio. Cuando la zeolita se vuelva inerte se regenera mediante un lavado con salmuera (solución NaCl) para restituir el sodio por intercambio

Las zeolitas naturales (arenas verdes) están indicadas para tratar agua fría exenta de ácidos y se utilizan con éxito en ciertos casos, pero en muchos otros han sido desplazados por productos resinosos artificiales especiales (también denominados zeolitas) fabricados para el rectificado de aguas. Estos productos pueden soportar altas temperaturas, ácidos y álcalis, y en determinadas condiciones pueden cambiar los aniones y cationes de las impurezas contenidas en el agua. En cualquier caso el agua que atraviesa el lecho de zeolita debe estar libre de detritus, lodo, cieno y precipitados finamente divididos, los cuales recubren y tapan las partículas de los materiales empleados para la rectificación, haciéndolos menos eficientes.

1.4.3 Tratamiento de osmosis inversa

La osmosis es un proceso natural que ocurre en todas las células vivas. Esta permite la vida de todos los seres tanto animales como vegetales, al inducir que el agua fluya por difusión desde zonas donde se encuentra relativamente pura, con baja concentración de sales, a zonas donde se encuentra con alta concentración a través de una membrana semipermeable. El resultado final es la extracción de agua pura del medio ambiente.

Una membrana semipermeable es cualquier membrana animal, vegetal o sintética en que el agua puede penetrar y traspasar con mucha facilidad que los otros componentes que se encuentran en solución en ella.

La osmosis inversa es un proceso inventado por el hombre que invierte el fenómeno natural de osmosis. El objetivo de la osmosis inversa es obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua que está relativamente impura o salada. Esto se logra separar de este caudal de agua contaminada con sales, un caudal menor de agua pura. En este proceso se aplica presión a la solución que tiene más alta concentración de sales para forzar un caudal inverso a través de la membrana semipermeable.

1.4.4 Los fines principales perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación

1. - Quitar las materias solubles y en suspensión
2. - Eliminación de los gases

Todo esto es necesario, entre otras cosas para:

1. Evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies de calentamiento del agua.
- 2 Proteger contra la corrosión los metales de las calderas, recuperadores y tuberías.
3. Tratamiento de Agua para la alimentación de la caldera que produce 225,000 lb-vapor/hr.

El agua de lluvia al caer puede absorber oxígeno, CO₂, nitrógeno, polvo y otras impurezas contenidas en el aire, y también disolver sustancias minerales de la tierra. Esta contaminación puede acrecentarse además con ácidos procedentes de la descomposición de materias orgánicas, residuos industriales y aguas sépticas descargadas en lagos y ríos.

El tanque se llena con agua de poso y recibe un tratamiento químico a base de sulfatos, cloruros y sedimentador de lodos, para que las condiciones de esta sean aceptables para el uso en la caldera.

Nota: Por condiciones de seguridad hacia el ingenio no se describirá las proporciones de los aditivos que hacen que el agua sea apta para la caldera

Propiedades térmicas de vapores saturados y de la mezcla vapor y líquido

La necesidad de los fluidos condensables en general y de los vapores en particular, para su utilización industrial, tanto en procesos de calentamiento como de refrigeración, hace aconsejable su estudio termodinámico. Si mencionamos los principios termodinámicos diríamos que, termodinámica es la ciencia que estudia la conservación de la energía y las reglas que gobiernan las diferentes transformaciones.

1.6 Calor y trabajo

Un sistema termodinámico es una cantidad de materia capaz de experimentar cambios físicos como son: sufrir expansión; cambiar su temperatura.

El proceso es el que define como ocurren estos cambios.

El ciclo es un arreglo lógico, secuencial de varios procesos, este ciclo tiene la característica de ser capaz de mantener una permanente Transformación de energía $CALOR = TRABAJO$.

Las pérdidas del sistema termodinámico; es todo lo que está por fuera del sistema.

El calor es una forma de energía la cual se transfiere de un cuerpo a otro en virtud de las diferencias de temperatura, es un fenómeno transitorio, el calor es energía almacenada y el trabajo es el producto de una fuerza por una distancia.

1.6.1 El Vapor como fluido termodinámico

El uso de vapor como fluido termodinámico se justifica por gran variedad de propiedades, en particular:

- Es abundante y barato de producir
- Transporta gran cantidad de energía por unidad de masa debido al cambio de fase. En efecto, el calor latente de cambio de fase es del orden de 2.500 [kJ/kg].

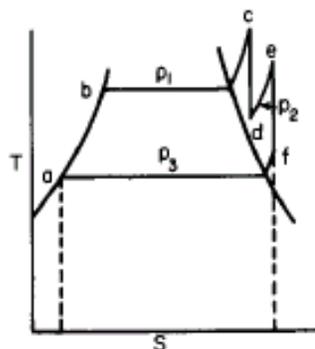
1.6.2 Ciclos de vapor de agua

Los ciclos de vapor se puede dividir entre ciclos de vapor abiertos y ciclos de vapor cerrados.

1.6.2.1 Ciclo de Rankine recalentado

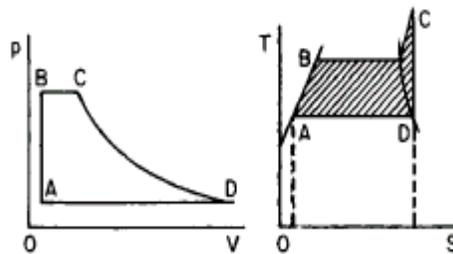
El ciclo de Rankine ideal es generalmente empleado por ingenieros como una norma de referencia para comparar la actuación de artefactos de vapor reales y turbinas de vapor.

Figura 1. Ciclo de Rankine recalentado



En el diagrama T-S y del p-V. AB representa el calentamiento del agua en la caldera, BC representa evaporación (y sobre calentamiento si hay cualquiera), CD es la expansión isentrópica supuesta en el cilindro de la maquina, y DA la condensación en el condensador.

