ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Auditoria energética en el sistema de vapor de una planta procesadora de papel"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de :

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Roberto Monar Altamirano

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, especialmente a mis compañeros y al Ing. Ernesto Martínez, Director de Tesis, por su invaluable ayuda

DEDICATORIA

A mis padres Euclides y Carmen, por el sacrificio que realizaron para poder educarme. A mi esposa Diana. A mi hermano.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Ing. Eduardo Rivadeneira P.	Ing. Ernesto Martínez L.
DECANO DE LA FIMCP	DIRECTOR DE TESIS
PRESIDENTE	
_____	_____
Ing. Jorge Duque R.	Ing. Mario Patiño A.
VOCAL	VOCAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

_____

Roberto Carlos Monar Altamirano

RESUMEN

Descripción del ámbito de tesis.

Esta tesis se realizó en una planta papelera, la misma que se dedica a la elaboración de: papeles tissue, papeles absorbentes, y servilletas. La materia prima utilizada para la elaboración de estos productos es 100% material reciclado (revistas, periódicos, libros, etc), el cual es suministrado en un 30% por el mercado local y el 70% es importado.

La planta se encuentra ubicada en la provincia de Los Ríos, en el Km. 4 ½ de la carretera Babahoyo - Guayaquil, junto al Río Babahoyo, sus instalaciones ocupan una extensión de 25.000 m^2 y operan desde el año de 1976.

Descripción del problema.

Debido a los años de operación que tiene esta planta, es necesario realizar una evaluación energética en el sistema de vapor, ya que existen anomalías que causan pérdidas de energía; por ello se hace necesario cuantificar estas pérdidas.

La generación de vapor se da mediante la utilización de dos calderas con

capacidades de 800 bhp cada una. Estas calderas utilizan Bunker como combustible y tienen un consumo de 6.662 litros por día. Debido a que el consumo de combustible es elevado con respecto a los estándares nacionales e internacionales, y por ser el vapor uno de los principales recursos energéticos utilizados en la planta, es de total interés reducir el consumo de vapor e identificar las áreas en que ocurren desperdicios y donde fuera posible realizar mejoras, debido a que el vapor es un rubro importante para la empresa y al minimizar el consumo del mismo se minimiza también el consumo de combustible y la empresa podrá mejorar sus utilidades.

Objetivo de la tesis.

El objetivo de esta tesis es: establecer el estado energético actual del sistema de vapor; realizar una evaluación energética de todos los componentes del sistema de generación y distribución de vapor; realizar una evaluación energética en los equipos consumidores de vapor; detectar los factores que afectan el consumo de energía e identificar las oportunidades de ahorro energético.

Metodología.

Para este estudio se desarrolló una base de datos del consumo y costo de la energía utilizada en la planta; se determinó las características y condiciones actuales de operación (temperatura, presión, flujo, longitudes y diámetros) de

equipos generadores, consumidores de vapor y sistema de distribución de vapor; luego se realizó una evaluación energética en los equipos mencionados y se comparó los consumos calculados con los consumos reales de combustible.

Resultados.

El consumo calculado de combustible, utilizado por los equipos es menor que el consumo real de combustible en la caldera, debido que existen pérdidas de energía, en el sistema de distribución de vapor y retorno de condensado,

Entre las pérdidas encontradas, existen algunas que pueden ser disminuidas o eliminadas, previo una planificación a corto plazo, como es el caso del ajuste en el sistema de combustión de una de las calderas. Además existen otros tipos de perdidas que podrán ser corregidas a fututo, mediante el programa de ahorro energético propuesto en la tesis.

Finalmente se realizó la estimación del costo necesario para implementar el programa y se obtuvo que en un tiempo de 3 meses y 3 semanas, es posible recuperar la inversión económica,

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.....II

INDICE GENERAL.....III

ABREVIATURAS.....VIII

SIMBOLOGIA.....IX

INDICE DE FIGURAS.....XII

INDICE DE TABLAS.....XIII

INDICE DE PLANOS.....XIV

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.....2

1.1. Generalidades.....2

1.2. Secciones y departamentos.....3

1.3. Estilo administrativo y manejo de la planta.....4

1.4. Descripción del proceso de producción.....6

1.5. Generalidades de la materia prima.....16

1.6. Productos químicos utilizados en los procesos.....17

1.7. Equipos utilizados en los procesos.....22

1.8. Requerimientos energéticos.....27

1.9. Sistema de abastecimiento de agua.....28

CAPÍTULO 2

2. AUDITORIA ENERGÉTICA PRELIMINAR.....30

2.1. La auditoria energética.....30

2.2. Recopilación de información general de la planta.....33

2.2.1. Consumo y costo de energía.....33

2.2.2. Estándares de producción.....35

2.3. Inspección visual y recorrido a través de la planta.....35

2.4. Diagrama de la planta.....36

2.5. Oportunidad de conservación de energía.....36

CAPÍTULO 3

3. AUDITORIA ENERGÉTICA DIRIGIDA.....38

3.1. Cobertura de la auditoria energética.....38

3.2. Identificación de la instrumentación relacionada con la auditoria energética.....39

3.3. Trabajo de campo y mediciones.....43

3.3.1. Condiciones de operación y características de los equipos generadores y consumidores de vapor.....43

3.3.2. Condiciones de operación y características del sistema de distribución de vapor.....47

3.3.3. Condiciones de operación y características de los

tanques de almacenamiento.....51

3.4. Cálculo de producción de vapor.....53

3.5. Evaluación energética en los equipos consumidores de vapor y sistema de distribución, en las condiciones actuales de operación.....57

Evaluación energética en el tanque de almacenamiento de Bunker.....60

Evaluación energética en el cilindro secador.....62

Evaluación energética en el radiador.....64

Evaluación energética en el sistema de distribución de vapor.....66

3.6. Consumo de combustible calculado.....77

CAPÍTULO 4

4. DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS.....79

4.1. Comparación entre el consumo de energía real y el consumo de energía teórico.....79

4.2. Obtención de pérdidas de energía.....84

CAPÍTULO 5

5. PROGRAMA DE AHORRO ENERGÉTICO.....92

CAPÍTULO 6

6. ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE AHORRO ENERGÉTICO.....105

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....111

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍAS

ABREVIATURAS

ASTM	American Society For Testing
Amp	Amperios
Btu	British Thermal Unity
Bar	Unidad de medida de presión
Comb	Combustión
Cond	Condensado
Cp	Calor especifico
DOP	Diagrama de las operaciones del proceso
dopt	Espesor optimo económico
ft	Pie
Gal	Galones
Pulg	Pulgada
PSI	Unidad de medida de presión
PC	Poder calorífico
Tanq	Tanque
TD	Trampa termodinámica

SIMBOLOGÍA

A	Área
H2O	Agua
D	Diámetro
Q	Calor
Qout	Calor de salida
Qin	Calor de entrada
x	Calidad del vapor
K	Conductividad térmica
U	Coeficiente global de transferencia de calor
ρ	Densidad
h_g	Entalpía de vapor saturado
h_f	Entalpía de liquido saturado
$\dot{v}$	Flujo volumétrico
$\dot{m}$	Flujo másico
$\dot{m}_{H_2Oevap}$	Flujo de agua evaporada
$\dot{m}_{papel}$	Producción del papel
$\dot{m}_f$	Flujo de combustible
$\dot{m}v$	Flujo de vapor
KJ	Kilojoules
Kg	Kilogramo
KW	Kilowatts
KWH	Kilowatts-hora
L	Longitud
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
m	Metro
mm	Milímetro
Red	Número de reynolds
ri	Radio interior
Rbi	Resistencia térmica en el interior de la tubería

Rw	Resistencia térmica del material de la tubería
Rc	Resistencia térmica del material aislante
s	segundos
Tbh	Temperatura de bulbo húmedo
To	Temperatura inicial
Ti	Temperatura final
Ts	Temperatura superficial
Ta	Temperatura ambiente
t	Tiempo
ΔTml	Temperatura media logarítmica
V	Volumen
Δh	Variación de altura
μ	Viscosidad del fluido

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Diagrama de las operaciones del proceso (DOP) de fabricación del papel....7
Figura 1.2. Desintegración de la materia prima en el Pulper....9
Figura 1.3. Eliminación de tinta en la Celdas de Flotación....11
Figura 1.4. Bobinado del papel....15
Figura 1.5. Almacenamiento de la materia prima....17
Figura 1.6. Diagrama de bloque de equipos utilizados en el proceso....23
Figura 3.1. Diagrama (PIED) de equipos utilizados en el proceso....40
Figura 3.2. Recuperación de vapor en el termocompresor....48
Figura 3.3. Termocompresor tres vías para vapor....48
Figura 3.4. Balance de energía en un subsistema definido....58
Figura 3.5. Balance de energía en el subsistema 1....61
Figura 3.6. Balance de energía en el subsistema 2....63
Figura 3.7. Balance de energía en el subsistema 3....64
Figura 4.1. Análisis de los gases de escape de la caldera....86
Figura 4.2. Tubería de retorno de condensado sin aislamiento....88
Figura 4.3. Fuga de vapor....89
Figura 5.1. Espejo de la caldera....93
Figura 5.2. Espesor optimo económico de aislamiento térmico....98
Figura 5.3. Conjunto trampa de vapor....102

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.
Tabla 1.- Aditivos químicos funcionales....18
Tabla 2.- Aditivos químicos de control....19
Tabla 3.- Consumo de energía del año 2004....34
Tabla 4.- Consumo y costo de energía del año 2004....34
Tabla 5.- Estándares de consumo en la producción....35
Tabla 6.- Descripción de Calderos....44
Tabla 7.- Presión de operación en la caldera....44
Tabla 8.- Temperatura de operación en la caldera....44
Tabla 9.- Características del Cilindro Secador....45
Tabla 10.- Condiciones de operación del Cilindro Secador....45
Tabla 11.- Condiciones de operación del radiador....47
Tabla 12.- Características del Termocompresor....49
Tabla 13.- Características del distribuidor de vapor....49
Tabla 14.- Características de la tubería de 2 pulgadas....50
Tabla 15.- Características de las tuberías de 4 pulgadas....51
Tabla 16.- Características de las tuberías de 6 pulgadas....51
Tabla 17.- Capacidad de los Tanque de almacenamiento....52
Tabla 18.- Datos obtenidos a partir de la tabla de vapor....61
Tabla 19.- Datos obtenidos a partir de la tabla de vapor....63
Tabla 20.- Datos obtenidos a partir de la tabla de vapor....65
Tabla 21.- Energía requerida en los subsistemas....65
Tabla 22.- Pérdidas de calor en tuberías sin aislamiento térmico....67
Tabla 23.- Pérdidas de calor en tuberías aisladas térmicamente....67
Tabla 24.- Longitud equivalente en metros para válvulas....70
Tabla 25.- Pérdidas de vapor en fugas....72
Tabla 26.- Cantidad de vapor perdido por las fuga....73
Tabla 27.- Datos obtenidos a partir de la tabla de vapor....74
Tabla 28.- Pérdida de energía por fugas de vapor....74
Tabla 29.- Consumo de combustible calculado....78
Tabla 30.- Potencial de ahorro energético....91

Tabla 31.- Temperaturas máximas de empleo de distintos materiales aislantes.....96
Tabla 32.- Espesor de aislamiento optimo para tuberías desnudas.....100
Tabla 33.- Condensado producido en tuberías de vapor.....103

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Circuito de vapor y retorno de condensado

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como objetivo establecer el estado energético de una planta procesadora de papel, e identificar el potencial de ahorro energético existente. Todo esto con el propósito de que la empresa eleve sus niveles de eficiencia, competitividad, rentabilidad y minimice su grado de contaminación.

El proyecto mostrara los resultados de una auditoria realizada a la planta en lo concerniente al sistema de vapor, comprendiendo básicamente la recopilación de datos reales, para compararlos con los datos obtenidos mediante análisis y/o cálculos.

Un aspecto importante en este estudio es fijarse objetivos, para mejorar el uso de la energía, buscando una mayor eficiencia en su utilización, pero permaneciendo siempre realistas.

La mejor manera de lograr estos objetivos, es establecer un programa de auditoria energética como el que se realizará en el siguiente estudio.

CAPÍTULO 1

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

4.1. Generalidades

La fábrica de papel Kimberly Clark opera desde el año 1976 y está dedicada a actividades fabriles que giran alrededor de la recolección y producción de papel, se dedica a la elaboración de papeles tissue, papeles absorbentes y papel servilleta.

La planta esta ubicada en la provincia de Los Ríos en el Km. 4 ½ de la carretera Babahoyo - Guayaquil, junto al Río Babahoyo y sus instalaciones ocupan actualmente una extensión de 25.000 m^2.
Debido a que su producción es continua la planta labora los 365 días del año en turnos de trabajo rotativos de 12 horas.

Esta formado por un capital humano de 74 colaboradores, quienes se encuentran distribuido de la siguiente manera:

Empleados 9

Obreros 65

TOTAL 74

4.2. Secciones y departamentos

Como toda industria, esta planta está dividida en diferentes secciones y departamentos, los mismos que se indican a continuación:

- Planta de papel.
- Planta de fuerza, que consiste en grupo generador y calderos.
- Talleres con sus respectivos departamentos: mecánicos, eléctricos, automotriz e instrumentación.
- Bodega de almacenamiento de materia prima.
- Bodega de almacenamiento producto terminado.
- Bodega de almacenamiento de productos químicos.
- Bodega de almacenamiento de materiales, repuestos, equipos y motores.
- Bodega de almacenamiento de aceites y lubricantes.
- Oficina de Gerencia, departamento de personal y las oficinas ubicadas en las diferentes secciones de la planta.

4.3. Estilo administrativo y manejo de la planta

En esta planta existe un organigrama donde están definidas las responsabilidades que tiene cada persona, lo que influye de manera positiva en el manejo general de la planta, especialmente en el manejo de los procesos, mantenimiento y producción. El organigrama de la planta se lo puede encontrar en el APÉNDICE A, y se lo describe a continuación:

Gerente de planta.- Es la cabeza de la planta, realiza la planeación de presupuestos, concilia la producción, reporta cambios u observaciones en los procesos de elaboración; es el responsable de la seguridad, calidad, medio ambiente y es el encargado de reportar las pérdidas y ganancias a la corporación.

Superintendente de producción.- Es la persona encargada de controlar el funcionamiento de los equipos utilizados en la fábrica, planifica y controla el trabajo de cada grupo, realiza el cálculo de insumos y materiales que se requiere en el proceso de elaboración del producto; controla los costos de producción y lleva el control estadístico de lo elaborado.