Figura 2. Energía transformada en trabajo



Si h_a , h_b , h_c y h_d representan la entalpía por unidad de masa del vapor en los cuatro estados A, B, C, y D, respectivamente. Entonces la energía transformada en trabajo, representado por el área ABCD, es

$$h_c = h_d \text{ (entalpías en Btu/lbm)}$$

La energía que se gasta en el fluido es $h_c - h_a$, por tanto la eficiencia del ciclo de Ranking es

$$E_t = (h_c - h_d) / (h_c - h_a).$$

El consumo de vapor de la maquina ideal de Ranking en libras por caballo de potencia-hora es

$$N_r = 2,544 / (h_c - h_d).$$

Expresado en libras por Kilowatt-hora, el consumo de vapor del ciclo ideal de Rankine es:

$$3,412.7/(h_c - h_d).$$

El rendimiento de una máquina frecuentemente se declara en términos del calor usado por caballo de potencia-hora. Para la máquina ideal de Rankine, esto es:

$$Q_r = 2,544/e_t = 2,544(h_c - h_a) / (h_c - h_d)$$

La eficiencia de la máquina real está dada por Q el calor que se transforma en el trabajo por la libra de vapor en la máquina real entonces si Q_1 es el calor que aporta la caldera por libra de vapor, la eficacia térmica de la máquina es

$$e_t = Q/Q_1.$$

La eficiencia así definida de esta manera es engañosa, ya que no se toma en cuenta las condiciones de la caldera y la presión en el condensador ni el sobrecalentamiento ni la calidad de vapor. Es por consiguiente de costumbre definir la eficiencia como la razón Q/Q_a , donde Q_a es el calor disponible, o el calor que podría transformarse bajo las condiciones ideales. Para las máquinas de vapor y turbinas, el ciclo de Rankine normalmente se toma como el ideal, y la cantidad.

$$Q/Q_a = Q / (h_c - h_d)$$

Se llama la eficiencia de la máquina. Para las calderas y turbinas, la eficiencia va de 0.50 a 0.85. La eficiencia de la máquina que también puede ser expresado en los términos de vapor consumidos; así, si N_a es el consumo de vapor de la máquina real y N_r el consumo de vapor de la máquina de Rankine ideal bajo las condiciones similares, entonces:

$$e_t = N_r / N_a.$$

1.6.2.2 Ciclo de recalentamiento

Supóngase que se recalienta el vapor a la presión constante p_2 , tras la expansión desde p_1 hasta una presión intermedia p_2 , como indicó por de. Entonces sigue la expansión isentrópica a la presión p_3 , que se representa por e_f . La energía absorbida por 1 lb. de vapor de agua es $(h_c - h_a)$ de la caldera, y $(h_e - h_d)$ del recalentamiento. El trabajo realizado, si se desprecia la energía necesaria para que funcione la bomba de alimentación de la caldera, es:

$$(h_c - h_d + h_e - h_f).$$

Por tanto la eficiencia del ciclo es:

$$e_t = \frac{h_c - h_d + h_e - h_f}{h_c - h_a + h_e - h_d}$$

1.6.2.3 Ciclo regenerativo o de sangrado

El vapor se extrae de la turbina en uno o más etapas, y se emplea para calentar el agua de alimentación. La figura 2, se muestran un diagrama del sangrado, en una etapa, a la turbina entra $1 + w$ lb de vapor a una p_1 , t_1 , y entalpía de h_1 . En el punto del sangrado entra en el calentador del agua alimentación w lb a p_2 , t_2 y h_2 . La libra restante pasa por la turbina y el condensador, y entra al calentador de agua de alimentación en forma de agua a la temperatura t_3 , sea t_1 La temperatura del agua que sale del calentador y h_1 La entalpía correspondiente del líquido. Entonces la ecuación para el intercambio de calor en el el calentador es:

$$W (h_2 - h_1) = h_1 - h_3$$

El trabajo efectuado por el vapor sangrado es $w (h_1 - h_2)$ y que realiza 1 lb de vapor al pasar completamente a través de la turbina es $h_1 - h_3$. El trabajo total es:

$$W_t = w(h_1 - h_2) + (h_1 - h_3)$$

si el trabajo a las bombas es abandonado. El calor suministrado entre el calentador del agua de alimentación y la turbina es $(1 + w) (h_1 - h_1)$. por tanto la eficiencia del ciclo es:

$$\eta_t = \frac{w(h_1 - h_2) + (h_1 - h_3)}{(1 + w) (h_1 - h_1)}$$

1.7 Calderas de vapor

1.7.1 Combustibles disponibles para la generación de vapor

Una variedad grande de materiales y fuentes de calor puede usarse para la generación de vapor.

En la ausencia de otras consideraciones, se diseñan calderas para usar el combustible más barato o combinaciones de combustibles disponible, estos incluyen gas natural, petróleo residual, y carbón. Algún sólido típico los combustibles son: antracita, carbón bituminoso y carbón mineral, coque desmenuzado coque fluido del petróleo (4 a 5 % volátil), lignito, coque de petróleo (9 a 14 % volátil; con combustible auxiliar), madera, bagazo y otros desechos agrícolas.

Por lo general, se favorecen las fuentes de combustible más cercanas a la planta.

1.7.2 Efecto del combustible en el diseño de la caldera

El combustible es el factor gobernante en el diseño de la caldera, el gas natural limpio, conduce al diseño más sencillo. Si es el único combustible, la caldera puede ser relativamente pequeña y compacta. Cuando tiene que utilizarse combustibles líquidos y sólidos las calderas serán más grandes debido a la necesidad de proporcionar el volumen del horno requerido para la combustión y para acomodar ceniza y escoria.

También, a menos que el combustible sea bajo en volumen de azufre, los productos de combustión contribuirán a la contaminación del aire y debe reducirse a niveles aceptados. Los equipos para este propósito pueden ser

grandes y caros. Algunos fabricantes ofrecen la combustión en lecho fluidificado en la que se emplea una mezcla de carbón fino y caliza para entrapar la mayoría del Azufre.

1.7.3 La existencia de las calderas de vapor respecto a la época

Generación de energía primaria = VAPOR:

Calderas de primera generación - 120 a 150 psi (8.27 a 10.34 bar)

Después de la 2a. Guerra mundial -350 a 550 psi (24.1 a 37.9 bar)

Turbos y turbinas en molinos.