Superintendente de calidad.- Es el que se encarga de verificar que se cumpla las variables con los estándares de calidad definidos mediante pruebas realizadas en los laboratorios de la planta, reporta las condiciones anormales en la medida que se susciten, presenta informes de defectos, describe en términos cuantitativos las condiciones fuera de lo normal, recomienda las correcciones asegurando así un alto grado de eficiencia y calidad en el producto elaborado.

Coordinador de seguridad industrial y procedimiento.- Es el responsable de salvaguardar la vida y la seguridad física de los trabajadores por medio del dictado de normas encaminadas tanto a que les proporcionen las condiciones para el trabajo, como a capacitación y adiestramiento para que se evite dentro de lo posible las enfermedades y los accidentes laborales.

Superintendente de mantenimiento eléctrico.- Esta persona es el encargado de la planificación y ejecución del mantenimiento en los equipos eléctricos de la planta.

Superintendente de mantenimiento mecánico.- Es el encargado de la planificación y ejecución del mantenimiento en los equipos

mecánico de la planta, limitando así la degradación de la maquinaria y disminuyendo la probabilidad de averías.

4.4. Descripción del procesos de producción

Acontinuación se presenta el diagrama de las operaciones del proceso de elaboración del papel, y luego se describe cada una de las etapas del proceso de producción.

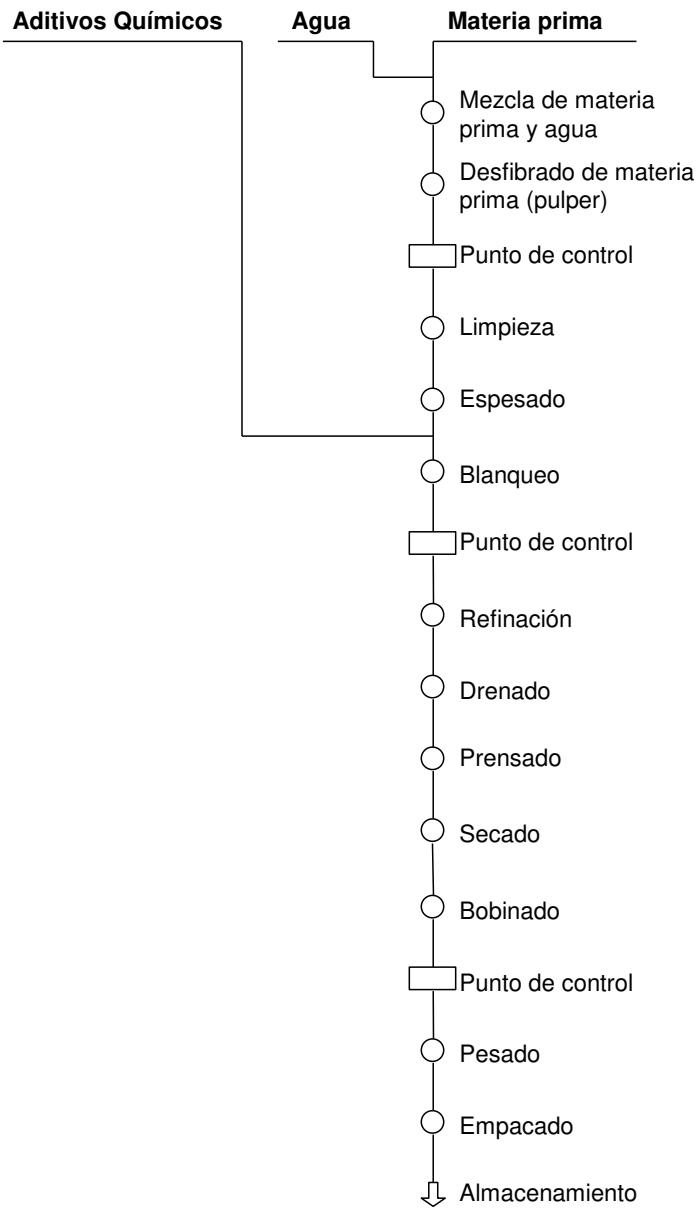


Figura 1.1. Diagrama de las operaciones del proceso (DOP) de fabricación del papel

Mezcla de materia prima y agua

Esta etapa consiste en entregar una cantidad uniforme de una mezcla de materia prima (papel reciclado) y agua al pulper para transformarla en pasta, mediante la etapa de desfibrado

Desfibrado de materia prima

El desfibrado puede definirse como la acción mecánica que transforma las fibras en suspensión en un medio acuoso, mediante la aplicación de energía.

El equipo donde se lleva a cabo la operación de desfibrado, se conoce como: pulper o hidrapulper, está provisto de un agitador helicoidal que permite la desintegración de la materia prima, así como el mezclado de químicos y remoción de los contaminantes; en la parte inferior tiene un colector donde se depositan contaminantes pesados que vienen en la materia prima utilizada.

En el siguiente grafico se presenta la desintegración de materia prima en el pulper.

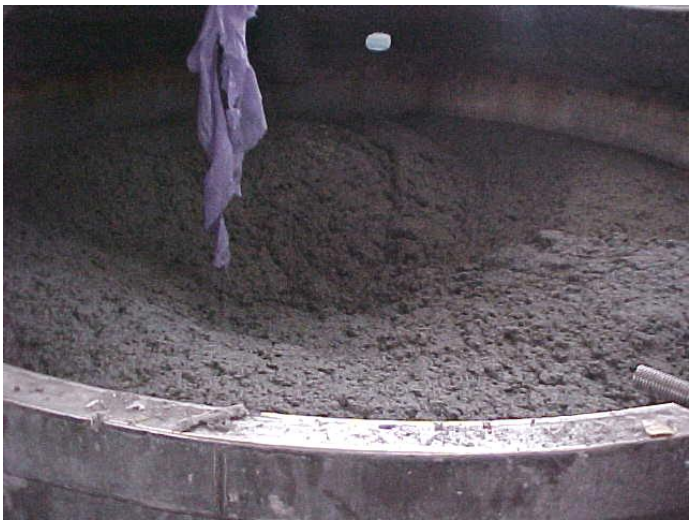


Figura 1.2. Desintegración de la materia prima en el pulper

Además en esta etapa se realiza el control de parámetros importantes del proceso como son: tiempo de batido, consistencia de la pasta, dosificación de agua, calidad de la fibra.

Limpieza

La finalidad de esta etapa es la eliminación de los diferentes contaminantes existentes en la pasta, agrupándolos por características como: densidad, forma, tamaño y flexibilidad. En esta etapa se eliminan también: grapas, cuerdas, alambres, trapos, trozos de papel sin desintegrar, tinta, etc.

Luego la pasta es bombeada hasta la tina ovalada, donde es agitada para evitar que se asiente, luego pasa al HIdroclon para limpiar y desfibrar; posteriormente la pasta es bombeada hasta el Defleker donde las brumas de papel son desbaratadas, pasa por una zaranda donde retiene: basura, plásticos, clips, etc, y luego es bombeada hasta los limpiadores centrífugos de baja consistencia.

La pasta es aireada posteriormente en celdas de flotación en serie, lo que provoca que los flóculos de baja densidad formados por las partículas de tinta, asciendan a la superficie, de donde son eliminados.

Se usan productos químicos, junto con calor y energía mecánica para desprender las partículas de tinta de las fibras y dispersarlas en el medio acuoso. Las partículas de tinta son posteriormente.
separadas de la suspensión, mediante Lavado o Flotación. Se utiliza agentes espumantes para reducir la tensión superficial del agua y promover la formación de espuma.

La flotación es un proceso de separación utilizado para la limpieza de la pasta, basado en la probabilidad de que burbujas de aire

generadas en la suspensión, se adhieran a las partículas que se quieren remover y las transporten a la superficie de la suspensión.

En el siguiente grafico se presenta la eliminación de tinta por medio del sistema de flotación.

Figura 1.3. Eliminación de tinta en la Celdas de Flotación

Espesado

El propósito del espesado, es remover el agua de la pasta e incrementar su consistencia, esto significa separar sus componentes sólido y líquido en cierto grado.

El espesado es realizado en los lavadores espesadores y consiste en proceso de filtración con un prensado mecánico. Durante la filtración de una suspensión, un colchón de sólidos (torta) se va acumulando sobre el medio filtrante; el cual puede ser una tela o una platina; pasando el líquido a través del medio filtrante.

La torta se conforma con los sólidos de la pasta que son retenidos, tales como fibras o rechazos. Algunos otros sólidos traspasan el medio filtrante junto con el filtrado principalmente al inicio, antes de que se forme la torta sobre el medio filtrante.

Blanqueado

La pasta pasa por varias tinas (contenedores de líquidos) donde se le añade aditivos, tales como: colorantes, cargas minerales (para dar blancura, disminuir porosidad etc.), productos especiales (para aumentar la resistencia al agua, a la tracción etc.). El blanqueo tiene la desventaja que puede reducir la longitud de la fibra y por consiguiente disminuir la calidad final del papel, por esta razón se hace importante controlar la dosificación de los productos químicos.

Refinado

El término refinación, se refiere a la acción llevada a cabo en los refinadores continuos de discos donde las fibras fluyen paralelamente a los cruces de las cuchillas. En todos los casos el objetivo es desarrollar o modificar las fibras de una forma óptima para alcanzar los requerimientos específicos de una composición para fabricar papel.

Aunque el refinado y el desfibrado son consideradas operaciones separadas, en la práctica existe un traslape considerable. Algunas modificaciones mecánicas de las fibras tienen lugar durante las operaciones de desfibrado, de la misma manera que un refinador es un equipo muy efectivo para desfibrar.

Dos tipos de acciones están implicadas en esta etapa: los esfuerzos cortantes, que están causados por las acciones de tensión, enrollado y retorcido entre las barras y canales de los internos del refinador y los esfuerzos normales (de tensión o compresión) que están causados por las acciones de doblado, enrollado, retorcido, aplastamiento, tracción y empuje sobre los agregados de fibras que se forman entre las superficies de las cuchillas.

Drenado

La pasta es bombeada hasta la caja de formación donde comienza la formación de la hoja de papel, esta caja controla la cantidad necesaria de pasta que se distribuye a través de la meza de formación o malla, donde el agua es absorbida por medio de la caja de succión, una vez formada la hoja de papel pasa a través del fieltro para seguir absorbiendo agua.

Prensado

Al eliminar el agua en su mayor parte, el papel comienza a tener consistencia y se coloca en la sección de prensas, en esta fase el nivel de secado sólo se puede aumentar mediante presión mecánica ejercida en dirección perpendicular a la superficie de la hoja, esto se obtiene haciendo pasar la tira de papel entre el rodillo de presión.

Secado

Una vez que el papel a adquirido consistencia, se ha de eliminar toda la humedad posible, esto se consigue aplicando calor al papel, la banda de papel se hace pasar por un gran rodillo de hierro

llamado yankee, en el que circula vapor a alta temperatura por su interior y una cubierta llamada capota que posee aire caliente.

Bobinado

El papel se despega del cilindro secador por medio de cuchillas; finalmente el papel fabricado se enrolla en grandes bobinas donde es embalado y almacenado.

Figura 1.4. Bobinado del papel

4.5. Generalidades de la materia prima

Los adelantos de las técnicas de reciclaje y sobre todo el aumento del precio de la materia prima y de la energía, han contribuido ampliamente a que ciertos desechos se consideren en la actualidad después de ser reciclados, como fuentes de materia prima. Uno de estos recursos es el papel reciclado (fibra secundaria), componente principal para la elaboración de nuestro producto.

Fibra secundaria

La fibra secundaria se define como cualquier material fibroso que a sufrido un proceso de manufactura (papel periódico, hojas de papel bond, revistas) y se a reciclado como materia prima para la elaboración de un nuevo producto papelero.

Las fibras de la pasta de papel reciclado son generalmente más cortas, menos flexibles y menos permeables; por consiguiente, no pueden utilizarse en productos de papel de alta calidad, es por este motivo que el papel reciclado es utilizado para fabricar productos

suaves y blandos como el papel de seda, el papel higiénico, las toallitas y las servilletas de papel.

En la siguiente figura se muestra la materia prima (papel reciclado) utilizado para la elaboración del papel tisú

Figura 1.5. Almacenamiento de la materia prima

4.6. Productos químicos utilizadas en el proceso

En la composición de la pasta para la fabricación de papel, se utiliza una gran variedad de productos químicos para impartir o acrecentar

una propiedad específica de la hoja o para cumplir con otros objetivos necesarios.

Partiendo de esto, los aditivos químicos podemos agruparlos como:

- Aditivos químicos funcionales para el producto tales como: cargas minerales, ayudas para resistencia en seco y en húmedo, encolantes, colorantes y blanqueadores.
- Aditivos químicos de control para el proceso tales como: ayudas para retención y drenado, sales inorgánicas, antiespumantes, dispersantes, control de depósitos y biocidas.

A continuación se presenta la tabla 1 y la tabla 2 donde se muestran los diferentes tipos de químicos utilizados y su aplicación especifica en el proceso de elaboración del papel

Tabla 1.- Aditivos químicos funcionales

Aditivo	Aplicación
Encolantes	Control de penetración de líquidos
De resistencia en seco como: almidones, gomas	Mejorar reventamiento y tracción, dar Rigidez y resistencia al arrancado
Resinas de resistencia en húmedo	Dar resistencia en presencia de humedad
Cargas minerales como: caolín, talco, carbonatos	Mejorar propiedades ópticas y de impresión
Blanqueadores ópticos	Mejorar la blancura aparente
Aditivos especiales	Inhibidores de corrosión

Tabla 2.- Aditivos químicos de control

Aditivo	Aplicación
Ácidos y Bases	Controla ph
Alúmina (Sulfato de aluminio)	Controla ph, fija aditivos sobre las fibras, mejora la retención, coagulante
Materias colorantes	Impartir el color deseado
Ayudas de retención	Mejorar retención de finos y cargas
Defloculantes de fibras	Mejorar la formación de la hoja
Antiespumantes	Mejorar drenado y formación de la hoja
Ayudas de drenado	Incrementar la eliminación de agua en la tela
Aditivos para control de pitch	Prevenir la deposición y acumulación de pitch
Biocidas	Controlar el crecimiento de limos y otros organismos
Aditivos especiales	Retardadores de flama

A continuación se describen los químicos utilizados en el proceso:

Resina encolante (brea).- La colofonia (brea) es una resina natural de color ámbar que se adiciona a la pulpa en forma de solución o de emulsión y se precipita sobre las fibras por la acción de la alúmina como una capa orientada de moléculas de resinato de aluminio.