Hacia el año 1970 calderas de - 750 a 900 psi (51.7 a 62.0 bar)

Tecnología actual - 1000 a 1200 psi (68.9 a 82.7 bar)

Turbos multietapa con extracciones y condensación.

El manejo de los condensados es crítico.

2. OPERACIONES DE PROCESOS

2.1 Métodos de obtención de energía térmica

El método de obtención de energía en el ingenio Magdalena, es por medio de la generación de vapor en las calderas.

En el ingenio Magdalena, se encuentran instaladas 7 calderas de tipo acuotubulares. Estas son de diferentes rangos de producción de vapor que van desde 80,000 lb-vapor/hr hasta 300,000 lb-vapor/hr.

Estas calderas son alimentadas con bagazo que es un derivado de la caña de azúcar, este derivado de la caña se logra de la siguiente manera:

Primero la caña es cortada en el campo, luego es alzada y acomodada en los camiones que la transportan hasta el ingenio, es pesada en la bascula para llevar un control de la cantidad de toneladas de caña que se muelen, luego pasa a lo que llamamos preparación de caña, la caña pasa por un prelavado que sirve para quitar la basura y tierra que trae, si no se hace la tierra y basura que trae la caña ahogarían las calderas y estas no podrían producir al máximo, luego son descargadas en las mesas de caña por medio de un malacate (virador de caña), en las mesas la caña pasa por un nivelador que acomoda un buen colchón de caña para su mejor conducción, luego la caña es partida en pedazos más pequeño por medio de una troceadota de machetes fijos, luego es botada a un conductor subterráneo, vuelve a acomodarse el colchón por otro nivelador, en este mismo conductor pasa por una picadora que hace mas pequeño los pedacitos de caña, el ultimo paso de la preparación de caña, es la

desfibradora que convierte estos pedacitos en fibra de caña, todo esto es para mejorar la extracción del jugo en los molinos que es el siguiente paso.

Esta caña desfibrada pasa por un tandem de molinos, que esta conformado por 5 molinos, cada uno de estos esta conformado por cuatro masas que hacen posible la extracción del jugo de la caña, después de los molinos ya sale el bagazo de caña, que es el que alimenta las calderas para que estas mantenga su producción de calor dentro del hogar, así se eleva la temperatura del agua que pasa por el banco de tubos de la caldera, y esta luego se convierte en vapor, y ese vapor sirva para generar energía mecánica.

2.1.1 Procedimientos de operación y proceso de la caldera de 225 lb-vapor/hr

Los procedimientos de operación y procesos es la base sólida de una buena operación de cualquier equipo o maquinaria.

Los procedimientos de Operación y procesos deben ser elaborados bajo una norma fundamental que de las directrices y pasos a seguir para una buena documentación.

Cada procedimiento de Operación y procesos debe estar conformado de la siguiente forma

- 1. Objetivo**
- 2. Alcance**
- 3. Responsabilidad**
- 4. Vocabulario**
- 5. Desarrollo**
- 6. Documentos Relacionados**
- 7. Anexos**

Nota: cuando es un levantamiento de procedimientos de operación y proceso que actúa como un instructivo de operación o como una guía para los operadores de cualquier maquinaria el objetivo no aplica y se pondrá en el N/A, por condiciones de derecho algunos datos que son estrictamente de seguridad del Ingenio no serán descritos explícitamente.

Se debe de tener un documento que encierre todo lo concerniente de un departamento y que su información conlleve a los demás instructivo de operario comenzaremos de esta manera.

2.1.2 Generación de vapor en el departamento de calderas

1. Objetivo

Este procedimiento describe las actividades necesarias para la operación de generación de vapor en el departamento de Calderas en el Ingenio Magdalena, S.A.

2. Alcance

Desde la salida del bagazo de los molinos hasta la entrega del vapor a fabrica, Tandems, turbogenerador, e hidrolizador.

3. Responsabilidad

La responsabilidad de todas las actividades descritas en este procedimiento recae en el Jefe de Calderas quien debe velar de que se cumplan de una manera eficaz.

4. Vocabulario

- **Alimentadores de bagazo**

Equipo que proporciona la cantidad necesaria de bagazo para la combustión

- **Caldera**

Equipo donde se genera la cantidad y calidad de vapor necesaria para realizar el proceso

- **Turbogenerador**

Maquinaria que utiliza la energía calorífica del vapor y la transforma en energía mecánica por medio de una turbina, la que por medio de un generador es transformada en energía eléctrica

- **Hidrolizador**

Equipo transmisor de calor que por medio de vapor rompe las fibras del bagazo y lo cual hace que el mismo sea mejor retenido por el ganado vacuno

- **Tandems:** conjunto de molinos por medio de los cuales se ejecuta la extracción del jugo de caña

5. Desarrollo

| |
|--|
| Pasos para la generación de vapor |
| *Recepción de turno por parte de los operadores de área (Op. Calderas, Aux. Calderas, aguateros) ver en instructivo IN4-A210-001 |
| * Luego de recibir, el personal sigue generando vapor según instructivo IN4-A-210-002 |
| *Cuando se haga mantenimiento preventivo o se tenga que parar la generación de vapor, seguir instructivos IN4-A-210-003(caldera # 3), IN4-A-210-004(caldera # 4), IN4-A-210-005(caldera # 6), IN4-A-210-006(caldera # 7), IN4-A-210-007(caldera # 8), IN4-A-210-008(caldera # 5 con bagazo), IN4-A-210-009(caldera # 5 con búnker) |
| *Para el arranque de la generación de vapor después del mantenimiento preventivo o en el arranque del Ingenio Magdalena, S.A., seguir instructivos IN4-A-210-010 (caldera # 3), IN4-A-210-011 (caldera # 4), IN4-A-210-012 (caldera # 6), IN4-A-210-013 (caldera # 7), IN4-A-210-014 (caldera # 8), IN4-A-210-015 (caldera # 5 con bagazo), IN4-A-210-016 (caldera # 5 con búnker) |
| *Para arrancar la alimentación de bagazo ver instructivo IN4-A-210-017 y para parar la alimentación de bagazo ver instructivo IN4-A-210-018 |

6. Documentos relacionados

Procedimiento molienda PR4-A-120-001

Procedimiento fabricación de azúcar PR4-A-180-001

Procedimiento generación energía eléctrica PR4-A-220-001

Procedimiento Norma fundamental PR9-A-650-001

7. Anexos

- Anexo C lista de modificaciones
- Anexo D lista de distribución
- Anexo E listado de divulgación

- Anexo C lista de modificaciones

| Número pagina | Número de emisión | Fecha de modificación | Descripción de la modificación |
|---------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

- Anexo D lista de distribución

| Número | Cargo | Firma | No. Copia Controlada |
|--------|-------|-------|----------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |

- Anexo E listado de divulgación

| Número | Cargo | Fecha | Firma |
|--------|-------|-------|-------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |

2.1.3 Arranque de la caldera acuotubular que produce 225 lb-vapor/hr

1. Objetivo

N/A

2. Alcance

Desde la salida del bagazo de los molinos hasta la entrega del vapor a fábrica, tandem B, Turbos generadores.

3. Responsabilidad

La responsabilidad de todas las actividades descritas en este procedimiento recae en el Auxiliar de Calderas quien debe velar sobre el cumplimiento de una manera adecuada.

4. Vocabulario

- **Alimentadores de bagazo**

Equipo que proporciona la cantidad necesaria de bagazo para la combustión

- **Caldera**

Equipo donde se genera la cantidad y calidad de vapor necesaria para realizar el proceso

- **Over fire**

Equipo que proporciona el aire requerido para la esparción del bagazo dentro del hogar de la caldera

- **Tiro forzado**

Equipo que proporciona el aire necesario para la combustión

- **Tiro inducido**

Equipo necesario para la extracción de gases de combustión de la caldera hacia las chimeneas

- **Relación Tiro Inducido y Forzado**

Presión del interior del domo de la caldera, normalmente negativa, siendo mantenida por la acción de la succión de la chimenea (tiro inducido), que equilibran la alimentación de aire de combustión proveniente de un tiro forzado

5. Desarrollo

Esta serie de pasos es efectuada por el operador de calderas

| PASO PARA ARRANCAR CALDERA 7 |
|--|
| * Arrancar conductores de bagazo. |
| * Retornar bagazo a calderas. |
| * Pasar a modo manual la caldera. |
| * Arrancar inducidos desde sistema a velocidad mínima. |
| * Arrancar <i>Over fire</i> . |
| * Arrancar alimentadores de bagazo a velocidad mínima. |
| * Arrancar forzado. |
| * Cuando caldera 7 tenga 250 psi avisar a Turbos que se abrirá válvula general. |
| * Debe pasa 1.5 horas para llevar caldera hasta 600 psi. |
| * Cuando turbo de 20 y de 10 Mw. estén en línea, pasar automático el sistema de caldera 7. |

6. Documentos Relacionados

procedimiento de generación de vapor: PR4-A-210-001

7. Anexos

N/A

2.1.4 Parada de la caldera acuotubular que produce 225 lb-vapor/hr

1. Objetivo

N/A

2. Alcance

Desde la salida del bagazo de los molinos hasta la entrega del vapor a fábrica, tandem B, turbos generadores.

3. Responsabilidad

La responsabilidad de todas las actividades descritas en este procedimiento recae en el Aux. De Calderas quien debe velar de que se cumplan de una manera eficaz.

4. Vocabulario

- **Alimentadores de bagazo**

Equipo que proporciona la cantidad necesaria de bagazo para la combustión

- **Caldera**

Equipo donde se genera la cantidad y calidad de vapor necesaria para realizar el proceso

- **Over fire**

Equipo que proporciona el aire requerido para la esparción del bagazo dentro del hogar de la caldera

- **Tiro forzado**

Equipo que proporciona el aire necesario para la combustión

- **Tiro inducido**

Equipo necesario para la extracción de gases de combustión de la caldera hacia las chimeneas

- **Relación tiro inducido y forzado**

Presión del interior del domo de la caldera, normalmente negativa, siendo mantenida por la acción de la succión de la chimenea (tiro inducido), que equilibran la alimentación de aire de combustión proveniente de un tiro forzado

5. Desarrollo

Esta serie de pasos es efectuada por el operador de calderas

| PASOS PARA SACAR DE LINEA CALDERA 7 |
|--|
| * Pasar a modo manual la caldera |
| * Parar alimentadores de bagazo |
| * Parar Over fire |
| * Parar forzado |
| * Parar inducido |
| * Pedir confirmación de turbos para poder cerrar válvula general |
| * Cerrar válvula general |
| * Abrir venteos |
| * Mantener el nivel de agua a $\frac{3}{4}$ |
| * Informar a auxiliar de maquinaria |

6. Documentos relacionados

Procedimiento de generación de vapor: PR4-A-210-001

7. Anexos

N/A

2.1.5 Mantenimiento la caldera acuotubular que produce 225 lb-vapor/hr

1. Objetivo

N/A

2. Alcance

Desde el inicio del periodo de mantenimiento hasta el inicio de zafra

3. Responsabilidad

La responsabilidad de todas las actividades descritas en este instructivo recae en el Jefe de calderas quien debe velar de que se cumplan de una manera eficaz.

4. Vocabulario

- **Prueba hidrostática**

Prueba que consiste en presurizar la caldera hasta 110% la presión de trabajo manteniéndola por 30 minutos.

- **Expandar**

Acción de expandir por medios mecánicos las puntas dentro de los espejos de los domos para fijar la tubería.

- **Válvula principal**

Se refiere a la válvula general de salida de vapor de la caldera.

- **Domos**

Receptáculo de presión al cual van conectados la mayoría de tubos del banco de convección.