La resina encolante faculta al papel cierta semipermeabilidad, es decir que el papel no se humedecerá rápidamente en contacto con el agua.

Sulfato de Aluminio (alumbre).- Se utiliza para alterar el ph de la resina encolante. Es una sal ácida que se presenta en estado liquido, actúa como un acondicionador potencial del hidrógeno.

Almidón catiónico (resistencia en húmedo).- El almidón es un polímero de glucosa que es utilizado para incrementar la resistencia del papel (reventamiento y tracción), mejorar el “tacto”, reducir el desprendimiento de “pelusa” o polvillo de la superficie del papel y reducir la velocidad de penetración de agua.

Hidróxido de Sodio (Soda cáustica).- Este químico es una sal extremadamente alcalina que es utilizado en el pulper para el ablandamiento de la fibra celulosa y limpieza de la tela en la meza de formación.

Bactericida.- Un sistema de fabricación de papel, representa un ambiente ideal para el crecimiento microbiológico. Existe un continuo suministro de nutrientes en un medio donde el ph, la temperatura y la concentración de sales son ideales para el crecimiento microbiológico. Debido a esto se utilizan los bactericidas que son una mezcla de productos orgánicos que se presentan en estado líquido y es utilizado en el proceso para el control bacteriológico, disminuyendo el desarrollo microbacteriano.

Cal (acondicionador de dureza).- Este químico se presenta en forma de polvo y es utilizado para elevar la dureza de la pasta

Hidrosulfito de sodio.- Este químico es una sal extremadamente alcalina y es utilizado en el proceso para blanquear la pasta.

Disfoan (jabón).- Se presenta en forma de pasta y es utilizado para producir espuma, la misma que ayuda a la eliminación de la tinta en la celda de flotación.

Cynol.- Es un aceite que se utiliza para ayudar a despegar la película (coating) en yankee.

GSP (Aglomerantes de goma).- Este químico se presenta en estado líquido y es utilizado para diluir la goma en el pulper.

Blanqueador intrawhite (blanqueador óptico).- Igual que el anterior se presenta en estado líquido, es un derivado de benzimidazol y se lo utiliza para blanquear la pasta en la tina de mezcla de la cabeza de máquina.

Violeta de Metilo (Colorante).- Este químico se presenta en estado líquido y es utilizado en el proceso para controlar la tonalidad azulada de papel blanco.

Violeta Cartasol (Matizante).- Este matizante se presenta en forma de polvo y es utilizado en el proceso para dar tonalidad a la fibra.

Antífoan 20 (Antiespumante).- Este químico se presenta en estado líquido y es utilizado para controlar el espúmeo en la maquina de papel.

4.7. Equipos utilizados en el proceso

A continuación se presenta el diagrama de bloque de los equipos utilizados en el proceso de producción de papel

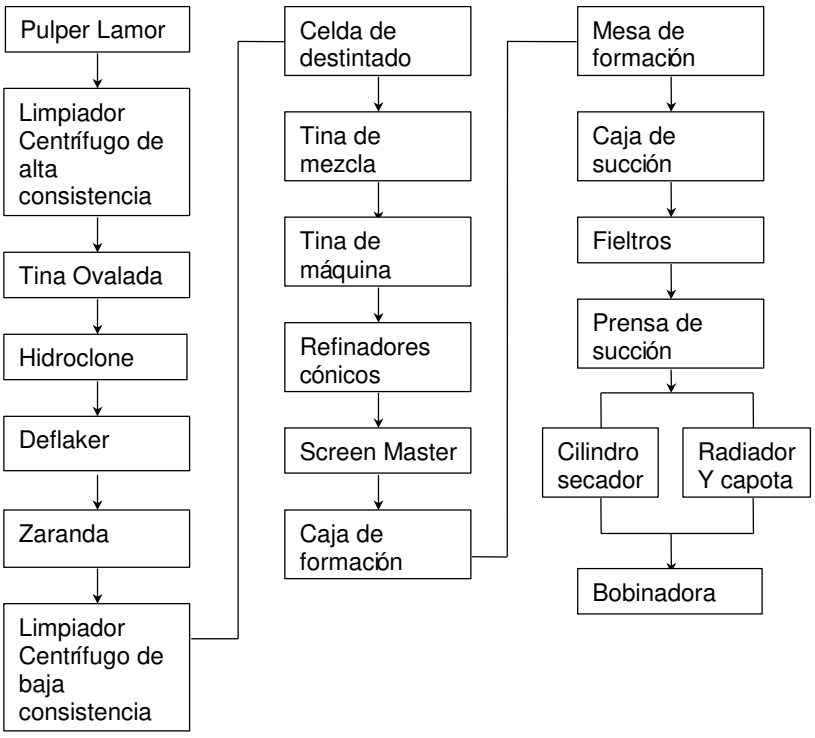


Figura1.6. Diagrama de bloque de equipos utilizados en el proceso

Las maquinarias y equipos que utiliza esta planta, dentro del proceso de producción de papel se describen acontinuación:

Pulper.- Es uno de los equipos principales en el sistema de preparación de la pasta y consiste básicamente en un tanque vertical cilíndrico que tiene en el fondo un rotor accionado mecánicamente mediante un motoreductor y cuya parte superior es abierta para que

pueda ser alimentado con las pacas de fibra que se van a procesar sin que haya peligro de obstrucción.

El rotor al girar, produce la turbulencia y circulación necesarias para desintegrar los haces de fibras y con ello conseguir la desfibración; además por debajo del rotor existen cuchillas de friccionamiento contra la platina de descarga, que también ejercen una operación de desfibrado.

Limpiadores centrífugos.- Estos equipos son utilizados para la separación de impureza. En estos se extrae la arena, grapas, clips y todo tipo de material extraño.

HIdroclon.- Es un equipo combinado de limpieza y desfibrado que es usado en el sistema de limpieza de la pasta.

Defleker.- Es una máquina similar a un molino y es utilizado para desbaratar las brumas de papel.

Zaranda vibratoria.- Su función es la clasificación de la pasta, eliminando impurezas tales como trozos de papel sin desintegrar,

plásticos y otros. La fibra pasa a través de los huecos de la zaranda por medio de vibración y chorro de agua.

Celdas de Flotación.- Este equipo es utilizado para eliminar la tinta de la pasta, es una especie de olla grande que en el interior consta de un agitador, utilizado para producir espuma mediante el uso de jabón en la pasta.

La separación de las impurezas se efectúa debido a la fuerza centrífuga que lanza las partículas mas pesadas contra las paredes del limpiador obligándolas a salir por la parte inferior.

Refinadores.- Son equipos que están constituidos por platos que se ajustan para darle el grado de refinación necesaria a la fibra, de acuerdo al tipo de papel que se quiere producir.

Screen master.- Se encarga de rechazar la pasta mal desfibrada.

Bombas.- Estos equipos son utilizados para transportar la pasta y los productos químicos a los diferentes etapas del proceso.

Tinas de almacenamiento.- Su función es mantener la pasta en estado de suspensión, mediante el continuo funcionamiento de agitadores, con la finalidad de que no se asiente la pasta.

Mesa de formación.- Esta meza sirve para soportar la maya entre el rollo de pecho y el rollo couch, para producir el drenaje a través de esta, en la maya el agua es absorbida por medio de la caja de succión.

Fieltro.- El fieltro es una lona que transporta la hoja de papel húmeda, este funciona por medio de una prensa accionada neumáticamente, transfiriéndola al cilindro secador yankee

Caja de succión.- Esta caja absorbe de la hoja el agua que ya no puede caer por gravedad, para ello utiliza una bomba de vació que produce la succión logrando extraer aproximadamente un 80% del agua.

Cilindro Secador (Yankee).- Es un cilindro hueco metálico grande, al que se introduce vapor para calentar la superficie, sirve para secar una de las caras de la hoja de papel, la otra cara es secada en la capota por medio del calor transferido por el radiador.

Radiador (Intercambiador de calor).- El radiador es un intercambiador de calor vapor-aire, el vapor calienta el aire, el mismo que es transportado hacia la capota por la acción de un ventilador, el aire transportado es utilizado para secar la otra cara de la hoja de papel.

Capota.- La capota es una campana metálica que se encuentra en la parte superior del cilindro secador y es utilizada para mantener el aire caliente que sirve para secar la otra cara del papel.

4.8. Requerimientos energéticos

Los tipos de energía utilizados en la planta son: energía eléctrica y la energía producida por el bunker para generar vapor.

La electricidad en esta planta es utilizada para el funcionamiento de los motores eléctricos, bombas y oficinas.

El búnker es utilizado únicamente en las calderas para la generación de vapor. Este vapor es utilizado en el proceso para secar la hoja de papel.

4.9. Sistema de abastecimiento de agua

Esta planta para el desarrollo de sus actividades industriales, se abastece de agua proveniente del río Babahoyo, la cual es aprovechada debido a que la empresa se encuentra asentada en sus orillas. El sistema de transportación del agua desde el río se encuentra ubicado en la parte posterior de la empresa en donde existe una estación de bombeo que se encuentra instalada sobre una barcaza flotante en la que operan alternadamente las 24 horas del día, dos bombas de 40 HP y 2.500 gal/min cada una, el control de bombeo se realiza automáticamente mediante controles conectados a flotadores que se encuentran en las piscinas, (sistema de tratamiento) los cuales una vez que el nivel del agua de la piscina ha descendido 40 cm aproximadamente, emite la señal y se encienden las bombas alternadamente. Este sistema de bombeo, succiona el agua del río y la impulsa por medio de una tubería de 4” de diámetro hasta una cisterna de hormigón que tiene una capacidad de 1.200 m^3 que a su vez está subdividida en cinco secciones, las que ayudan a la sedimentación de los sólidos en suspensión presentes en agua de río y además facilita la limpieza y mantenimiento de cada una de ellas. Una vez que el agua ingresa a la cisterna, se efectúa un sistema de tratamiento convencional para

reducir el color y la turbiedad del agua, por lo que, el agua avanza por cada una de las secciones y continúa a las 2 últimas que a su vez sirven como reservorios, hasta que finalmente el agua ha sido clarificada. Luego de estas operaciones de tratabilidad del agua, ésta es utilizada para producción, limpieza de planta y en los baños e inodoros del personal administrativo y de planta.

Comentario [PBG1]:

CAPÍTULO 2

2. AUDITORIA ENERGÉTICA PRELIMINAR

4.10.La auditoria Energética

La auditoria energética es parte fundamental de cualquier programa de administración de energía, de cualquier empresa que desee controlar sus costos de energía.

Dentro de un contexto empresarial, la auditoria energética es una evaluación técnica y económica de las posibilidades de reducir el costo específico de la energía en un establecimiento, de manera rentable y sin afectar la cantidad ni la calidad del producto**.**

Entre las partes esenciales de una auditoria energética se encuentra: Un análisis de costo y uso de la energía, el análisis de uso de la energía ayudará a comprender la mejor manera de cómo se emplea la energía y los

combustibles dentro de la fabrica, también ayuda a identificar las áreas en donde ocurren desperdicios de energía y donde es posible realizar mejoras.

Entre los principales recurso utilizados en la planta para la fabricación del papel tenemos vapor: aire comprimido, agua y energía eléctrica, por tanto los cambios implementados para reducir el uso de estos recursos suelen ser altamente rentables, siempre y cuando se logre establecer un compromiso económico, de tal manera que la inversión sea recuperada en el menor tiempo posible.

Tomando en consideración estos puntos, se eligió el sistema de vapor para realizar la auditoria, debido a que es el recurso de mayor consumo, además al perder vapor en la instalación estamos perdiendo combustible, tratamiento de agua (químicos) en la caldera, tratamiento químico en el vapor y energía eléctrica.

Beneficios de una auditoria energética en la generación y distribución de vapor

Entre los beneficios más importantes que la empresa tendrá al realizar una auditoria energética se tienen los siguientes:

- La descripción total del sistema de vapor y condensado e identificación de las oportunidades de mejora.
- La solución a los problemas encontrados de acuerdo a un criterio técnico confiable.
- Importantes mejoras en el sistema, que se verán reflejados en grandes beneficios económicos, aumentando la productividad de la planta, debido a la reducción de los costos operacionales.
- La programación de las actividades de mantenimiento correctivo jerarquizado de acuerdo a sus prioridades.
- Mejorar la eficiencia de las calderas, sistemas de distribución, disminuyendo de esta manera el consumo de combustible y por ende la disminución de emisiones de gases contaminantes, tales como:

    - Dióxido de Carbono (CO_2) : probable causante de "Efecto invernadero".
    - Dióxido de Azufre (SO_2) : causante de "Lluvia ácida".
    - Óxidos de nitrógeno (NO_x) : causante de "Lluvia Ácida".
    - Monóxido de Carbono (CO) : contaminante.

- Partículas en la forma de hollín : contaminante.

Auditoria energética preliminar

La conducción de la auditoria energética preliminar es el primer paso para llevar adelante un programa de ahorro de energía. La auditoria energética preliminar es básicamente la recolección y análisis de los datos disponibles en la instalación e identificación de los puntos débiles de la planta.

4.11.Recopilación de información general de la planta

En esta etapa se reúne información sobre tipos de energía utilizada, el consumo y el costo, de estos recursos durante el año 2004.

2.2.1. Consumo y costo de energía

El primer paso para realizar la auditoria fue recopilar información sobre los consumos de erguía, en la tabla 3 se muestra el detalle de los consumos de energía eléctrica y el consumo de bunker para cada mes del año 2004, en la tabla 4 se presenta el consumo y costo de energía por tipo de fuente para este año.

Tabla 3.- Consumo de energía del año 2004

Mes	Producción (Kg)	Energía (Kwh)	Bunker (Gal)
Enero	547.113	741.702	50.533,63
Febrero	522.364	766.426	50.372,48
Marzo	570.631	788.763	56.111,38
Abril	629.690	787.072	55.835,84
Mayo	592.537	819.319	50.263,38
Junio	472.142	698.562	40.624,24
Julio	453.489	685.536	40.853,54
Agosto	589.977	825.689	58.377,98
Septiembre	564.661	780.510	52.524,44
Octubre	628.564	867.430	55.493,47
Noviembre	615.235	884.459	54.336,13
Diciembre	500.256	732.568	44.633,06
TOTAL	6.686.659	9.378.036	609.959,58

Tabla 4.- Consumo y costo de energía del año 2004

Tipo de energía	Consumo Anual	Costo Anual $
Energía Electricidad	9’378.036 KWH	628.328
Bunker	609.959,58 GAL	401.755,73

2.2.2. Estándares de producción

A continuación en la siguiente tabla se presentan los estándares de consumos de aditivos químicos, materia prima, material y combustible utilizados en la industria para producir 1 tonelada de papel, además se presenta estándares para diferentes porcentaje de perdidas

Tabla 5.- Estándares de consumo en la producción

Pérdidas (%)	Materia prima (Kg)	Químico (Kg)	Material (Kg)	Bunker (Gal)
27	1.369,9	12,43	1,5	280
30	1.369,9	14,81	1,5	280
32	1.538,4	15,43	1,5	340
38	1.538,5	15,25	1,5	340
41	1.538,5	25,05	2,0	340
42	1.538,5	25,05	2,0	340

4.12.Inspección visual y recorrido a través de la planta.