5. DESARROLLO

| |
|---|
| Reparación y mantenimiento de caldera 7 |
| Limpieza general |
| Prueba hidrostática número 1 |
| Revisar tubería |
| Expandar y/o cambiar tubería |
| Prueba hidrostática número 2 |
| Revisar tubería |
| Reparación de válvulas |
| Válvula principal |
| Válvula de seguridad |
| Válvula de alimentación de agua |
| Válvula de economizador |
| Válvula de purga de fondo |
| Válvula de purga continua |
| Válvula de venteo |
| Válvula de purga de cabezales |
| Válvula de bombas de alimentación |
| Reparación de soplador de hollín |
| Reparación de dampers del inducido |
| Reparación de dampers de forzado |
| Reparación de niveles de domos |

Continuación

| Reparación y mantenimiento de caldera 7 |
|---|
| Revisión de domo superior (filtros de vapor) |
| Reparación de precalentadores de aire |
| Reparación de economizador |
| Reparación de destroit stoker |
| Reparación de alimentadores de bagazo |
| Reparación unidad hidráulica |
| Reparación de chutes alimentadores |
| Reparación de rodos alimentadores |
| Revisión y cambio de lamina de forro |
| Revisión y /o reparación de refractario |
| Revisión de ventilador de tiro inducido |
| Reparación rotor |
| Revisión de reductor |
| Revisión de chumaceras |
| Reparación de envolventes y ductos |
| Chequeo de acoplamientos |
| Balanceo |
| Reparación de ventilador de tiro forzado |
| Reparación rotor |
| Revisión de reductor |

Continuación

| |
|---|
| Reparación y mantenimiento de caldera 7 |
| Revisión de chumaceras |
| Reparación de envolventes y ductos |
| Chequeo de acoplamientos |
| Balanceo |
| Reparación de over fire |
| Reparación rotor |
| Reparación de envolventes y ductos |
| Chequeo de acoplamientos |
| Balanceo |
| Prueba hidrostática final |
| Calentamiento |
| Prueba de vapor y calibración de válvulas |

6. Documento relacionado

Reparación de Calderas PRM4-A-210-001

8. Anexos

N/A

2.1.6 Recepción de turno de operadores de caldera de 225,000 lb-vapor/hr

1. Objetivo

N/A

2. Alcance

Desde la recepción de turno hasta comenzar la generación normal de vapor.

3. Responsabilidad

La responsabilidad de todas las actividades descritas en este procedimiento recae en el Auxiliar de Calderas quien debe velar de que se cumplan de una manera eficaz.

4. Vocabulario

- **Alimentadores de bagazo**

Equipo que proporciona la cantidad necesaria de bagazo para la combustión

- **Caldera**

Equipo donde se genera la cantidad y calidad de vapor necesaria para realizar el proceso

- **Over fire**

Equipo que proporciona el aire requerido para la esparción del bagazo dentro del hogar de la caldera

- **Tiro forzado**

Equipo que proporciona el aire necesario para la combustión

- **Tiro inducido:**

Equipo necesario para la extracción de gases de combustión de la caldera hacia las chimeneas

- **Relación tiro inducido y forzado:**

Presión del interior del domo de la caldera, normalmente negativa, siendo mantenida por la acción de la succión de la chimenea (tiro inducido), que equilibran la alimentación de aire de combustión proveniente de un tiro forzado

5. Desarrollo

| Pasos para la recepción de turno de los operadores de calderas |
|---|
| *El operador de caldera revisa la pantalla de la computadora para ver el sistema de trabajo del turno anterior. Revisa la bitácora RE4-A-210-001(purgas, limpieza y trabajos pendientes de las calderas) |
| *El operador de calderas y su auxiliar revisan físicamente toda la caldera (tiros inducidos y forzados, dampers, over fire, alimentadores de bagazo, enfriamientos de chumaceras, reductores y bombas de alimentación de agua). |
| *El mecánico de turno pregunta al turno anterior sobre cualquier novedad o algún trabajo pendiente |
| *El mecánico de calderas revisa conductores de tablillas y fajas transportadoras de bagazo |
| . *El ayudante de calderista (aguatero) pregunta al turno anterior sobre alguna novedad y luego se dedica a mantener el nivel de agua adecuado para que la caldera funcione a entera satisfacción. |

6. Documentos relacionados

Procedimiento de generación de vapor: PR4-A-210-001

7. Anexos

N/A

2.1.7 Generación de vapor en turno normal

1. Objetivo

N/A

2. Alcance:

Desde la salida del bagazo de los molinos hasta la entrega del vapor a fábrica, Tandems, turbo generador e hidrolizador.

3. Responsabilidad

La responsabilidad de todas las actividades descritas en este procedimiento recae en el Aux. De Calderas quien debe velar de que se cumplan de una manera eficaz.

4. Vocabulario

- **Alimentadores de bagazo**

Equipo que proporciona la cantidad necesaria de bagazo para la combustión

- **Caldera**

Equipo donde se genera la cantidad y calidad de vapor necesaria para realizar el proceso

- **Over fire**

Equipo que proporciona el aire requerido para la esparción del bagazo dentro del hogar de la caldera

- **Tiro forzado**

Equipo que proporciona el aire necesario para la combustión

- **Tiro inducido**

Equipo necesario para la extracción de gases de combustión de la caldera hacia las chimeneas

- **Relación Tiro Inducido y Forzado**

Presión del interior del horno de la caldera, normalmente negativa, siendo mantenida por la acción de la succión de la chimenea (tiro inducido), que equilibran la alimentación de aire de combustión proveniente de un tiro forzado

5. Desarrollo

| Pasos para la generación de vapor en turno normal |
|---|
| *El operador de calderas controla la generación de vapor por medio de un sistema automatizado (presión de vapor, niveles de agua, mantiene la producción de vapor necesaria para satisfacer las necesidades de consumo |
| *El mecánico de calderas revisa conductores de tablillas y fajas transportadoras de bagazo, temperaturas de chumaceras de los ejes motrices de los conductores |
| *El andante de calderista (aguatero) se dedica a mantener el nivel de agua adecuado para que la caldera funcione satisfactoriamente |

6. Documentos relacionados

Procedimiento de Generación de Vapor: PR4-A-210-001

7. Anexos

N/A

2.1.8 Operación de la caldera acuotubular que produce 225,000

lb- vapor/hr

Una caldera es un recipiente hermético donde se produce un cambio de estado del agua que pasa del estado líquido a vapor de agua, esto es por la transmisión de calor generada por la combustión, es generada por la materia prima de alta inflamabilidad que es el bagazo en combinación de oxígeno y calor.