Durante las inspecciones realizadas a la planta se asigno un guía, que nos brindaba una seguridad física, debido a que conoce el manejo y funcionamiento del sistema analizado, esta persona nos proporcionaba una breve explicación del funcionamiento de dicho sistema o equipo y la aplicación del mismo.

En esta etapa se entendió el proceso de elaboración del producto;

se identificó equipos generadores de vapor, equipos consumidores de vapor y el sistema de distribución de vapor; además se pudo identificar algunas maneras de ahorro de energía a proponer, las mismas que son detalladas en la SECCIÓN 2.5 de este CAPITULO.

4.13.Diagrama de la planta

Para nuestro estudio utilizamos un plano donde se identifica el sistema de vapor y retorno de condensado, que es de gran ayuda en la ubicación de: equipos generadores y consumidores de vapor; longitudes de tuberías, válvulas y demás accesorios instalados en el sistema de distribución de vapor.

4.14.Oportunidades de conservación de energía.

En la auditoria energética preliminar se detecto deficiencias que son causantes de pérdidas de energía, estas deficiencias son mencionadas a continuación:

- Falta de aislamiento térmico en tramos de tuberías de vapor y retorno de condensado.

- Falta de aislamiento térmico en la mayoría de las válvulas y bridas del sistema de distribución de vapor.
- Fugas de vapor en válvulas y bridas.
- Mala calibración en el sistema de combustión.

Estas deficiencias se deben a que no existe una persona encargada de la administración de la energía, por tanto la empresa no tiene un programa de administración de energía que le permita mejorar su posición relativa con respecto a su competencia.

CAPÍTULO 3

3. Auditoria energética dirigida

4.15.Cobertura de la auditoria energética

Una ves realizada la Auditoria Energética Preliminar, que consiste en realizar una inspección por las instalaciones de la planta, identificar las fuentes mas obvias de conservación de energía y realizar una recopilación de datos relacionados al área, se procedió a realizar la auditoria energética dirigida hacia la generación, distribución y uso de vapor por considerar que es la mas crítica.

La cobertura de la Auditoria Energética Dirigida fue la siguiente:

1 Calderas
2 Sistemas de distribución de vapor
3 Sistemas de retorno del condensado

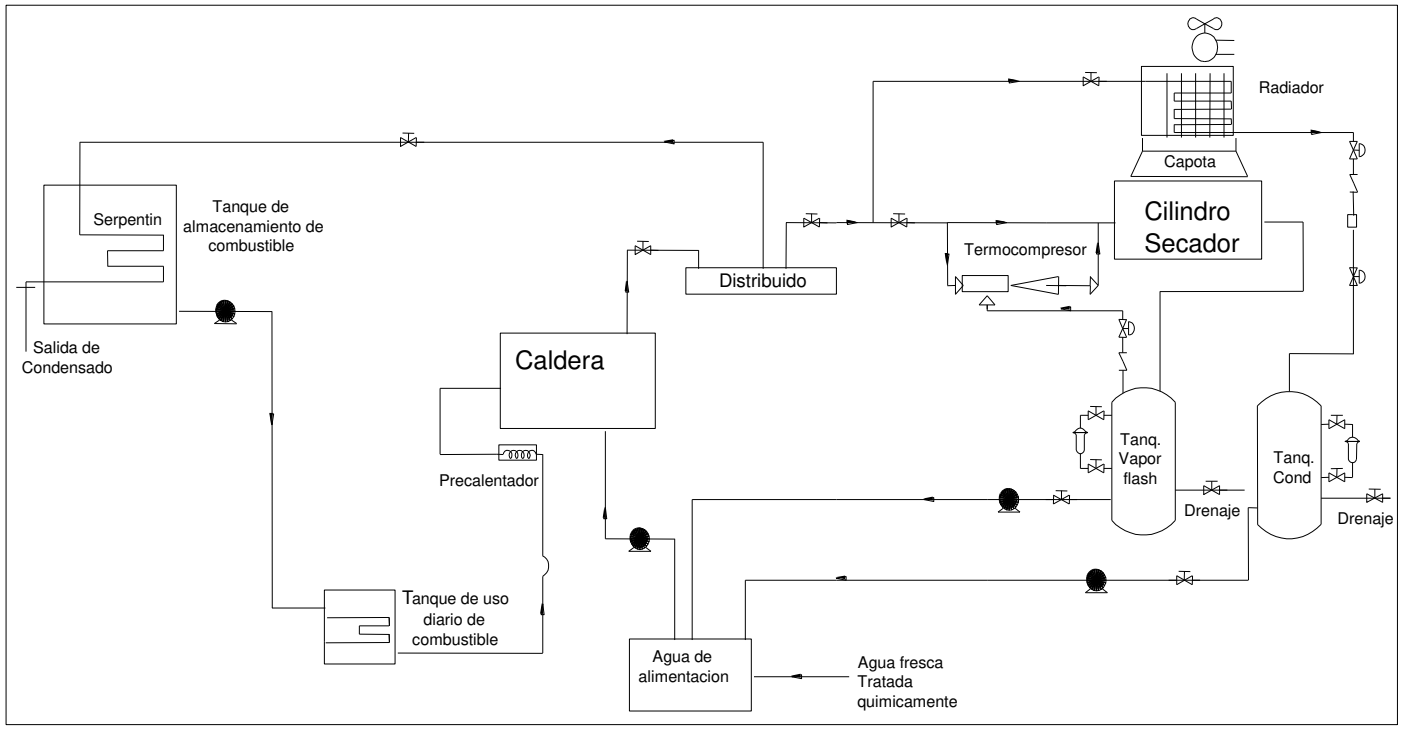
El análisis de los datos reunidos permite la identificación del potencial de conservación de energía. Seguidamente se realizaran estrategias para obtener estos ahorros.

4.16. Identificación de la instrumentación relacionada con la auditoria energética

En nuestro recorrido por la planta se identifico los instrumentos de medición (presión, flujo, temperatura, etc.) involucrados en la auditoria energética.

A continuación se presenta un diagrama (PIED) del proceso y la lista de equipos involucrados en nuestro estudio con su respectiva instrumentación

Figura 3.1.Diagrama (PIED) equipos utilizados en el proceso



Tanque de almacenamiento de combustible.- Como su nombre lo indica, es el tanque donde el combustible es almacenado y calentado, para poder ser transportado hasta el tanque de uso diario.

Este tanque cuenta con una válvula termostatica, que permite el paso del vapor por el serpentín que se encuentra ubicado en el interior del tanque, este serpentín es el que le proporciona calor al combustible, permitiendo de esta manera que el búnker almacenado se mantenga a una temperatura adecuada para ser transportado hasta el tanque de uso diario.

Tanque de agua de alimentación.- El tanque de agua de alimentación es el encargado de abastecer de agua al caldero, esta agua de alimentación se encuentra a una temperatura elevada (94ºC) debido a que es la mezcla entre el agua de reposición y los condensados producido por la condensación del vapor, por ende cuenta con un termómetro que permite conocer la temperatura del agua de alimentación y un medidor de nivel que permite controlar el nivel de agua en el tanque.

Caldera.- La caldera es el equipo generador de vapor y cuenta con un manómetro que se encuentra ubicado en el domo, el mismo que permite

conocer la presión de salida del vapor, cuenta además con un termómetro en la chimenea que da a conocer la temperatura de evacuación de los gases de escape producidos por la combustión del bunker, en la caja de viscosidad del combustible, cuenta con un manómetro y un termómetro que sirven para conocer las condiciones de entrada del bunker.

Radiador (intercambiador de calor).- El radiador es un intercambiador de calor vapor-aire. El vapor calienta el aire que es utilizado para secar la otra cara de la hoja de papel. El radiador cuenta con un termómetro a la salida del aire calentado.

Cilindro Secador (Yankee).- Es un cilindro hueco metálico grande, al que se introduce vapor para calentar su superficie, sirve para secar una de las caras de la hoja de papel. En este equipo se tiene dos manómetros, uno permite conocer la presión del vapor en la entrada del cilindro y el otro permite conocer la presión del condensado en la salida.

Tanques de condensados.- En la instalación se tiene dos tanques de condensado, uno recibe el condensado producido en el Yankee y el otro tanque recibe el condensado producido en el Radiador, ambos cuentan con termómetros que permiten conocer las temperaturas de retorno de

los condensados.

4.17. Trabajo de campo y mediciones

3.3.1. Condiciones de operación y características de los equipos generadores y consumidores de vapor.

CALDERAS

El sistema de generación de vapor, esta constituido por dos calderas acuatubulares, que trabajan de manera alternada, utilizando como fuente de combustible el búnker.

En la tabla 6 se presenta la descripción de los calderos, en las tablas 7 y 8 se presentan las condiciones de operación del caldero en funcionamiento en el periodo de toma de datos.

Tabla 6.- Descripción de Calderos

Característica	**CALDERO #1**	**CALDERO #2**
Marca	York Shipley	York Shipley

Capacidad	800 BHP	800 BHP
Modelo	SPHC800-6 173606	SPHC800-6 173606
Máx. presión	150 PSI	150 PSI
Combustible	218 Gph	218 Gph
Requerimientos eléctricos	480V; 3Fase; 60Hz; 32Amp	480V; 3Fase; 60Hz; 32Amp

Tabla 7.- Presión de operación en la caldera

Presión (Bar)				
Vapor	Bomba Combustible	Aire comprimido	Agua Alimentación	Quemador
8.27	5.86	0.89	8.61	1.17

Tabla 8.- Temperatura de operación en la caldera

Temperatura (ºC)			
Agua Alimentación	Tanque diario de bunker	Calentador vapor	Chimenea
94	93	115	198

CILINDRO SECADOR

El yankee es uno de los equipos que requiere una demanda considerable de vapor, ya que de el depende la calidad y el buen secado de la hoja de papel. Las condiciones de operación de este equipo determinan el tipo de papel que será elaborado, debido a

que para cada tipo de papel se requiere una cantidad especifica de calor.

La cantidad de calor requerida para el secado es controlada por medio de la presión del vapor en la entrada al yankee, en las siguientes tablas se presentan las características y condiciones de operación de este equipo, en el periodo de toma de datos.

Tabla 9.- Características del Cilindro Secador

Fabricante	Beloit Company
Diámetro (mm)	4000
Profundidad de ranura (mm)	70
Espesor de la placa (mm)	41,4
Números KC	139
Números SERIE	1133
Tipo de placa	Ribbed
Números de sifones	6
Números de sorbetes	135

Tabla 10.- Condiciones de operación del Cilindro Secador

Tomada de datos	**Presión (Bar)**
Entrada de vapor	5.23
Salida de condensado	4.68

RADIADOR

El radiador es un intercambiador de calor vapor-aire y cuenta con un ventilador axial que le brinda un mayor coeficiente convectivo en el exterior de los tubos, además tiene tubos aleteados que le permiten tener mayor área de transferencia de calor.

La temperatura del vapor a la entrada del radiador es calculada en el APÉNDICE B, por medio de un método iterativo, que se basa en calcular el calor transferido por la tubería hacia el ambiente, aplicando transferencia de calor y realizando un balance de energía en la tubería, dejando estas ecuaciones en función de la temperatura final e iterando esta temperatura hasta encontrar un error despreciable.

El calculo fue evaluado en dos tramos, el primer tramo fue desde la salida de la caldera hasta el punto de bifurcación y el segundo tramo fue desde el punto de bifurcación hasta la entrada del radiador.

El motivo por el cual se dividió en dos tramos fue porque estos tramos tienen tuberías de diferente diámetro y el flujo másico es diferente.

En la siguiente tabla, se presentan las condiciones de operación de este equipo, en el periodo de toma de datos.

Tabla 11.- Condiciones de operación del radiador

Posición	Temperatura (ºC)
Entrada de aire	30
Entrada de vapor	166.11

3.3.2. Condiciones de operación y características del sistema de distribución de vapor.

TERMOCOMPRESOR

La planta cuenta con un termocompresor que tiene por misión, aprovechar la fuerza motriz (vapor de alta), para crear una aspiración en el tanque de condensado, recuperando de esta manera el vapor flash producido en el tanque de retorno de condensado del yankee.

En la siguiente grafica se muestra un esquema del funcionamiento del termocompresor, el punto A representa el flujo motriz, el punto C representa el flujo de vapor aspirado y el punto b es la suma de los dos flujos de vapor (motriz y aspirado)

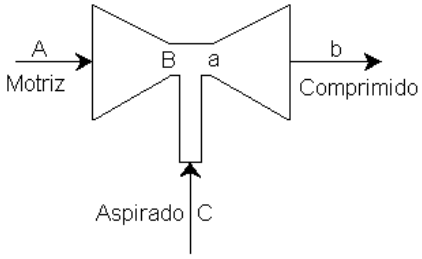


Figura 3.2. Recuperación de vapor en el termocompresor

A continuación se presenta la gráfica de un termocompresor y las características de operación del termocompresor existente en la planta

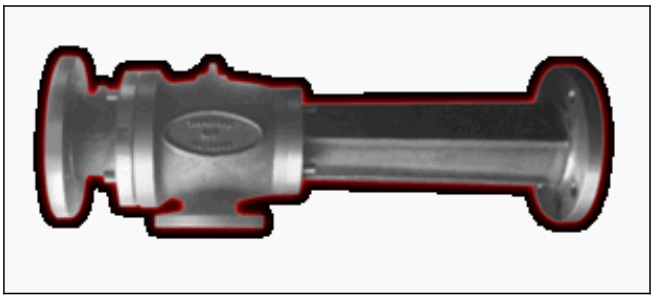


Figura 3.3. Termocompresor tres vías para vapor

Tabla 12.- Características del termocompresor

Fabricante	Koerting
Modelo	6381601
Número de serie	13226041
Tipo	667 - ED
Capacidad (lb/h)	4500

Presión de trabajo (psi)	105
Presión motriz (psi)	120
Control de vapor	Automático
Material	Hierro fundido
Longitud (pulg.)	72,625
Diámetro (pulg.)	4
Diámetro del estrangulamiento (pulg.)	2½

Distribuidor de vapor

El distribuidor de vapor es un cilindro grande que se encarga de recibir el vapor que produce las calderas, para luego distribuir el vapor hasta los equipos de consumo.

En la siguiente tabla se presentan las características de distribuidor de vapor.

Tabla 13.- Características del distribuidor de vapor

Material de Tuberías	Acero ASTM 53 Cedula 40
Material del Aislamiento	Lana de Vidrio
Material del Recubrimiento	Aluminio
Diámetro con Aislante (m)	0,87
Longitud (m)	6,50

Tuberías de vapor

En la instalación se tiene tuberías de 2, 4 y 6 pulgadas; las tuberías de 2 pulgadas son utilizadas para la alimentación de

vapor al tanque de almacenamiento del bunker y para el retorno de condensado hasta el tanque de alimentación; las tuberías de 6 pulgadas se las utiliza en la tubería principal y en la alimentación de vapor al Yankee; las tuberías de 4 pulgadas se las utiliza para alimentar de vapor al Radiador

A continuación se presentan las características de las tubería existentes en la instalación

Tabla 14.- Características de la tubería de 2 pulgadas

Material de Tuberías	Acero ASTM A.53 Cedula 40
Diámetro de Tubería (pulg.)	2
Material del Aislamiento	Lana de Vidrio
Material del Recubrimiento	Aluminio
Espesor del Aislamiento (pulg.)	1
Espesor del Aluminio (mm)	0,4

Tabla 15.- Características de las tuberías de 4 pulgadas

Material de Tuberías	Acero ASTM A.53 Cedula 40
Diámetro de Tubería (pulg.)	4
Material del Aislamiento	Lana de Vidrio
Material del Recubrimiento	Aluminio
Espesor del Aislamiento (pulg.)	1 ½

Espesor del Aluminio (mm)	0,4

Tabla 16.- Características de las tuberías de 6 pulgadas

Material de Tuberías	Acero ASTM A.53 Cedula 40
Diámetro de Tubería (pulg.)	6
Material del Aislamiento	Lana de Vidrio
Material del Recubrimiento	Aluminio
Espesor del Aislamiento (pulg.)	2
Espesor del Aluminio (mm)	0,4

3.3.3. Condiciones de operación y características de los tanques de almacenamiento

Manejo de combustible

Es necesario precalentar el combustible del tanque de almacenamiento, para poder bombearlo hasta el tanque de uso diario, debido a que las altas viscosidades que presenta el bunker a temperatura ambiente hace imprescindible el precalentamiento previo para su manejo.

El bunker del tanque de almacenamiento es precalentado hasta una temperatura de 53 ºC, luego pasa al tanque de uso diario, donde el combustible alcanza mayor temperatura, aquí el bunker llega hasta una temperatura de 93 ºC.

El ultimo equipo utilizado para calentar el combustible hasta la temperatura de ignición (temperatura en la cual el proceso de combustión se inicia), es un intercambiador de calor de resistencia eléctrica. Este equipo es utilizado solo en el arranque, donde el búnker alcanza una temperatura de 115 ºC.

A continuación se presentan las capacidades y condiciones de operación de los tanques.

Tabla 17.- Capacidad de los tanques de almacenamiento

Tanq. nº	**Tipo de combustible**	**Capacidad**	**Temp.**
1	Bunker	85000 Gal.	Ambiente
2	Bunker	20000 Gal.	53ºC
3	Diesel	20000 Gal.	Ambiente

4.18. Cálculo de producción de vapor

La producción de vapor en los calderos se estimará mediante el consumo de vapor de los equipos, debido a que el sistema no tiene

medidores de flujo de vapor. El vapor consumido en cada equipo se lo estimó por medio del condensado producido.

Al tener un recipiente cilíndrico y medir la variación de nivel de condensado, se calcula el volumen de condensado mediante la siguiente ecuación:

$$V = \pi * D^2 * \Delta h / 4 \qquad (1)$$

Donde:

V: Es el volumen de condensado

D: Es el diámetro del recipiente cilíndrico

Δh: Es la variación de nivel del condensado

Si se divide el volumen de condensado para el tiempo que dura la variación de nivel, se estima $\dot{v}$, el flujo volumétrico del condensado.

$$\dot{V} = V / t \qquad (2)$$

El caudal se refiere al paso de la masa por unidad de tiempo. Por esta razón sería correcto referirse al flujo másico, debido a que el flujo másico del condensado producido, es similar al flujo másico del vapor consumido. Sin embargo, se estimó el flujo volumétrico, es decir,

volumen por unidad de tiempo. La relación entre estos dos parámetros es sencilla:

$$\dot{m} = \dot{v} * \delta \qquad (3)$$

Donde:

$\dot{m}$: Es el flujo másico

$\dot{v}$: Es el flujo volumétrico

δ : Es la densidad del condensado

Consumo de vapor en el Cilindro secador

El consumo de vapor en el cilindro secador se estima utilizando el tanque de retorno de condensado, cerrando las válvulas de salida se mide la variación de nivel del condensado en el tanque, en un tiempo determinado.

Datos:

Diámetro del tanque de retorno de condensado = 16 pulg(0,4064m)

Variación de nivel del condensado = 0,3 m.

Tiempo de variación de nivel = 76 s

Densidad del condensado a 149ºC = 917,84 Kg/m^3

Aplicando las ecuaciones (1), (2) y (3) se tiene que el consumo de vapor en el cilindro secador es:

$\dot{m}$ = 0,558 Kg/s

CONSUMO DE VAPOR EN EL RADIADOR

Para estimar el consumo de vapor en el radiador se aplicó el mismo método utilizado, para estimar el consumo de vapor en el cilindro secador.

Datos:

Diámetro del tanque de retorno de condensado = 16 pulg(0,4064 m)

Variación de nivel del condensado = 0,3 m.

Tiempo de variación de nivel = 73 s

Densidad del condensado a 143ºC = 923,28 kg./m^3

Aplicando las ecuaciones (1), (2) y (3) se tiene que el consumo de vapor en el radiador es de:

$\dot{m}$ = 0,492 Kg./s

Consumo de vapor en el tanque de almacenamiento de bunker

Para estimar el consumo de vapor en el tanque de almacenamiento de bunker se aplicó el mismo concepto utilizado para estimar el consumo de vapor en el cilindro secador y en el radiador, pero se utilizó técnicas diferentes, debido a que no se cuenta con un tanque de retorno de condensado para este caso.

Se colocó un recipiente cilíndrico, en el drenaje del condensado que sale del tanque de almacenamiento de bunker y se midió la variación del nivel del condensado, en un tiempo determinado.

Datos:

Diámetro del recipiente = 0,29 m.
Variación de nivel del condensado = 0.1 m.

Tiempo variación de nivel = 59 s

Densidad del condensado a 110ºC = 950,79 kg./m^3

Aplicando las ecuaciones (1), (2) y (3) se tiene un consumo de vapor en el tanque de almacenamiento de bunker es:

$\dot{m}$ = 0,106 Kg/s

Sumando los consumos, se tiene que la producción de vapor es:

$\dot{m}$ = 1,156 Kg/s

4.19. Evaluación energética en los equipos consumidores de vapor y sistema de distribución, en las condiciones actuales de operación.

En esta sección se limitarán subsistemas, es decir se definirán limites por los que atraviesa materia o energía.

En los subsistemas estarán involucrados cada uno de los equipos consumidores de vapor, además se realizará un balance de energía a los subsistemas definidos, para conocer el calor requerido por ellos.

Acontinuación se presenta el esquema de las energías involucradas, en los subsistemas definidos

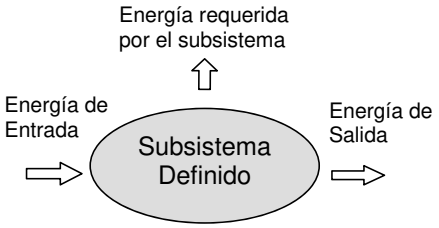


Figura 3.4. Balance de energía en un subsistema definido

Aplicando el balance de energía al subsistema, se tiene lo siguiente:

Energía requerida = Energía de salida - Energía de entrada

La energía de entrada y la energía de salida es la proporcionada por el fluido que atraviesa el sistema es decir, que es la multiplicación del flujo másico del fluido por la entalpía del mismo.

Considerando que en los subsistemas definidos el fluido mantiene constante su flujo másico, cambiando solo de estado, se llega a la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m} * (hi - ho) \qquad (4)$$

Donde:

Q: Es la energía requerida por el subsistema

$\dot{m}$: Es el flujo másico del fluido que atraviesa el subsistema

hi: Es la entalpía del fluido a la salida del subsistema (condensado)

ho: Es la entalpía del fluido a la entrada del subsistema (vapor)

Entalpía del vapor

Para calcular la entalpía del vapor se utiliza la siguiente ecuación:

$$hv = (h_g - h_f) * X + h_f \qquad (5)$$

Donde:

h_g: Entalpía de vapor saturado

h_f: Entalpía de líquido saturado

x: Calidad del vapor (asumir 85% de calidad)

Entalpía del condensado

La entalpía del condensado esta dada por h_f que es la entalpía del líquido saturado

3.5.1. Evaluación energética en el tanque de almacenamiento de bunker.

Para considerar la energía requerida en el tanque de almacenamiento de bunker se limito el SUBSISTEMA 1 (figura 3.5), el mismo que está definido desde la salida de vapor de la caldera (entrada de vapor al subsistema) hasta la salida de condensado del tanque de almacenamiento (salida de condensado del subsistema)

A continuación se presenta un esquema del subsistema 1 donde se considera el tanque de almacenamiento de combustible y un tramo de tubería.

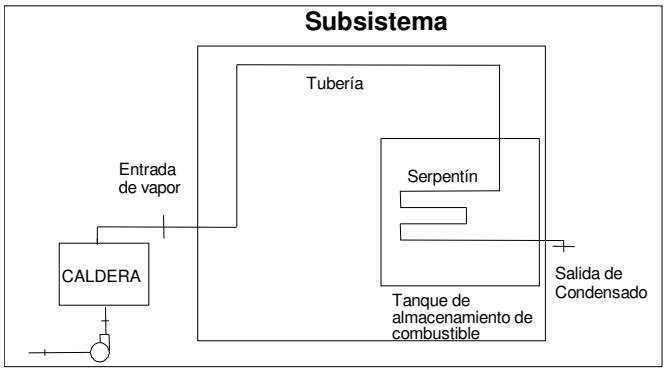


Figura 3.5. Balance de energía en el subsistema 1

El siguiente paso para realizar el balance de energía, es conocer las entalpías y el fluio másico del fluido a la entrada y a la salida del subsistema definido.

En la siguiente tabla se presenta las condiciones y propiedades del vapor a la salida de la caldera y del condensado a la salida del tanque de almacenamiento.

Tabla 18.- Datos obtenidos a partir de la tabla de vapor

Punto	P(Bar)	T(ºC)	hf(KJ/Kg)	hg(KJ/Kg)	h(KJ/Kg)
Vapor	**8.27(*)**	171.8	726,76	2.768,74	2.462,44
Cond.	_	**110(*)**	460.67	_	460.67

(*) Mediciones tomadas por el autor

remplazando estos datos en la ecuación (4) se tiene que el calor requerido en el subsistema 1 es:

Q = 212,18 KW

3.5.2. Evaluación energética en el cilindro secador

Para considerar la energía requerida en el cilindro secador se limitó el subsistema 2 (figura 3.6), el mismo que esta definido desde la entrada de vapor en el cilindro hasta la salida de condensado en el tanque de vapor flash.

A continuación se presenta un esquema del subsistema 2 donde se considera el cilindro secador un tramo de tubería y el tanque de vapor flash.

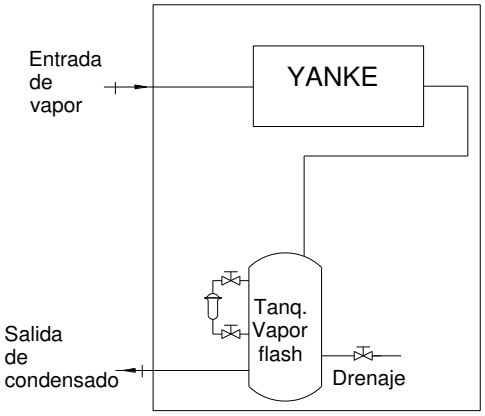


Figura 3.6. Balance de energía en el subsistema 2

En la siguiente tabla se presenta las condiciones y propiedades del vapor a la entrada del cilindro y del condensado a la salida del tanque de vapor flash.

Tabla 19.- Datos obtenidos a partir de la tabla de vapor

Punto	P(Bar)	T(ºC)	hf(KJ/Kg)	hg(KJ/Kg)	h(KJ/Kg)
Vapor	**5.23(*)**	153,6	647,07	2.749,34	2.434,00
Cond.	_	**149(*)**	627.29	_	627.29

(*) mediciones tomadas por el autor

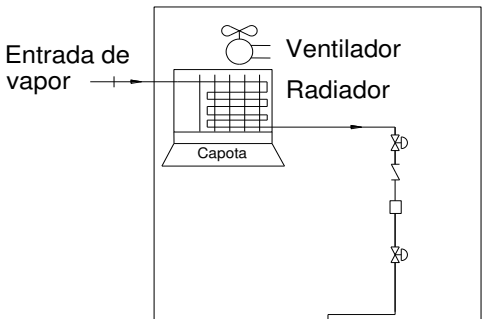
Remplazando estos datos en la ecuación (4) se tiene que el calor requerido en el subsistema 2 es:

Q = 1.008,14 KW

3.5.3. Evaluación energética en el Radiador

Para considerar la energía requerida en el radiador se limitó el subsistema 3 (figura 3.7), el mismo que esta definido desde la entrada de vapor en el radiador hasta la salida de condensado en el tanque de retorno.

Acontinuación se presenta un esquema del subsistema 3 donde



se considera el radiador un tramo de tubería y el tanque de retorno de condensado.

Figura 3.7. Balance de energía en el subsistema 3

En la siguiente tabla se presentan las condiciones y propiedades del vapor a la entrada del radiador y del condensado en el tanque de retorno.

Tabla 20.- Datos obtenidos a partir de la tabla de vapor

Punto	T (ºC)	hf(KJ/Kg)	hg(KJ/Kg)	h(KJ/Kg)
Vapor	166,11	700,29	2762,73	2.453,36
Cond.	**143(*)**	601,39	_	601,39

(*) mediciones tomadas por el autor

Remplazando estos datos en la ecuación (4) se tiene que el calor requerido en el subsistema 3 es:

Q = 911,16 KW

Evaluado todos los subsistemas, acontinuación se presenta la energía (Q), requerida por cada uno de ellos.