El funcionamiento de la caldera es muy sencillo, la caldera tiene un ventilador de tiro forzado, este introduce aire de la atmósfera, entra a temperatura ambiente, es calentado por los gases de escape, esto sirve para elevar la temperatura del aire, y mejorar la eficiencia, el aire es introducido a la caldera para formar la combustión, parte de ese aire es tomado por los ventiladores de *Over fire*, y estos lo introducen a la caldera debajo de los alimentadores de bagazo, para mantener esparcido el bagazo para que se quemara y no se acumule en forma de volcán, los gases generados de esta combustión son extraídos de la caldera hacia la atmósfera, por medio del ventilador de tiro inducido, para la generación de vapor en la caldera se necesita pasar el agua de estado líquido a vapor de agua, para esto necesitamos tener agua en la caldera, la forma de hacerlo es:

El agua de caldera se encuentra primero en estado líquido en un tanque de reserva de agua, esta es tratada para que sea apropiada, y así evitar incrustaciones en la tubería de agua, es llevada de este tanque a dos tanques elevados, de ahí es trasladada a la caldera por medio de bomba, primero entra a un precalentador de agua, que es calentado por los gases de escape antes de salir a la atmósfera, esto eleva la temperatura del agua para que esta no entre fría, ya que si fuera así, tendríamos el problema que la caldera estuviera bajando su temperatura de trabajo y nos ocasionaría pérdidas de calor.

Luego entra al domo inferior de la caldera, esta pasa por la tubería de fuego, se le llama así porque esta del lado del fuego de la caldera, es aquí donde empieza el cambio de estado del agua, empieza a convertirle en vapor, llega al domo superior donde ya es vapor sobrecalentado, aun lleva partículas de agua que son depositados en una parte del domo superior, el vapor sobrecalentado sale del domo superior y entra a un superheater (serpentín), que esta del lado de fuego es aquí donde el vapor sobrecalentado se convierte en vapor saturado a 750 grados °F, luego pasa a el cabezal de vapor de 600 psi y su producción de vapor se junta con la caldera 8 y caldera 6, este vapor sirve para diferentes operaciones en el proceso de la elaboración de azúcar.

2.1.9 Descripción de la caldera acuotubular y accesorios

En el ingenio Magdalena la caldera 7 es parte muy importante de la operación, ya que su generación de vapor es elevada y la eficiencia con la que trabaja es alta, en este capítulo observaremos el funcionamiento, cada componente y accesorios de esta. Como cualquier maquina generadora de energía esta necesita de una mezcla de aire combustible en este caso combustible utilizado es bagazo de caña. El funcionamiento es sencillo, pero debe ser eficiente e eficaz, explicaremos primero cada componente y su funcionamiento para entender cual es su funcionamiento en la caldera,

2.1.10 Componentes de la caldera

- La caldera consta de dos ventiladores de tiro inducido, estos son de aspas, movidos por motores de 350 hp que trabajan con una alimentación de energía eléctrica de 480 V. y con un amperaje de 366 amp. rotan a 1736 rpm, son controlados por variadores de velocidad de capacidad de 400 hp, el trabajo de estos ventiladores de tiro inducido, es succionar los gases de escape de la caldera producidos por la combustión, hacia la atmósfera, la succión de estos gases es controlada por dos dampers de accionamiento neumático.
- La caldera también consta de un ventilador de tiro forzado, este es de aspas, movido por un motor de 200 hp, trabaja con una alimentación de energía eléctrica de 480 V. y con un amperaje de 238 amp. rota a 1780 rpm, es regulado por un variador de velocidad de capacidad de 250 hp, el trabajo de este ventilador de tiro forzado, es introducir a la caldera aire del ambiente para la combustión, la entrada del aire es regulada por un damper de accionamiento neumático.
- Esta caldera consta con dos ventiladores over fire, estos son de aspas, movidos por motores de 60 hp, que trabajan con una alimentación de energía eléctrica de 480 V. y con un amperaje de 72 amp. rotan a 1760 rpm, son accionados por dos arrancadores magnéticos tamaño número 3 (nema 3), el trabajo de estos ventiladores *over fire* es esparcir el bagazo que alimenta a la caldera para que este se pueda quemar correctamente, y no se acumule en forma de volcán.

- La caldera consta de un motor de 50 hp, que trabajan con una alimentación de energía eléctrica de 480 V. y con un amperaje de 62 amp. rotan a 1700 rpm y es accionado con un arrancador número 3 (nema 3) este sirve para accionar 5 alimentadores de bagazo que son los que permiten la alimentación de bagazo a la caldera.
- La caldera también consta de dos Domos de alta presión, un inferior, y un superior de donde se almacena agua en el inferior y vapor de agua en el superior, estos domos tienen capacidad de trabajar a 900 lb de presión.
- Esta compuesta por una bomba de alimentación de agua que trabaja a 600 psi, esta bomba trabaja con un motor de 600 hp, alimentado con 4160 V. Este gira a 3570 rpm, con 72.5 amp, esta bomba tiene un sistema de lubricación, accionado por una bomba de lubricación con un motor 1 hp, que trabaja con 1.4 amp. A 1740 rpm, y es alimentado con 480 V. es accionado con un arrancador número 1 (nema 1).
- Esta compuesta por una bomba de alimentación de agua que trabaja a 600 psi, esta bomba trabaja con una turbina de vapor a 600 psi esta bomba trabaja con un sistema de lubricación compuesto de dos bombitas de lubricación un lubrica la turbina es movida por un motor de 1 hp, trabaja con 1.4 amp, es alimentado con 480 V. A 1740 rpm, sistema de lubricación accionado por una bombita de lubricación con un motor 1 hp, que trabaja con 1.4 amp, a 1740 rpm, y es alimentado con 480 V., y la bombita de lubricación de la bomba de agua que trabaja con un motor de 3 hp, y a 4.1 amp, y es alimentado con 480 V, y trabaja a 1725 rpm.