Tabla 21.- Energía requerida en los subsistemas

Ubicación	mv (Kg./s)	Q (KW)
Subsistema 1	0,106	212,18
Subsistema 2	0,558	1.008,14
Subsistema 3	0,492	911,16
TOTAL	1,156	2.131,48

La energía generada por la caldera (APÉNDICE C) debe ser equivalente a la energía consumida por todos los subsistemas (Tabla 21), pero en realidad esto no se da, la energía generada por la caldera (2.361,54 KW) es mayor que la energía consumida por los subsistemas (2.131,48 KW), esto se debe a que existen diferentes tipos de pérdidas de energías en el sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.

Las pérdidas que existen en el sistema de distribución de vapor y retorno de condensado son evaluadas en la siguiente sección.

3.5.4. Evaluación energética en el sistema de distribución de vapor

Pérdidas de calor en tuberías

A continuación se realiza una evaluación energética en las líneas de distribución de vapor y retorno de condensado. Para este análisis no se consideran las líneas de condensado que están incluidas en los subsistemas delineados.

Las pérdidas de energía por radiación en las tuberías, son calculadas mediante la tablas 22 y 23, donde conociendo el diámetro de la tubería (D) y la temperatura de operación (T), se puede encontrar la energía perdida en función de la longitud de la tubería (Q/L).

Tabla 22.- Pérdidas de calor en tuberías sin aislamiento térmico

Pérdidas de calor (Btu/h.ft)						
D(pulg)	150ºF	200ºF	250ºF	300ºF	350ºF	400ºF
1	34	75	124	183	254	336
2	61	134	224	332	459	608
3	89	197	330	489	677	897
4	115	254	424	628	869	1152
6	169	373	624	924	1279	1696

Fuente de información: Fabricante Spirax / Sarco

Tabla 23.- Pérdidas de calor en tuberías aisladas térmicamente

Pérdidas de calor (Btu/h.ft)			
D(pulg)	250ºF	350ºF	450ºF
1	1´´ 24	1´´ 41	1´´ 63
2	1´´ 36	1 ½´´ 48	1 ½´´ 74

3	1´´	49	1 ½´´	64	1 ½´´	98
4	1 ½ ´´	44	1 ½´´	78	2´´	98
6	1 ½ ´´	63	2´´	86	2´´	132

Fuente de información: Fabricante Spirax / Sarco

Ejemplo: Tramo de tubería sin aislamiento térmico.

Datos:

Diámetro (D) = 6 pulg

Longitud (L) = 9,35 ft (2,85 m)

Temperatura (T) = 308,48 ºF (153.6 ºC)

Aplicando la tabla 22 con la temperatura de operación y diámetro de la tubería, se tiene que la pérdida de energía es de 984,208 Btu/h.ft, multiplicando este valor por la longitud de la tubería se tiene lo siguiente:

Q = (984,208 Btu/h.ft)*(9,35ft) = 9.202,34 Btu/h (2,69KW)

En el APÉNDICE E se detallan las pérdidas para los diferentes tramos de tubería del sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.

Se tiene que el total de energía pedida en tuberías es:

Q = 103.821,03 Btu/h (30,43 KW)

PÉRDIDAS DE CALOR EN VÁLVULAS Y BRIDAS

En el cálculo de las pérdidas de energía de un conjunto de tuberías, hay que considerar las pérdidas suplementarias que suponen los accesorios tales como: válvulas, brida etc.

Las pérdidas por estos suplementos se expresan cómodamente como longitud suplementaria de tubería.

Conociendo la longitud equivalente, se puede calcular la pérdida de energía por radiación en el accesorio, utilizando la tabla 22 y 23, considerando la longitud equivalente como longitud de tubería.

Acontinuación se indica la estimación de longitud equivalente, según la norma Alemana V.D.I. 2055

a) Para el caso de válvula, válvulas de compuerta, grifos desnudos y aislados (en este caso no se toma en cuenta el par de bridas), conociendo el diámetro y la temperatura de

operación o superficial del accesorio, se puede estimar la longitud equivalente a una tubería del mismo diámetro del accesorio mediante la tabla 24.

b) Para el caso de paredes de bridas.

Desnudas: 1/3 de la válvulas del mismo diámetro.

Aisladas: Añadirlas sin suplemento alguno particular a las longitudes de las tuberías.

Tabla 24.- Longitud equivalente en metros para válvulas

Temperatura (ºC)		**Interior**		**Exterior**	
Aislamiento	Diámetro	100	400	100	400
Sin Aislar	2´´	2	4	3	6
	4´´	3	6	4	8
	18´´	6	12	8	16
½ Aislado	2´´	1	2	2	4
	4´´	2	4	3	6
	18´´	4	8	6	12

Fuente de información: Salvador Scoda S.A. “Manual de aislamiento en la industria”

Ejemplo: Válvulas de 6” sin aislamiento térmico.

Datos:

Diámetro (D) = 6 pulg

Temperatura (T) = 171,8ºC

Aplicando la tabla 24 con la temperatura de operación y diámetro del accesorio, se tiene que la longitud equivalente es de 4,25 m.

Utilizando esta longitud equivalente en la tabla 22 y 23, se puedan estimar las pérdidas en accesorios.

En el APÉNDICE F se detallan las pérdidas en las válvulas y bridas que no fueron consideradas en los subsistemas, calculando un total de:

Q = 325.925,72 Btu/h (95,51 KW)

PÉRDIDAS DE CALOR EN FUGAS DE VAPOR

Para encontrar las pérdidas de calor por fugas de vapor se utiliza la tabla 25, donde se presentan las pérdidas de vapor por hora, en función de la longitud del penacho de vapor o el tamaño del

orificio de la fuga de vapor.

Tabla 25.- Pérdidas de vapor en fugas

L. penacho de vapor (m)	Kg/h	Tamaño Orificio (pulg)	Kg/h
0.5	6	1/8	21
0.75	11	3/16	48
1.00	16	–	77
1.25	26	3/8	186
1.50	38	–	318
1.75	66		
2.00	104		
2.25	161		

Fuente de información: Martin Kruska. “Manual de auditoria energética”

En el sistema se encontraron tres fugas de vapor, ubicadas en: la tubería principal, bifurcación de la tubería principal y la otra a la entrada del radiador, conociendo la longitud del penacho y utilizando la tabla 25 se obtuvo la cantidad de vapor perdido por las fuga.

Tabla 26.- Cantidad de vapor perdido por las fugas

Ubicación de la fuga	L (m)	m(kg/h)
Tubería principal	1,00	16,00
Bifurcación	0,75	11
Entrada al radiador	0,5	6

Conociendo la cantidad de vapor perdido en las fugas, se puede calcular la energía pérdida por dicho vapor mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m}_v (h_v - h_b) \qquad (6)$$

Donde:

$\dot{m}_v$: Es la cantidad de vapor perdido en la fuga

h_v : Entalpía del vapor (ecuación 5)

h_b : Entalpía del agua de reposición a la caldera (APÉNDICE C)

En la siguiente tabla se presenta las condiciones y propiedades del vapor perdido en las fugas

Tabla 27.- Datos obtenidos a partir de la tabla de vapor

Ubicación de la fuga	T (ºC)	hf(KJ/Kg)	hg(KJ/Kg)
Tubería principal	171,80	718,44	2.766,93
Bifurcación	170,47	714,2	2.765,95
Entrada al radiador	166,11	700,29	2.762,73

Remplazando los datos de las tablas 26 y 27 en la ecuación (6), se calcula el contenido de energía del vapor perdido por fugas, el mismo que es presentado en la siguiente tabla.

Tabla 28.- Pérdida de energía por fugas de vapor

Ubicación de la fuga	Q(KJ/h)
Tubería principal	32.641,92
Bifurcación	22.425,15
Entrada al radiador	12.202,98
TOTAL	67.270,05

Se tiene que el total de energía perdida en fugas de vapor es:

Q = 67.270,05 KJ/h (18,7 KW)

Evaluación del funcionamiento a las trampas de vapor

Las trampas de vapor tienen dos funciones básicas: permitir o facilitar el flujo del condensado e impedir el paso del vapor, por esta razón, se realizó una evaluación del funcionamiento de las trampas de vapor existente en el sistema de distribución de vapor

y condensado, utilizando el método de observación visual y el método de prueba del oído.

Método de observación visual

Este método se aplica para trampas que descargan a la atmósfera o en áreas de desperdicio abierto, por ende se lo aplicó para evaluar el funcionamiento de la trampa que se encontraba a la salida del tanque de almacenamiento de bunker.

Este método consiste en distinguir entre, el vapor vivo y el vapor de expansión. El vapor vivo se reconoce por su característica transparente en una distancia corta entre la apertura de descarga y el punto en que aparece primero un vapor blanco, mientras que el vapor de expansión es un vapor pausado que se forma cuando el condensado caliente se descarga de una trampa de vapor a la atmósfera. La presencia de expansión es natural y por esta razón no indica un desperdicio de vapor, ni tampoco una falla en la trampa de vapor.

En la trampa evaluada se detecto vapor de expansión, razón por la cual se puede decir que esta trabajando correctamente y se descarta la posibilidad de descarga de vapor vivo (pérdida de

energía) a la atmósfera.

Método de prueba del oído

Este método se aplica para trampas que descargan en un sistema cerrado de retorno de condensado, por lo que se lo aplicó para evaluar el funcionamiento de las trampas ubicadas a la salida del radiador.

Para realizar esta evaluación se utilizó una varilla (electrodo) de soldar, colocando un extremo contra la trampa y el otro próximo al oído. Cuando la trampa funciona normalmente hace un ruido de ciclaje; sin embargo cuando a dejado de abrir, puede oírse el soplido de vapor a alta velocidad.

En las trampas evaluadas se escucho el ruido de ciclaje, por esta razón, se determina que las trampas están funcionando correctamente

3.6. Consumo de combustible calculado

El consumo de combustible calculado se estima mediante la ecuación de eficiencia de la caldera:

$$\varepsilon_{cal} = \frac{Q}{\dot{m}_f * Pc * \varepsilon_{comb}} \qquad (7)$$

Ejemplo: Consumo de combustible calculado del subsistema 1.

Datos:

Q: Calor requerido por el subsistema (SECCIÓN 3.5) = 212,18 KW

Pc = Poder calorífico del combustible = 159.600 KJ/gal

ε_{comb}: Eficiencia de combustión = 0,917

ε_{cal} : Eficiencia del caldero = 0,784

$\dot{m}_f$: Consumo de combustible calculado

Remplazando los datos en la ecuación (7), se calcula el consumo de combustible:

$$0,784 = \frac{212,18(KW)}{\dot{m}_f * 159.600(KJ/Gal) * 0,917}$$

$\dot{m}_f$ = 1,8492 x10^{-3} gal/s (6,65 gal/h)

Acontinuación se presenta el consumo de combustible requerido por cada uno de los componentes del sistema

Tabla 29.- Consuno de combustible calculado

Ubicación	Q (kw)	mf(gal/h)
Subsistema 1	212,18	6,65
Subsistema 2	1.008,14	31,63
Subsistema 3	911,16	28,58
Tuberías	30,43	0,95
Accesorios	95,51	2,99
Fugas de vapor	18,7	0,58
TOTAL	2.276,12	71,38

El consumo de combustible calculado en la planta es:

$\dot{m}_f$ = 71,38 gal/h

Además existen pérdidas de energía hacia el ambiente que son inevitables y que no fueron calculadas, por esta razón no llegamos al consumo real de combustible medido (74 gal/h), pero se llega a una buena aproximación.

De acuerdo a la tabla 6 el consumo máximo de combustible por el quemador es de 218 gal/h y el consumo medido es de 74 gal/h, esto se debe a que el quemador trabaja de manera intermitente, dependiendo de la demanda de vapor requerido en el sistema.

CAPÍTULO 4

4. Determinación de pérdidas energéticas

4.20. Comparación entre el consumo de energía real y el consumo de energía teórico.

El cálculo de el consumo de energía teórico se hizo en base a la cantidad de calor necesario para calentar y evaporar el agua contenida en la masa de papel, para calentar la masa de papel

La cantidad de agua evaporada en la masa de papel se la puede obtener mediante al siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{H_2Oevap} = \frac{(\%\ H_2O\ entra - \%\ H_2O\ sale)}{(100 - \%H_2Oentra)} \qquad (8)$$

Conociendo que el porcentaje de humedad con la que entra el papel ($\%H_2Oentra$) es de 70%, el porcentaje de humedad con la que sale ($\%H_2Osale$) del sistema de secado es de 7%, se tiene:

$\dot{m}_{H_2Oevap}$ = 2,1Kg. / Kg. papel seco

Conociendo que la producción de papel es de 835 Kg./h (0,23Kg/s) y usando el resultado de la ecuación (8) se tiene que la cantidad de agua que se requiere evaporar es de:

$\dot{m}_{H_2Oevap}$ = 0,483 Kg/s

Durante el proceso de calentamiento el agua recibe calor sensible hasta alcanzar la temperatura previa al inicio de saturación adiabática del aire. Esta temperatura depende de las propiedades que tenga el aire atmosférico a la entrada del dispositivo de secado y es cercana a la temperatura de bulbo húmedo, se la determina basado en la diferencia entre la temperatura de bulbo seco y la depresión existente por la humedad relativa que tenga el ambiente a la cual llega. El aire atmosférico que entra al secador tiene una temperatura de 30°C y una humedad relativa de 5%, al atravesar el intercambiador de calor se produce un calentamiento del aire (120°C) y una disminución en su humedad relativa. La temperatura de secado es la temperatura de bulbo seco con lo que de la tabla psicométrica se obtiene una temperatura de bulbo húmedo de 66 °C.

Primero, se realizó el cálculo de la cantidad de calor añadido al agua por unidad de masa, donde están involucradas las energías requeridas para elevar la temperatura del agua hasta la temperatura de bulbo húmedo y la energía requerida para que ocurra la vaporización del agua, para este calculo se utilizó la siguiente ecuación.

$$Q = \dot{m}_{H_2Oevap} * Cp_{agua} * (Tbh - To) + \dot{m}_{H_2Oevap} * h_{fg\ agua} \qquad (9)$$

Donde:

Cp_{agua} : Es el calor especifico del agua (4.1804 KJ/kgºK)

$h_{fg\ agua}$: Es la entalpía de vaporización a la temperatura de bulbo húmedo (2341,48 KJ/kg)

Thb: Es la temperatura de bulbo húmedo (66ºC)

To: Es la temperatura a la que entra el agua (30ºC)

Utilizando la ecuación (9) se tiene que la energía añadida al agua es:

Q = 1.154,23 KW

El calor que se le añade al papel estará dado por la siguiente expresión:

$$Q = \dot{m}_{papel} * Cp_{papel} * (Tbh - To) \qquad (10)$$

Donde:

$\dot{m}_{papel}$: Es la producción del papel

Cp_{papel} : Es el calor especifico del papel (1,34KJ/kgºK)

Thb: Es la temperatura de bulbo húmedo (66ºC)
To : Es la temperatura a la que entra el papel (30ºC)

Utilizando la ecuación (10) se tiene que la energía requerida por el papel es de:

Q = 30,61 KW

El consumo de energía teórica para el proceso de secado esta dado por la suma de la energía añadida al agua y al papel, y es de:

Q = 1.188,85 KW

La energía real para el proceso de secado es calculada en el CAPITULO 3, y es la suma de la energía consumida por el cilindro secador y el radiador, esta energía es de 1.919,3 KW

Dividiendo el consumo de energía teórico entre el consumo de energía real se obtiene una eficiencia del proceso de secado de 62%, eficiencia que se encuentra dentro de los valores típicos establecido por los fabricantes de estos tipos de secadores de papel.

Por otro lado, comparando la energía requerida por los equipos consumidores de vapor (tabla 21) y la energía generada por la caldera (APÉNDICE C), se observa que la energía generada es mayor que la energía consumida, esta diferencia se debe a la energía perdida en el sistema de distribución de vapor y condensado, por tanto el programa de ahorro energético estará dirigido a este sistema.

4.21. Obtención de pérdidas de energía

En el sistema se presentan deficiencias que se traducen en pérdidas de energía, estas deficiencias pueden ser disminuidas o en algunos casos eliminadas, además las pérdidas de energía son la causa directa de tener un mayor

consumo de combustible en la caldera. A continuación se detalla las pérdidas de energías que pueden ser recuperadas mediante un programa de ahorro energético:

Regulación de la combustión

Los ahorros que pueden obtenerse al reducir el exceso de aire, pueden ser cuantiosos, dependiendo del nivel de exceso encontrado. Estos ahorros no solo se reflejan en la parte económica, si no también en la reducción de las emisiones de gases contaminantes (NOx, SO_2, CO), en virtud de que se quema menos combustible para satisfacer la misma demanda de vapor.

Como se puede apreciar en el APÉNDICE G el valor recomendado para tener un mejor comportamiento energético es trabajar con bajo exceso de aire, para ello se debe mantener el porcentaje de O_2 libre en los gases de combustión de aproximadamente 4%.

Con el ajuste que se realizó a la caldera se logró disminuir la temperatura de los gases y se incrementó la eficiencia de combustión a 91,7% (APÉNDICE H)

La recuperación de las pérdidas de energía se refleja en el ahorro de combustible, debido a que el consumo de combustible aumenta cuando disminuye la eficiencia de combustión.

A continuación se presenta una foto donde se muestra el momento en que se realiza mediciones en los gases de combustión de la chimenea.

Figura 4.1. Análisis de los gases de escape de la caldera

Conociendo que la energía generada por la caldera es de 2.361,54 KW (Qout), se puede calcular el ahorro en el consumo de combustible, al mejorar la eficiencia de combustión. Si se despeja el consumo de combustible ($\dot{m}_f$) de la ecuación de eficiencia de la caldera (7), manteniendo la energía generada por la caldera (Qout) constante y variando la eficiencia de combustión, se tiene que el ahorro de combustible viene expresado por la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_f\,(gal/h) = \left(\frac{3600 * Qout(KW)}{\varepsilon_{cal} * Pc(KJ/gal)}\right) * \left(\frac{1}{\varepsilon_{combl}} - \frac{1}{\varepsilon_{comb2}}\right) \qquad (11)$$

El combustible ahorrado al mejorar la eficiencia de combustión de 0,905 a 0,917 es:

$\dot{m}_f$ = 0,981 gal/h

Falta de aislamiento en tuberías, válvulas y bridas

Nuestra caldera tema de estudio, trabaja a una presión de 8.27 Bar , lo cual significa que las instalaciones desnudas (equipos, tuberías, accesorios, etc) tienen temperaturas superficiales de 150 ºC aproximadamente. Por ello se crean gradientes de temperatura con el aire exterior que producen intercambios de calor. Esto se traduce en pérdidas de energía al ambiente, las cuales son mayores cuando están a la intemperie.

Para reducir las pérdidas de calor al ambiente es necesario que las superficies de tuberías, accesorios, equipos, etc, estén convenientemente aisladas, lo cual permitirá evitar que aproximadamente un 90% de la energía se pierda innecesariamente, el otro 10% se perderá inevitablemente, pues los aislamientos no son 100% eficaces.

En las siguiente figuras se presentan tuberías y accesorios sin aislamiento térmico.

Figura 4.2. Tubería de retorno de condensado sin aislamiento

En APÉNDICE E Y F se presentan las pérdidas de energía en tuberías y accesorios, pero para el programa de ahorro energético se considera solo las tuberías y accesorios sin aislamiento térmico, que son los que generan pérdidas de energía recuperables, además se consideran 40 metros de tubería y 15 válvulas de 2" a la salida del radiador; 1,5 metros de tubería de 6" a la salida del yankee, que se encuentran sin aislamiento térmico. Estas pérdidas están incluidas en el subsistema 3, por lo tanto no fueron consideradas en la evaluación energética realizada al sistema de distribución de vapor y condensado.

Las pérdidas de energía por falta de aislamiento térmico ascienden a un valor de:

Q = 136,39 KW

Fugas de vapor

Cualquier fuga de vapor en tuberías, equipos o accesorios, representa una pérdida de energía irrecuperable; en nuestro recorrido por la planta observamos algunas fugas de vapor en las válvulas y bridas. Una de las fugas encontradas es mostrada en la siguiente figura.

Figura 4.3. Fuga de vapor

En la tabla 28, se encontró que las pérdidas de energía debido a fugas, ascienden a un valor de:

Q = 18.7 KW

Trampas de vapor

En todas las líneas y equipos de vapor siempre hay condensación, debido al gradiente térmico existente entre sus paredes interiores, en

contacto con el vapor y sus paredes exteriores, expuestas a la temperatura del ambiente (tengan o no aislamiento térmico).

Mediante un sistema de recuperación de condensado se intenta recuperar no solo la masa de agua tratada si no también la energía térmica contenida en ella.

Además que el condensado presente en las líneas de vapor presentan los siguientes inconvenientes:

- Corrosión de superficies metálicas.
- Disminuye el coeficiente de transmisión de calor.
- Golpe de Ariete, el condensado es recogido por el flujo de vapor en forma de partículas que pueden alcanzar velocidades de hasta de 45 m / s

Por esta razón es necesario utilizar trampas en las líneas de conducción de vapor, debido a que a lo largo de estas no existen. Las trampas están ubicadas únicamente a la salida del tanque de almacenamiento de bunker y del radiador.

Potencial de ahorro energético

Conociendo que el aislamiento térmico tiene una eficiencia de 90%, el potencial de ahorro energético existente en la planta, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 30.- Potencial de ahorro energético

Tipo de perdida	Q(KW)	mf (gal/h)
Regulación de la combustión	-	0,981
Falta de aislamiento térmico (*)	122,75	3,85
Fugas de vapor	18,7	0,58
TOTAL		5,41

(*)La eficiencia de los aislamientos térmicos es de 90%

Como se puede apreciar las pérdidas de energía se traducen a mayor consumo de combustible (5,41gal/h), por este motivo se hace imprescindible disminuir o eliminar este tipo de pérdidas, mediante la implementación de un programa de ahorro energético.

CAPÍTULO 5

5. Programa de ahorro energético

En el estudio energético realizado, se identificaron inconvenientes que tuvieron solución inmediata, como fue el caso de calibración del sistema de combustión de la caldera y la corrección de las fugas de vapor, otros inconvenientes no fueron corregidos en forma inmediata.

A continuación se detalla el programa de ahorro energético, donde se describe la solución para los inconvenientes encontrados en la instalación.

Regulación de la combustión en la caldera

Para realizar un buen ajuste del exceso de aire, logrando una combustión adecuada, es necesario obtener una buena mezcla aire-

combustible, esto se consiguió poniendo previamente el sistema de combustión a punto, es decir haciendo un mantenimiento exhaustivo a bombas, filtros, calentadores, válvulas de control, sistema de atomización, boquilla del quemador, cono refractario, difusor, entre otros, además se realizó una limpieza de la caldera en el lado del agua y gases.

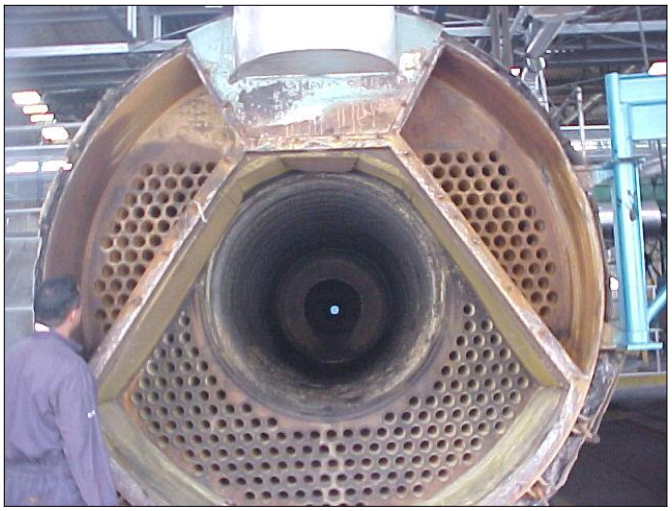


Figura 5.1. Espejo de la caldera

Una ves realizado el mantenimiento al sistema de combustión de la caldera procedimos a realizar el ajuste.

Este ajuste consistió en regular los flujos de aire y combustible (mediante la válvula de ingreso al quemador) de tal manera que se mantenga una relación

aire-combustible que produzca un mínimo de exceso de aire (reflejado por la concentración de Oxígeno, O2, en chimenea) y una mínima producción de sustancias resultantes de una combustión incompleta (básicamente hollín y Monóxido de Carbono).

Para realizar el análisis de los gases de chimenea se utilizó un analizador electrónico de gases TESTO 350; el cual permite obtener lecturas directas en tiempo real de las concentraciones de gases en base a censores electroquímicos. Los componentes del gas de chimenea analizados fueron los siguientes : Oxigeno (O_2), Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO_2), Óxidos de Nitrógeno (NOx)

El valor recomendado para tener un mejor comportamiento energético, es trabajar con bajo exceso de aire, para ello se debe mantener el porcentaje de O_2 libre en los gases de 4% (APÉNDICE G).

Con el ajuste o calibración que se realizó a la caldera se logró disminuir la temperatura de los gases y se incrementó la eficiencia de combustión de 90.5 a 91.7%, (APÉNDICE H).

Fugas de vapor

Este es un tema que debe ser objeto de campañas de sensibilización y concientización del personal, ya que a veces no se le da la atención ni importancia debida, en nuestro caso se pudo corregir en un 60%. El problema originalmente se presenta en las conexiones (bridas) por la mala condición de los empaques (endurecimiento), torque inadecuado de los pernos y roscas deterioradas, por tal motivo se recomendó establecer un programa de reducción de fugas, debido a que cualquier fuga de vapor en tuberías, equipos o accesorios, representa una pérdida de energía y por ende de combustible.

Para corregir este defecto se deberá corregir las fugas de vapor cambiando los empaques deteriorados en las bridas, reemplazando pernos y tuercas en caso de ser necesario.

Falta de aislamiento en tuberías, válvulas y bridas

En la instalación se tiene tuberías sin el aislamiento, pero el problema de mayor magnitud esta, en que la mayoría de las válvulas están sin aislamiento, por ello en nuestro programa de ahorro energético se recomienda el aislamiento de tuberías y accesorios desnudos.

La elección del material aislante dependerá de las propiedades del producto elegido y del montaje.

El montaje debe tener en cuenta el comportamiento del material a:

- Contracciones y dilataciones.
- Fuego.
- Acción de disolventes y agentes atmosféricos.
- Solicitaciones mecánicas.
- Temperaturas máximas de empleo.

La temperatura máxima de empleo, es aquella en la que el ,material alcanza una deformación del 5% del espesor, bajo una carga uniforme constante de 1.000 Pa.

A continuación aparece la tabla comparativa de temperaturas máximas de empleo de distintos materiales aislantes.

Tabla 31.- Temperaturas máximas de empleo de distintos materiales aislantes

Material		**T (ºC)**
Minerales	Lana de vidrio con encolado	250
	Lana de vidrio sin encolado	500
	Lana de roca hasta	750
	Fibra cerámica	1.500
Plástico	Poliestireno expandido,	70
	Poliestireno extrucionado,	85
	Poliuretano	100

Fuente de información: Salvador Scoda S.A. “Manual de aislamiento en la industria”

Los materiales minerales (lana de vidrio y lana de roca), están compuestos por silicato y óxidos metálicos, lo que explica que las variaciones dimensiónales expresadas en tanto por ciento en volumen sean del 0%, la estructura química de los materiales minerales asegurará, además que no se desprenderán gases tóxicos sometidos al fuego directo,

Tomando en cuenta estas consideraciones, en las tuberías se utilizara aislamiento de lana de vidrio y en las válvulas y bridas se utilizará camisas removibles.

Selección del espesor optimo del aislamiento

La determinación del espesor optimo de un aislamiento adecuado, depende de ciertas condiciones técnicas, como puede ser limitar la caída de temperatura del fluido en una conducción o fijar la temperatura máxima superficial de un aislamiento, por motivos de seguridad de los trabajadores. Pero en este estudio las inversiones en aislamientos tienen un carácter económico, limitar las perdidas de calor, por ello es necesario introducir conceptos económicos en la elección adecuada de aislamientos, generalmente en la determinación del espesor.

Las pérdidas de energías disminuyen con el aumento del espesor de aislamiento, el aumento del espesor de aislamiento supone incremento de la inversión para su compra e instalación, existen además otros componentes del costo global como son los gastos de mantenimiento

Representando gráficamente estos conceptos para la unidad especifica (Pe-m^2 de superficie aislada) y para un periodo de tiempo previo de amortización se tendrá:

- Inversiones en función del espesor de aislamiento
- Pérdidas de energía + gastos de mantenimiento para el periodo considerado, en función también del espesor de aislamiento.