- También esta compuesta por un superheater o serpentín sirve para pasar el vapor sobrecalentado a vapor saturado que eleva la temperatura del vapor.
- Tiene un banco de tubos donde el agua por medio de la transmisión de calor se convierte en vapor de agua.
- La caldera tiene 5 sopladores de hollín él número 1,3 son idénticos estos son accionados por un motor de 6 hp, trabaja con 3.5 amp, y a 850 rpm, es alimentado con 480 V. son accionados con arrancador número 1 (nema 1), él número 2, 4 y 5 son idénticos trabajan con un motor de 1.5 hp, a 2.2 amp, a 1730 rpm y es alimentado con 480 V, es accionados con arrancador número 1 (nema 1).

2.1.11 Automatización de caldera que produce 225,000 lb-vapor/hr

La automatización de la caldera es una parte muy importante, ya que con ella se logra tener un control muy exacto de la operación de la caldera, todas las mediciones y parámetros, sirven para establecer rangos adecuados de trabajo de la caldera, por eso expondremos los diferentes tipos de instrumentos de medición que se utiliza en la caldera, y algunos otros,

Todas las válvulas automáticas son accionadas con aire comprimido, esta red de aire de la caldera es de 1" de diámetro la presión de aire utilizada es de 100 psi esta red se alimenta de la red general de la fabrica que es tubería de 2", tiene una la misma presión de trabajo, se explicara también los parámetros de trabajo de estos instrumentos.

Entre los instrumentos de medición tenemos:

Transmisores de nivel: estos instrumentos son esencialmente para medir niveles en el caso de una caldera se utilizan dos transmisores de nivel uno de alto nivel y uno de bajo nivel,

Transmisores de presión: son instrumentos de medición de presión ya sea de presión de agua, vapor, aire estos transmisores tienen un rango de trabajo por lo cual hay que saber el rango de la presión con la cual se trabajara para instalar un medidor de presión adecuado estos son transmisores inteligente.

Transmisores de flujo: son instrumentos de medición estos son transmisores inteligentes caudales o flujos ya sea de vapor, agua o aire

Válvulas de control: este es un instrumento de control que se utiliza en diferentes sistemas de medición que son amarrados al transmisor y al control, esto es para hacer un lazo de control simple se utiliza en los controles de nivel de domo de la caldera.

Lever motor: es un instrumento que se utiliza en los dampers de la caldera sirve para dar la posición al damper de entrada de aire del ventilador ya se del forzado o del inducido u over fire.

Transmisores de temperatura: este es un instrumento de medición de temperatura y se puede usar en líneas de vapor de agua, masas o cualquier medición de temperatura que se quiera hacer además son transmisores inteligentes.

2.1.12 Ubicación de instrumentos de medición que se usan en la caldera que produce 225 lb-vapor/h

Transmisor de nivel del domo de la caldera

Se encuentra ubicado en la parte izquierda del domo de la caldera haciendo la medición como tomas de señal una de alta y una de baja con una tubería de ½" de alta presión cédula 80 con dos válvulas en las salidas del domo y estas se conectan al transmisor para poder hacer la medición de nivel del domo de la caldera.

Transmisor de presión vapor

Para poder hacer una medición de presión se le soldó una válvula de ½" en salida de presión del domo y después se le hace una instalación con tubería de ½" hacia el transmisor lo recomendable en este tipo de instalaciones es dejar una válvula de purga para poder hacerle limpieza a la instalación este se encuentra instalado en la salida del vapor por el superheater de la caldera.

Transmisor de presión hogar

Este sirve para hacer la medición del hogar de la caldera y se encuentra ubicado a un costado de la caldera en la parte superior izquierda para hacer la toma de señas para este transmisor se usa un tubo de 2", se incrusta en la pared de la caldera hacia adentro y después se le hace la instalación hacia el transmisor

Transmisor de flujo de agua

Este se encuentra ubicado en la tubería de agua que alimenta la caldera por medio de una placa de orificio con una toma de alta y una de baja, esta instalación esta hecha con tubería de 1/2" con válvulas de alta presión además lleva un distribuidor para poder anular el transmisor a la hora que se le de mantenimiento al transmisor o hacer una recalibración o un ajuste de cero

Transmisor de flujo de vapor

Este se encuentra ubicado en la tubería de vapor que alimenta la caldera por medio de una placa de orificio con una toma de alta y una de baja esta instalación esta hecha con tubería de 1/2" con válvulas de alta presión además lleva un distribuidor para poder anular el transmisor a la hora que se le de mantenimiento al transmisor o hacer una recalibración o un ajuste de cero.

Válvula control agua

Esta se encuentra en la tubería de agua que alimenta al domo de la caldera y se encuentra ubicada en la parte de lado derecho de la caldera

Lever motor tiro inducido

Este se encuentra ubicado en la parte de atrás de la caldera y está amarrado con el damper del ducto de salida de la chimenea.

Lever motor tiro forzado

Este se encuentra ubicado en la parte de atrás de la caldera y está amarrado con el damper y sirve para meter aire a la parrilla poder quemar el bagazo.

Cilindro alimentador de bagazo

Este se encuentra donde están los alimentadores de bagazo y funciona con un motor eléctrico y un sistema hidráulico que por medio de un búster de 1 a 4 miliamperios funciona con una entrada de 100 psi y con una señal de 3 a 15 psi para dar una salida de 0 a 60 psi y esto hace darle carrera a los alimentadores de bagazo.

2.1.13 Parámetros de seguridad aplicables en el entorno de la caldera

El riesgo principal de los aparatos a presión es la liberación brusca de presión. Para poder ser utilizados debe reunir una serie de características técnicas y de seguridad.

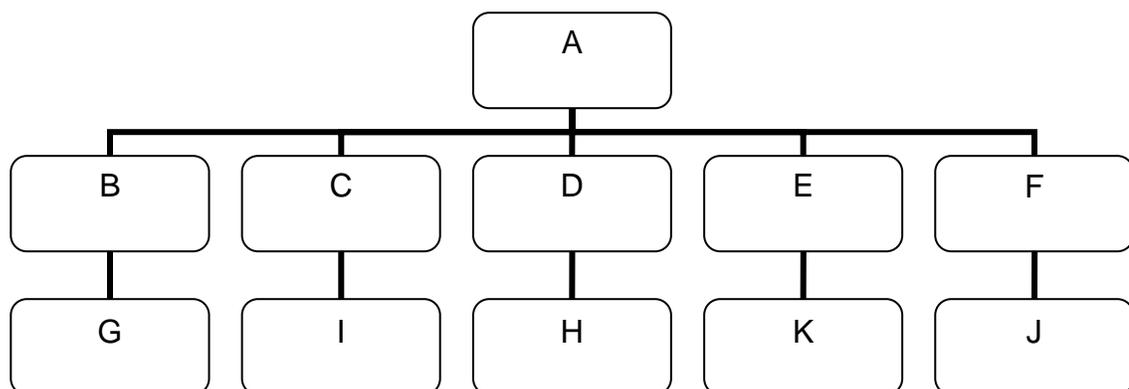
Los operadores encargados de vigilar, supervisar, conducir y mantener los aparatos a presión, deben estar adecuadamente instruidos en el manejo de los equipos y ser conscientes de los riesgos que puede ocasionar una falsa maniobra o un mal mantenimiento.

2.2 Estructura organizativa y parámetros de seguridad del Ingenio

Magdalena S.A.,

| | |
|------------------------------|---|
| 1 Superintendente | A |
| 1 Jefe Fábrica | B |
| 1 Jefe Maquinaria | C |
| 1 Jefe Cogeneración | D |
| 1 Jefe Instrumentación | E |
| 1 Jefe Calderas | F |
| 3 Auxiliares Fábrica | G |
| 3 Auxiliares Cogeneración | H |
| 3 Auxiliares Maquinaria | I |
| 1 Auxiliares Calderas | J |
| 2 Auxiliares Instrumentación | K |

Figura 3. Organigrama distribución de puestos de la empresa



2.2.1 Estudio de riesgos

El personal responsable del servicio de calderas, debe atender las siguientes instrucciones.

- Justificar su conocimiento de las prescripciones reglamentarias.
- La instalación de la caldera debe conservarse limpia, estar bien iluminada y libre de cualquier objeto que no pertenezca a la misma.
- Cualquier anomalía en el funcionamiento deberá ser localizada y reparada de forma inmediata. Si el alcance de la avería no fuese realmente importante, se procederá a su reparación en la primera parada de la instalación.
- Independientemente de las pruebas periódicas establecidas por la Superioridad, se deberán realizar reconocimientos periódicos de la instalación de caldera y equipos auxiliares, recomendándose que un mínimo de dos reconocimientos se han efectuados por personal técnico ajeno a la conducción de la caldera.
- Las herramientas, accesorios y cualquier utensilio que sea necesario para el servicio, deberán estar ordenados y colocados en lugares fácilmente accesibles.
- Se establecerá un stock de piezas de repuesto que se consideren imprescindibles para un servicio continuo de la instalación.

2.2.2 Equipos de protección individual y colectiva de la caldera

Seguridad por falta de agua

Se purgarán diariamente los cuerpos de inmersión de los reguladores de nivel, al objeto de eliminar la posible formación de lodos en los mismos, comprobándose al mismo tiempo que su funcionamiento en lo que se refiere a la desconexión del equipo de combustión y su accionamiento de la alarma óptica y acústica, es correcto.

Seguridad por exceso de presión de vapor

Por lo menos una vez por semana se harán saltar las válvulas de seguridad para evitar posibles agarrotamientos de las mismas.

Al mismo tiempo se comprobará el correcto funcionamiento de los presostatos de regulación, limitador de presión y seguridad, aún cuando estos últimos es conveniente comprobarlos, si es posible, diariamente.

2.2.3 Regulación y controles de seguridad

Equipo de regulación

Periódicamente y como mínimo cada 6 meses, se procederá a la revisión y limpieza de los equipos de regulación de combustión, nivel, etc., así como a su posterior puesta a punto.

A tal fin, se seguirán las instrucciones específicas que faciliten las firmas fabricantes de los citados equipos y que serán incluidas en la información general de entretenimiento y servicio que se entrega al futuro usuario de la caldera.

Equipo de control

Se comprobará periódicamente y como mínimo cada 3 meses la correcta señalización del manómetro general de la caldera, sustituyéndose en caso de existir diferencias sensibles en la lectura de los mismos respecto a los utilizados para comprobación.

Se comprobará, al menos una vez por semana, el correcto estado de los pilotos de señalización, sustituyéndolos de forma inmediata en el caso de que alguno de ellos se encuentre averiado.

Por lo que se refiere a los indicadores de nivel se purgarán, como mínimo, una vez al día, al objeto de conseguir un perfecto estado de limpieza de los mismos.

CONCLUSIONES

1. Al documentar los procedimientos y operación de proceso de la caldera se obtiene una herramienta de trabajo indispensable para la correcta operación.
2. El entrenamiento de personal operativo de la caldera número 7 de nuevo ingreso consta ahora de un instructivo que describe y detalla la información necesaria de la operación, reparación, y funcionamiento correcto de la caldera.
3. Al elaborar la documentación de los procedimientos y operación de procesos la inducción y capacitación de personal nuevo, tanto operativo como de supervisión, se observó mejor y más rápido entendimiento por parte de este personal.
4. Elaborada la documentación de procedimientos y operación de procesos quedo detallado el funcionamiento, mantenimiento, reparación y operación correcta de la caldera acuotubular que produce 225,000 lb-vapor/hr.

RECOMENDACIONES

1. Al personal que se dedica a la documentación de procedimientos y operación de procesos en el Ingenio Magdalena, S.A. se sugiere que estos deben de ser actualizados por lo menos una vez por año, para documentar algún cambio.
2. Al personal de nuevo ingreso la documentación de estos debe ser una herramienta básica de trabajo que deben estudiar y atender las indicaciones de este documento.
3. Al personal que tiene años de experiencia en la operación, cada vez que hagan un cambio de accesorio o equipo más moderno, que altere la operación de la caldera, informar al comité de documentación para que este realice los cambios necesarios en los instructivos.

BIBLIOGRAFIA

1. Severns. W. H. DEGLER H.E., MILES. J.C., **La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases.** Edición en español: Editorial Reverté, S.A. 1974-1975.
2. Avallone. Eugene A. Y Theodore Bauneister III. **Manual del ingeniero Mecánico.** 9^a ed. México: Editorial Mc Graw Hill. 1995