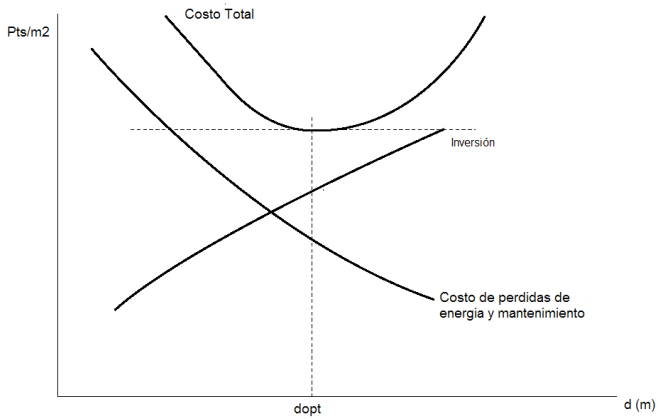


Figura 5.2. Espesor optimo económico de aislamiento térmico

El costo total será, para cada espesor de aislamiento, el resultado de los

valores de ambas curvas. El costo total será el mínimo para un espesor determinado, a este espesor se le llama espesor óptimo de aislamiento.

En el APENDICE I se indican los espesores aconsejables de aplicación utilizando aislamiento de lana de vidrio, en función de las temperaturas de trabajos mas usuales, diámetro de la tubería y del rendimiento óptimo de el material aislante.

El espesor óptimo del aislamiento viene dado por la siguiente ecuación:

$$dopt = k * R * (to - ts)/(ts - ta) \qquad (12)$$

Donde:

To: temperatura de operación

Ts : temperatura superficial

Ta : temperatura ambiente

Asumimos los siguientes factores: k = 0.38; R = 0.85

Ejemplo para el calculo del espesor óptimo de aislamiento

Datos:

Ts = 40ºC(104ºF)

Ta = 25ºC (77ºF)

To = 153.6ºC (308ºF)

Se tiene que el espesor optimo de aislamiento es:

dopt = $2_{1/2}$" (62 mm)

En la siguiente tabla se muestran los espesores de aislamiento óptimo encontrados a partir del APÉNDICE I, para las tuberías desnudas.

Tabla 32.- Espesor de aislamiento optimo para tuberías desnudas

Ubicación de la tubería	**D(pulg)**	**T(ºC)**	**dopt (mm)**	**L(m)**
Entrada al Yankee	6	153,6	60.72 (apx.21/2")	2,85
Salida del Yankee	6	149	59.8(apx.21/2")	150
Retorno de condensado	2	143	38.6 (apx.11/2")	57,24
Retorno de condensado	2	149	39.8 (apx.11/2")	17,24

Utilización de trampas de vapor

En todas las líneas de vapor se recomienda utilizar trampas de vapor cada 30 o 50 metros de tubería para evitar inconvenientes, generados debido a la condensación del vapor. Como la tubería principal tiene una longitud mayor de 50 metros, se seleccionará una trampa de vapor para instalarla en los primeros 50 metros desde la salida de vapor del distribuidor.

Selección de trampas de vapor

Las trampas de vapor deben ser seleccionadas de acuerdo a su aplicación, estas actúan en función de diferentes parámetros físicos.

Mecánico: Densidad.

Termostático: Diferencia de temperaturas entre el vapor y condensado.

Termodinámicos: cambio de fase.

Entre los tipos de trampas de vapor se tienen las siguientes:

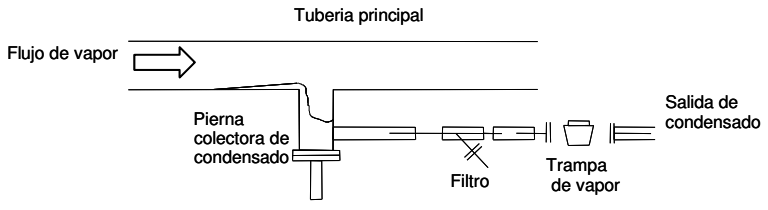
Termodinámicas

Termostáticas

Bimetalicas

De Flotador

Mediante la utilización del APÉNDICE J se tiene que el tipo de trampa adecuada para este tipo de aplicación, es una trampa de tipo termodinámica,



que tiene como aplicación típica el drenaje de tuberías principales mediante una pierna colectora de condensado conectada a la tubería principal como se indica en el siguiente esquema.

Figura 5.3. Conjunto trampa de vapor

Carga de condensado en tuberías

Una vez seleccionada el tipo de trampa que se utilizara, es necesario calcular la carga de condensado que se puede drenar en los primeros 50 metros de tubería. Este cálculo se lo hace mediante la utilización de la tabla 33.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de condensado formado por radiación, en tuberías de vapor.

Tabla 33.- Condensado producido en tuberías de vapor

Cantidad de condensado en tubería Kg./h/m^2		
P (bar)	Con aislamiento	Sin aislamiento
1	1	4
2	1	5
4	1,5	6
8	1,5	7
12	2	8
16	2,5	9
20	3	10

Conferencia: Auditoria Energética en Sistemas de Vapor. Phd. Alfredo Barriga

Para el tramo seleccionado de 50 metros de longitud el área superficial esta dada por la siguiente relación:

$$A = 2 * \pi * r_i * L \qquad (12)$$

La tubería principal de vapor es de 6 pulgadas de diámetro y tomando una distancia de 50 metros que es lo recomendado par estos casos, se tiene un área de:

A = 23.55 m2

Utilizando la tabla 33 a presión de 8 bar, se tiene 1.5 kg/h/m2 de condensado presente en la tubería, multiplicando este valor por el área superficial del tramo de tubería analizada se tiene 35.33 kg/h de condensado formado en la tubería.

Utilizando un factor de seguridad de 2 que es el recomendado para este tipo de aplicación se calcula la capacidad de la trampa:

Capacidad requerida = Factor de seguridad *Carga de condensado

Capacidad requerida = (2) * 35.33 Kg /h

Capacidad requerida = 70.66 Kg /h (155.73 Lb/h)

Utilizando el APÉNDICE J se selecciona una trampa termodinámica, de 3/8" TD52 que es la adecuada para la presión de operación de la tubería (120psig) y el flujo de condenado a drenar (155.73 Lb/h).

CAPÍTULO 6

6. Estimación de costos para la implementación de un programa de ahorro energético.

En este capitulo se realiza una estimación de los costos de inversión, para la implementación de un programa de ahorro energético, que disminuirá las perdidas de energías en el sistema de generación y distribución de vapor, además se calcula el tiempo en que es posible recuperar la inversión económica.

RUBRO	**VALOR USD**
a. Calibración del sistema de combustión	275,00
b. Instalación de accesorios	
-Materiales	4.430,28
-Mano de obra	2.451,71
c. Transporte	350,00
d. Administración y responsabilidad técnica	1.876,75
GRAN TOTAL	**USD 9.383,74**

Análisis de precios unitarios en el presupuesto

a. Calibración del sistema de combustión

Descripción	Unid.	Cant.	P/Unit. USD	P/Tot. USD
Calibración del sistema de Combustión	U	1	275	275
			SUB-TOTAL	**USD275**

b. Instalación de accesorios

Descripción	Unid.	Cant.	P/Unit. USD	P/Tot. USD
Empaques				
Diámetro 6"	Unid.	2,00	51,43	102,86
Diámetro 4"	Unid.	1,00	35,77	35,77
Aislante Térmico				
Tubería 6"	Mts.	4,35	50,53	219,80
Tubería 2"	Mts.	74,48	12,03	895,99

Válvulas 6"	Unid.	2,00	72,80	145,60
Válvulas 4"	Unid.	6,00	42,56	255,36
Válvulas 2"	Unid.	33,00	20,16	665,28
Bridas 6"	Unid.	19,00	31,36	595,84
Bridas 4"	Unid.	13,00	20,72	269,36
Bridas 2"	Unid.	51,00	15,30	780,30
Recubrimiento Metálico				
Aluminio	mts^2	12.5	20.13	251,62
Trampa de vapor				
Termodinámica TD-52	Unid.	1,00	212,50	212,5
		(C1)	**SUB-TOTAL**	**USD 4.430,28**

El costo de mano de obra se describe acontinuación:

Personal	**Cant.**	**Jorn./dia. USD**	**Alim.USD**	**Transp.USD**	**Tot. Jorn./dia. USD**
Instalador	1	11,28	1,5	2,8	15,58
Instalador	1	11,28	1,5	2,8	15,58
Ayudante	1	10,77	1,5	2,8	15,07

Se requiere 25 días laborables para realizar los trabajos de instalación.

Personal	Unid.	Cant.	Tot.Jorn./dia	P/Tot. USD
Instalador	día	25	15,58	389,5
Instalador	día	25	15,58	389,5
Ayudante	día	25	15,07	376,75
		(C2)	**Sub-total USD**	**1.155,75**

C3 Imprevistos 10% de (CI+C2)	**558,60**
C4 Dirección técnica 13,2% de (C1+C2)	**737,36**
SUB-TOTAL	**USD 1.295,96**
SUB-TOTAL Mano de obra	**USD 2.451,71**

Descripción	Unid.	Cant.	P/Unit. USD	P/Tot. USD
c. Transporte	Unid.	1	350	350
d. Administración y responsabilidad técnica	Unid.	1	1.876,75	1.876,75
		SUB-TOTAL		**USD2.226,75**

En la tabla 30 se puede apreciar que el potencial de ahorro de combustible (Desperdicio de bunker), es de 5,41 gal/h (47.391,6 Gal./año), conociendo que el costo del galón de bunker es de 0,64 $, se obtiene la cantidad de dinero desperdiciado.

Dinero desperdiciado = (Costo de Bunker)*(Desperdicio de bunker)

Utilizando esta relación, se tiene que, el dinero desperdiciado en el año es de USD 30.330,62

Conociendo que el costo para la implementación del proyecto es de USD 9.383,74; se puede calcular el tiempo de recuperación de la inversión

Recuperación de inversión = (Inversión / Dinero desperdiciado)*12

El dinero de implementación del proyecto podría ser recuperado en un tiempo de 3 meses y 3 semanas

Como se observa el tiempo de recuperación de la inversión es corto, por lo cual es recomendable implementar el programa de ahorro energético propuesto.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Al comparar el consumo de energía teórica y el consumo de energía real en el proceso de secado, se encontró una eficiencia de 62%. Las eficiencias típicas de este tipo de secadores varían entre 60 y 70 %, por tanto se puede concluir que la eficiencia del sistema de secado se encuentra dentro del rango de los valores establecidos por el fabricante.

2. Con respecto a la caldera, se puede observar que al disminuir la temperatura de los gases de escape, no solo se incrementa la eficiencia de

combustión, si no que también se reduce las emisiones de gases contaminantes (NOx, SO2, CO), reduciendo de esta manera los depósitos de hollín en el lado de los gases, evitando que el hollín actúe como una capa de aislamiento y reduzca la transferencia de calor entre los gases y el agua.

Además, los análisis de gases y otras mediciones complementarias, no solo han permitido determinar la eficiencia de combustión y eficiencia de la caldera; sino también llegar al punto óptimo real de trabajo de este equipo.

3. La falta de aislamiento en válvulas es el caso mas frecuente y el que menos importancia tenia por parte de los ingenieros de la planta, siendo sin embargo una de las mayores fuentes de perdida de energía, debido a la elevada temperatura a la que operan.

4. La empresa podría ahorrar 1.926.642,31 KW-H anuales, que significaría un ahorro de USD 30.330,62 por año. Mediante el análisis de costo realizado en la tesis se puede concluir que es conveniente la implementación de un programa de ahorro energético en el sistema de vapor, debido a que el costo de inversión del proyecto es de USD 9.383,74, por tanto este costo podría ser recuperado en un tiempo de 3 meses y 3 semanas

5. Deben ser aisladas todas aquellas superficies cuyas temperaturas se encuentren por arriba de los 50°C en las líneas de vapor o de retorno de condensado, así como válvulas , accesorios y tanques, ya que las superficies desnudas constituyen no sólo un riesgo para la seguridad de los trabajadores, sino también una pérdida de calor que produce condensación de vapor y merma de éste, lo cual tiene que ser compensado con mayor aporte de combustible en la caldera.

6. Con frecuencia ocurre que el aislamiento es retirado de las tuberías, válvulas y partes de las calderas, para fines de reparación y no es repuesto, debido a esto se recomienda que todo aislamiento dañado o húmedo debe ser reparado de inmediato, a demás se debe eliminar las fuentes de humedad antes de reemplazar el aislamiento.

7. Se recomienda reparar las fugas de vapor y fugas de condensado, que existe en las tuberías, válvulas, accesorios y equipos adyacentes, debido a que no solo representa perdida directa de energía por perdida de vapor, si no que también provoca humedad, deteriorando de esta manera el aislamiento térmico y las tuberías.

8. Se recomienda realizar revisiones periódicas en las trampas de vapor para poder determinar y corregir lo antes posible las fallas en estos dispositivos y utilizar trampas de vapor en la línea principal, ya que los fabricantes recomiendan el uso de trampas cada 50 metros.

9. Cuando se realice el cambio de empaques que hay entre las bridas, asegúrese que éstas no estén torcidas, combadas o abolladas, muchas de las caras de las bridas son rugosas con tolerancias especificas para garantizar un buen sellado, por esta razón no trate de pulir las superficies, asegúrese de que las estrías no tengan oxido u otros depósitos.

10. En la auditoria energética solo se analizó la eficiencia de la caldera por ser la fuente generadora de vapor, pero se recomienda realizar un análisis en el rendimiento de los motores eléctricos, con el fin de determinar la situación actual real de estos en la planta.

BIBLIOGRAFÍA

1. INCROPERA FRANK, Fundamentos de transferencia de Calor, segunda edición en español.

2. BAUMESISTER THEODORE, AVALLONE EUGENE A., BAUMEISTER III THEODORE. Maks Manual Del Ingeniero Mecánico. Octava edición segunda en español. Vol. I y II. Impreso en México 1992

3. VARGAS ZUÑIGA ANGEL, Calderas Industriales y Marinas, Editorial series VZ, segunda edición, 1990.

4. VARGAS ZUÑIGA ANGEL, Mantenimiento de Calderas Industriales y Marinas, Editorial series VZ, segunda edición, 1990

5. MYER KUTZ, Enciclopedia de la Mecánica ingeniería y técnica, Vol. VI, Océano Grupo Editorial, S.A.

6. Catálogos de productos SPIRAX SARCO